

NGHIÊN CỨU ÁP DỤNG HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG HOÁ NHẪM NÂNG CAO HIỆU QUẢ KHAI THÁC KHO HÀNG PHÂN PHỐI TẠI HẢI PHÒNG

RESEARCH ON THE APPLICATION OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR ENHANCING DISTRIBUTION WAREHOUSE EFFICIENCY IN HAIPHONG

VŨ QUỐC AN^{1*}, NGUYỄN THỊ VÂN ANH¹, ĐINH THỊ NGỌC ANH¹,
VŨ KIM ANH¹, NGUYỄN MỸ THÀNH PHÁT¹, PHẠM THỊ YẾN²

¹Viện Đào tạo Quốc tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Khoa Kinh tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: an96964@st.vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Duy trì và nâng cao hiệu suất khai thác kho hàng là một trong những vấn đề quan trọng trong việc gia tăng công suất kho phân phối hiện nay. Mục tiêu của nghiên cứu này là ứng dụng hệ thống tự động hóa nhằm nâng cao hiệu suất khai thác kho phân phối tại Hải Phòng. Với phạm vi là các kho phân phối tại Hải Phòng, nghiên cứu tập trung vào việc thiết kế, chế tạo mô hình hệ thống lưu trữ và truy xuất tự động (AS/RS) kết hợp với công nghệ mã vạch (barcode) để cải thiện năng suất kho bãi, tối ưu hóa quy trình lưu trữ và giảm thiểu sai sót trong vận hành. Kết quả cho thấy hệ thống truy xuất tự động có thể giảm thời gian xử lý hàng hóa, tăng độ chính xác trong quản lý kho và cải thiện hiệu suất khai thác cho các kho phân phối đang hoạt động tại Hải Phòng. Nghiên cứu này là cơ sở khoa học cho việc phát triển các mô hình nhà kho hiện đại và hệ thống logistics tiên tiến trong tương lai ở Hải Phòng.

Từ khóa: AS/RS, tự động hóa, kho phân phối, hiệu quả khai thác, Hải Phòng.

Abstract

The maintenance and improvement of warehouse operation efficiency is a vital problem in increasing distribution warehouse capacity. This research focuses on the application of an automated system for the purpose of increasing distribution warehouse efficiency in Haiphong. With the research scope of distribution warehouses in Haiphong, the article focuses on designing and creating an automated storage/retrieval system (AS/RS) combined with barcode technology to improve warehouse efficiency,

optimize storage process and reduce errors in operation. The research points out that the automated storage/retrieval system can reduce handling time, boost warehouse management accuracy and enhance distribution warehouse performance in Haiphong. The research contributes as a scientific basis for advanced warehouse and logistics systems in Haiphong in the future.

Keywords: AS/RS, warehouse automation, distribution warehouse, operation efficiency, Haiphong.

1. Giới thiệu

Trong bối cảnh hiện đại, sự phát triển nhanh chóng của ngành logistics và quản lý kho bãi đang tạo ra áp lực lớn đối với các doanh nghiệp trong việc nâng cao hiệu quả khai thác. Sự gia tăng nhu cầu vận chuyển, lưu trữ và phân phối hàng hóa đòi hỏi một hệ thống kho hàng hoạt động nhanh chóng, chính xác và hiệu quả hơn. Đặc biệt, tại Hải Phòng, một trong những trung tâm logistics trọng điểm của Việt Nam, việc tối ưu hóa quản lý kho bãi trở thành yếu tố then chốt giúp các doanh nghiệp duy trì lợi thế cạnh tranh.

Riêng tại khu vực Hải Phòng - trung tâm logistics lớn phía Bắc với hơn 3,7 triệu m² kho phân phối (Tổng cục Thống kê, 2023), phần lớn kho vẫn vận hành thủ công hoặc bán tự động, dẫn đến, áp lực rút ngắn thời gian giao hàng (Banomyong và đồng tác giả, 2017), chưa tối ưu hiệu quả trong việc quản lý không gian kho (Nguyen, 2018), chi phí lưu kho cao (Bộ công thương). Nguyên nhân của những vấn đề này thường liên quan đến việc thiếu hụt thông tin chính xác, sự không đồng bộ trong chuỗi cung ứng và chưa đầu tư vào nghiên cứu phát triển nhu cầu của thị trường (Nguyễn và đồng tác giả, 2023). Bên cạnh đó, theo

khảo sát của Phạm và đồng tác giả (2023), chỉ khoảng 47,22% doanh nghiệp ứng dụng công nghệ mã vạch, và chỉ 16,67% sử dụng hệ thống AS/RS.

Để giải quyết vấn đề trên, bài báo tập trung vào việc nghiên cứu thiết kế và chế tạo hệ thống tự động hóa lắp ráp thủ công bằng cách tích hợp hệ thống lưu trữ hợp nhất và truy xuất tự động (AS/RS), mã vạch (barcode), thuật toán định thời và thuật toán sắp xếp phục vụ cải tiến nâng cao hiệu suất hoạt động của kho phân phối. Cấu trúc của bài báo ngoài Phần 1 Giới thiệu đã được nêu; Phần 2 sẽ đưa ra cơ sở lý luận về hoạt động khai thác kho phân phối và hướng nghiên cứu được đề xuất; Phần 3 trình bày về thiết kế và chế tạo hệ thống tự động hóa; việc thực nghiệm và phân tích hiệu quả tối ưu hóa trong môi trường giả định sẽ được nêu tại Phần 4; Phần 5 trình bày kết luận của bài báo và đề xuất hướng nghiên cứu tiếp theo.

2. Tổng quan nghiên cứu

Khai thác hiệu quả kho phân phối đóng vai trò thiết yếu trong việc nâng cao hiệu suất vận hành và năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp logistics. Nhiều nghiên cứu quốc tế đã chỉ ra rằng hoạt động này không chỉ giúp tối ưu hóa quy trình lưu trữ và vận chuyển hàng hóa (Bartholdi & Hackman, 2017), mà còn hỗ trợ dự báo nhu cầu thị trường (Frazelle, 2016), giảm chi phí vận hành thông qua tự động hóa (Dubey & Veeramani, 2024), và nâng cao chất lượng dịch vụ khách hàng (Yu, 2016). Trong bối cảnh thị trường ngày càng cạnh tranh và yêu cầu giao hàng nhanh, việc đầu tư vào các giải pháp công nghệ số trong quản lý kho, đặc biệt là tự động hóa, đang trở thành xu hướng tất yếu (Planeta, 2001).

Trong số các công nghệ nổi bật đang được ứng dụng tại các trung tâm logistics hiện đại, hệ thống lưu trữ và truy xuất tự động (AS/RS), mã vạch (barcode), nhận dạng bằng tần số vô tuyến (RFID), robot tự hành và xe điều hướng tự động (AGV) là những giải pháp tiêu biểu (Yan, 2010; Kamoun và đồng tác giả, 2015; Gonzalez và đồng tác giả, 2014; Li và đồng tác giả, 2015). Các công nghệ này giúp tăng độ chính xác trong lưu trữ, rút ngắn thời gian truy xuất, giảm phụ thuộc vào lao động thủ công và nâng cao khả năng thích ứng linh hoạt với biến động đơn hàng (Roodbergen & Vis, 2009; Cui, 2014; Yu và đồng tác giả, 2016). Đặc biệt, AS/RS và barcode là hai công nghệ có tính ứng dụng cao và được nhiều nghiên cứu đề xuất như giải pháp hiệu quả cho các kho phân phối chuyên biệt.

Tại Việt Nam, mặc dù tự động hóa trong kho hàng đã bắt đầu được chú trọng, tỷ lệ ứng dụng vẫn còn ở

mức khiêm tốn. Nguyên nhân chính đến từ chi phí đầu tư cao, thiếu chuẩn hóa hạ tầng và mức độ sẵn sàng công nghệ thấp (Nguyễn & Trần, 2012). Hiện nay, các nghiên cứu trong nước về lĩnh vực này còn phân tán, chủ yếu tập trung mô tả riêng lẻ hệ thống barcode hoặc hệ thống AS/RS, chưa có công trình nào tích hợp đồng bộ cả hai cùng với các giải pháp tối ưu vận hành bằng thuật toán.

Bên cạnh đó, nhiều nghiên cứu gần đây đã ứng dụng các thuật toán tối ưu như Bacterial Foraging Optimization (Liu và đồng tác giả, 2021), Genetic Algorithm (Ma và đồng tác giả, 2015), hoặc thuật toán lập lịch động (Rabianski & Seagraves, 2011) nhằm cải thiện hiệu quả truy xuất hàng hóa, nhưng vẫn chủ yếu trong bối cảnh giả định hoặc mô hình lý tưởng. Việc tích hợp các thuật toán định thời và sắp xếp trong mô hình thực tế có kết nối barcode và AS/RS vẫn chưa được khai thác sâu tại Việt Nam - đặc biệt trong bối cảnh kho có quy mô vừa và bị giới hạn về đầu tư như ở Hải Phòng.

Từ những phân tích trên, có thể thấy rằng khoảng trống nghiên cứu hiện nay không chỉ nằm ở khía cạnh kỹ thuật, mà còn là sự thiếu vắng mô hình tích hợp tổng thể giữa công nghệ nhận dạng, hệ thống lưu trữ truy xuất, và thuật toán tối ưu hóa có khả năng ứng dụng thực tiễn cao. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm phát triển một mô hình hệ thống tự động hóa kho phân phối bằng cách tích hợp AS/RS và mã vạch, có hỗ trợ bởi thuật toán định thời và sắp xếp. Mục tiêu của nghiên cứu là tối ưu hóa quy trình truy xuất và lưu trữ hàng hóa, giảm chi phí vận hành và nâng cao hiệu suất khai thác kho tại khu vực Hải Phòng - nơi tiềm năng lớn nhưng mức độ tự động hóa còn hạn chế.

3. Phương pháp luận

3.1. Cơ sở phương pháp nghiên cứu và các thuật toán ứng dụng

Nghiên cứu này áp dụng phương pháp tiếp cận tích hợp giữa mô hình hóa hệ thống và thiết kế thuật toán nhằm nâng cao hiệu quả vận hành kho phân phối trong điều kiện thực tiễn tại Hải Phòng. Phương pháp nghiên cứu được triển khai theo hướng mô phỏng một chuỗi quyết định, trong đó hệ thống kho được trừu tượng hóa thành hai giai đoạn cốt lõi: Lưu kho đầu vào và xuất kho đầu ra. Mỗi giai đoạn đều yêu cầu giải một bài toán tối ưu riêng biệt nhằm giảm thiểu thời gian xử lý, nâng cao hiệu suất và khả năng tự động hóa. Cơ sở của phương pháp luận này kết hợp giữa dữ liệu khảo sát thực địa, phân tích đặc trưng kỹ thuật của hệ thống AS/RS tích hợp mã vạch, và ứng dụng các

thuật toán đã được chứng minh hiệu quả trong nghiên cứu trước để điều phối và sắp xếp hoạt động kho.

Trên cơ sở đó, 2 thuật toán chủ đạo được lựa chọn gồm: (1) thuật toán sắp xếp vị trí lưu kho - nhằm tối ưu hóa việc gán pallet vào các vị trí trống gần nhất để rút ngắn quãng đường di chuyển của thiết bị cất hàng, từ đó giảm thời gian thao tác; và (2) thuật toán định thời truy xuất - nhằm lập lịch xuất kho dựa trên thời gian lưu trữ của hàng hóa, theo nguyên tắc ưu tiên xuất trước các pallet lưu kho lâu hơn. Việc tích hợp hai thuật toán này vào hệ thống tự động hóa kho giúp nâng cao độ chính xác, giảm thiểu thời gian xử lý và tăng mức độ linh hoạt trong vận hành. Cách tiếp cận này đặc biệt phù hợp với điều kiện kho phân phối tại Hải Phòng - nơi phần lớn kho có quy mô vừa, nguồn lực đầu tư công nghệ còn hạn chế, nhưng lại chịu áp lực ngày càng lớn về hiệu quả vận hành và khả năng đáp ứng nhu cầu thị trường.

3.2. Các giai đoạn nghiên cứu

Giai đoạn 1: Thu thập dữ liệu

Giai đoạn đầu của nghiên cứu tập trung thu thập và phân tích dữ liệu liên quan đến thực trạng kho phân phối tại Hải Phòng thông qua tổng hợp báo cáo ngành, dữ liệu thống kê địa phương và khảo sát thực địa tại khu công nghiệp Nam Đình Vũ. Thông tin thu thập bao gồm diện tích và cấu trúc kho, tần suất luân chuyển hàng hóa, hình thức vận hành, mức độ ứng dụng công nghệ, và các khó khăn thực tiễn trong quá trình lưu trữ và truy xuất hàng hóa. Các dữ liệu này được sử dụng để nhận diện các giới hạn hiện hữu trong vận hành, từ đó làm cơ sở cho việc đề xuất mô hình hệ thống tự động hóa phù hợp với điều kiện ứng dụng tại địa phương. Đồng thời, nhóm nghiên cứu rà soát các công nghệ tự động hóa phổ biến như hệ thống lưu trữ và truy xuất tự động (AS/RS), robot tự hành (AGV, AMR), hệ thống quản lý kho (WMS), băng chuyền thông minh, mã vạch và cảm biến. Việc đánh giá khả năng triển khai các công nghệ này tại Hải Phòng được

kết hợp với nghiên cứu các thuật toán tối ưu như định thời, sắp xếp, BFO, GA và Dynamic Order-Based nhằm xác định hướng thiết kế hệ thống phù hợp với điều kiện thực tiễn của kho phân phối tại địa phương.

Giai đoạn 2: Thiết kế mô hình hệ thống tự động hóa

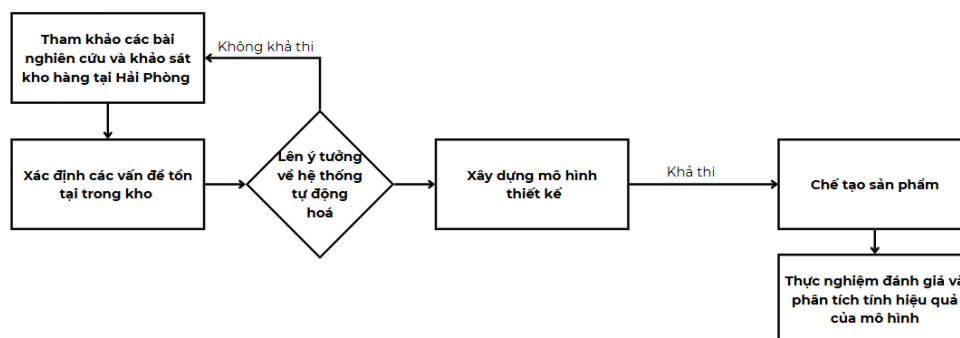
Dựa trên dữ liệu thu thập, một mô hình kho tự động hóa đã được thiết kế với năm thành phần chính: Hệ thống lưu trữ và truy xuất hàng hóa tự động (AS/RS) giúp tối ưu không gian và tốc độ lấy hàng; hệ thống băng chuyền vận chuyển hàng nhanh chóng, giảm ùn tắc; hệ thống quản lý kho (WMS) theo dõi hàng tồn kho theo thời gian thực và điều phối hoạt động kho; hệ thống QR code giúp nhận diện và truy xuất thông tin hàng hóa chính xác; hệ thống điều khiển tự động đảm bảo vận hành trơn tru bằng các thuật toán tối ưu hóa.

Giai đoạn 3: Chế tạo mô hình tự động mini

Sau khi thiết kế, một mô hình kho thu nhỏ đã được chế tạo để kiểm chứng tính khả thi. Mô hình bao gồm hệ thống AS/RS thu nhỏ, cần trục gấp hàng, băng chuyền và hệ thống QR code. Hệ thống cần trục quét mã QR để xác định vị trí hàng hóa, tối ưu hóa quá trình truy xuất. Băng chuyền giúp di chuyển hàng hóa hiệu quả, giảm thời gian chờ xử lý. WMS phiên bản thu nhỏ được tích hợp để theo dõi hàng tồn kho, điều phối hoạt động của cần trục và băng chuyền.

Giai đoạn 4: Đánh giá và tối ưu hóa

Mô hình đã được đánh giá để kiểm tra độ chính xác, tốc độ xử lý và hiệu suất vận hành. Các bài thử nghiệm tập trung vào khả năng nhận diện và lấy hàng của cần trục, hiệu suất vận chuyển của băng chuyền và độ trễ phản hồi của hệ thống. Nếu phát hiện lỗi, nhóm điều chỉnh thuật toán điều hướng, nâng cấp tốc độ băng chuyền và cải thiện độ chính xác của hệ thống QR code. Việc tinh chỉnh mô hình thử nghiệm giúp khắc phục lỗi kỹ thuật, đảm bảo hệ thống tự động hóa hoạt động hiệu quả khi triển khai thực tế.



Hình 1. Quy trình thiết kế hệ thống tự động hóa trong kho

4. Thiết kế và chế tạo mô hình hệ thống tự động hóa

4.1. Quy trình thiết kế hệ thống tự động hóa

Hình 1 mô tả quy trình nghiên cứu và triển khai hệ thống tự động hóa kho phân phối theo hướng tiếp cận tuần tự có kiểm chứng. Quá trình bắt đầu bằng khảo sát thực trạng kho hàng tại Hải Phòng và phân tích các tài liệu nghiên cứu để xác định vấn đề cần cải thiện. Trên cơ sở đó, nhóm nghiên cứu đề xuất ý tưởng tự động hóa và đánh giá khả thi. Nếu ý tưởng đáp ứng yêu cầu kỹ thuật và vận hành, mô hình thiết kế được xây dựng và phát triển thành sản phẩm thực nghiệm. Giai đoạn cuối là đánh giá hiệu quả và mức độ ứng dụng của hệ thống trong điều kiện thực tế. Quy trình cho phép điều chỉnh lặp lại nhằm đảm bảo giải pháp được tối ưu hóa và phù hợp với bối cảnh ứng dụng tại địa phương.

4.2. Các bộ phận chính

Hệ thống tự động hóa trong kho được nhóm nghiên cứu gồm 6 bộ phận chính.

Khối cần trục S/R (lưu trữ / nhặt hàng)

Cần trục được cấu tạo chính từ 3 động cơ step, 2 thanh vít-me, 3 thanh trượt, 4 giá đỡ thanh trượt, 2 giá đỡ vít-me, 1 bàn chạy, 1 xi lanh được cố định trên tấm mica rộng 15cm dài 46cm. Cần trục sẽ nâng pallet hàng từ băng chuyền để lên vị trí được quy định theo tính toán của hệ thống và ngược lại.

Khối vi điều khiển

Khối vi điều khiển giúp điều khiển và xử lý tín hiệu từ cảm biến, tự động hóa các tác vụ, và giao tiếp với thiết bị khác. Hệ thống bao gồm 1 bộ điều khiển trung tâm Siemens (phải) và vi điều khiển xử lý dữ liệu barcode (trái).

Khối động cơ

Khối động cơ chịu trách nhiệm chuyển đổi năng lượng thành chuyển động cơ học. Trong thiết bị tự động hóa này, khối động cơ bao gồm các động cơ step được sử dụng để điều khiển và di chuyển các bộ phận trong hệ thống.

Đầu đọc mã vạch (barcode)

Thiết bị để đọc và giải mã thông tin được mã hóa bên trong mã vạch, tăng tốc độ xử lý và giảm sai sót trong nhập liệu. Nó hỗ trợ quản lý hàng tồn kho hiệu quả, tích hợp dễ dàng vào các hệ thống quản lý, từ đó cải thiện trải nghiệm khách hàng trong lĩnh vực bán lẻ.

Hệ thống điện

Có 2 nguồn điện là 24V - nguồn điện chính vận hành động cơ và bộ điều khiển trung của mô hình;

12V - nguồn điện của đầu đọc barcode. Hệ thống dây điện điện sẽ cung cấp năng lượng điện cho các thiết bị như cảm biến, bộ điều khiển và động cơ. Nó đảm bảo hoạt động liên tục, tăng cường hiệu suất và năng suất sản xuất, đồng thời hỗ trợ tích hợp công nghệ mới và các hệ thống bảo vệ an toàn.

Hệ thống kệ hàng

Hệ thống kệ hàng trong mô hình tự động hóa sẽ giúp tối ưu hóa không gian lưu trữ và nâng cao hiệu suất làm việc. Nó cho phép truy xuất hàng hóa nhanh chóng và chính xác, đồng thời giúp quản lý hàng tồn kho hiệu quả, giảm thiểu sai sót và đảm bảo an toàn cho người lao động.

4.3. Các phương pháp ứng dụng trong hệ thống

Hệ thống tự động hóa ASRS áp dụng kết hợp thuật toán Earliest Deadline First (EDF) và sắp xếp hợp nhất (Merge Sort) để tối ưu hóa quy trình quản lý và truy xuất hàng hóa. Vì EDF có khả năng tối ưu hóa việc xử lý các yêu cầu truy xuất hàng hóa có thời hạn cụ thể. EDF là một thuật toán lập lịch ưu tiên động, trong đó tác vụ có deadline gần nhất sẽ được ưu tiên thực hiện trước, đảm bảo rằng các yêu cầu quan trọng được hoàn thành đúng hạn, từ đó giảm thiểu trễ và tối ưu hóa hiệu suất tổng thể của hệ thống. Trong khi đó, Merge Sort có tính hiệu quả và ổn định trong việc xử lý dữ liệu lớn. Bằng việc sử dụng chiến lược “chia để trị”, Merge Sort sẽ giúp tối ưu hóa quy trình quản lý và truy xuất hàng hóa, đồng thời giảm thiểu thời gian chờ đợi và tăng cường hiệu suất hoạt động của hệ thống.

Như vậy, sự kết hợp giữa EDF và Merge Sort cho phép hệ thống AS/RS không chỉ hoàn thành các yêu cầu một cách kịp thời mà còn tổ chức thông tin một cách hiệu quả, từ đó tối ưu hóa quy trình vận hành và cải thiện trải nghiệm người dùng.

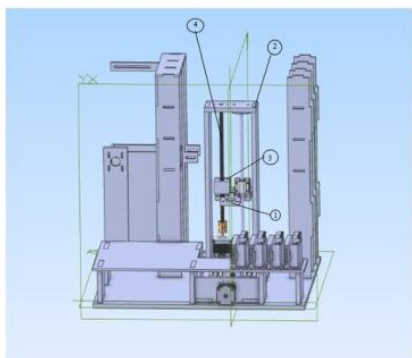
5. Thực nghiệm hệ thống tự động hóa

5.1. Phân tích mô hình

Dựa trên mô hình thiết kế hệ thống tự động hóa, nhóm tiến hành phân tích và đánh giá về hiệu quả hệ thống. Theo mô hình thực tế, vị trí cần trục S/R và vị trí trục dọc/ngang là các khu vực chịu tải chính trong quá trình vận chuyển hàng hóa vào/ra khỏi hệ thống kho. Do đó, cần tập trung đánh giá về khả năng chịu tải và độ chuyển vị của kết cấu ở các khu vực này.

Hình 2 thể hiện mô hình 3D của hệ thống tự động hóa. Kết cấu của khối cần trục bao gồm đế và cần trục (1), khung đỡ khối cần trục (2), giá đỡ vít me (3), trục vít me dọc (4), thanh vít me và cơ cấu chuyển động ngang (5), và động cơ step (6). Cần trục được gắn trực

tiếp vào trục quay có đế, cho phép trục có khả năng di chuyển 180 độ trong thực nghiệm.



Hình 2. Mô hình 3D hệ thống AS/RS

Tại vị trí số 1, số 3 và số 4 của mô hình hệ thống AS/RS thể hiện kết cấu khối cần trục của hệ thống tự động hóa phục vụ cho việc nâng hạ hàng hóa vào vị trí ô hàng, với đặc điểm là động cơ step và cần trục được gắn liền vào trục vít me chính để thực hiện thao tác nâng hạ hàng theo phương thẳng đứng. Toàn bộ khối cần trục được cố định vào khung mica tại vị trí số 2, và di chuyển theo phương ngang trên trục vít me ở vị trí số 5. Do đó, đây là các khu vực kết cấu cần chú ý tới tính bền trong quá trình vận hành. Xét về mặt tải trọng tác dụng lên kết cấu tại 2 khu vực này có thể thấy được, cần trục số 1 là khu vực chịu tải chính trong quá trình di chuyển hàng tới vị trí được chọn. Tại cánh tay này, mức độ tải và độ chuyển vị sẽ thay đổi tùy thuộc vào trọng lượng của hàng hóa. Bên cạnh đó, thực tế khi khảo sát hoạt động của hệ thống AS/RS thấy rằng, cần trục số 1 là khu vực kết cấu cần chú ý cho việc đảm bảo tính bền. Vì vậy, nghiên cứu này tập trung phân tích khả năng chịu tải của cần trục số 1 với tải trọng được xác định dựa theo các trạng thái có thể mà kết cấu sẽ phải chịu trong quá trình hoạt động.

Bên cạnh đó, nghiên cứu này còn đánh giá tiêu chí tốc độ di chuyển & thông lượng hàng hóa. Ở tiêu chí này, nhóm đo tốc độ di chuyển theo trục ngang dọc của thiết bị (mỗi phút hoặc cm/s) và thời gian chu kỳ lưu trữ/lấy hàng; với tốc độ càng cao sẽ cho thông lượng xử lý càng lớn. Nghiên cứu tập trung vào tốc độ di chuyển ngang của khối cần trục, tốc độ di chuyển dọc của hệ thống và thời gian cần thiết để hoàn thành 1 chu kỳ lấy/ cất hàng vào kho. Đây là tiêu chí quan trọng trong việc xác định hiệu quả của phương pháp lưu trữ/ xuất hàng, và là cơ sở để xác định tính khả thi về kinh tế của hệ thống trong tương lai.

Trong quá trình làm hàng, một tiêu chí khác cần được xác định và đánh giá là độ chính xác của hệ thống. Một lượt làm hàng chính xác được tính khi

hàng được vận chuyển vào hoặc ra khỏi hệ thống và không gặp vấn đề (hàng bị rơi, để sai vị trí). Đây là tiêu chí quan trọng để xác định hiệu suất vận hành thực tế, cũng như mức độ an toàn thực tế của hệ thống.

5.2. Thiết lập bài toán mô phỏng

Để kiểm tra khả năng chịu tải của kết cấu cần trục, nhóm tác giả tiến hành kiểm tra thực nghiệm hệ thống trong quá trình vận hành. Trong đó, kết cấu sẽ bị biến dạng và phá hủy trong trường hợp trọng tải tối đa của kết cấu lớn hơn trọng tải cho phép. Trong quá trình vận hành, nhóm đặt ra một số giả thuyết nhằm xác lập môi trường nghiên cứu như sau:

Thông thường, các hệ thống giá kệ ở giữa kho hàng sẽ được nhóm lại cùng nhau và tách biệt bởi lối đi lấy hàng, còn kệ hàng ở 2 bên kho sẽ chỉ có 1 bên duy nhất. Mỗi kệ hàng bao gồm nhiều tầng và cột, chia kệ hàng thành nhiều ô với kích cỡ như nhau để lưu trữ hàng hóa. Trong bài nghiên cứu, nhóm chọn thiết lập mô phỏng 2 dãy kệ đơn và một lối đi lấy hàng.

Mỗi đơn vị lưu trữ sẽ có 1 vị trí cá biệt khác nhau được mã hóa và có thể xác định bởi hệ thống điều khiển. Kho hàng vận hành trong điều kiện thông thường, không xảy ra rung chấn, với thông lượng hàng tại 1 thời điểm ổn định, không có biến động đột ngột trong quá trình vận hành.

Những giả định này có thể khác biệt so với thực tế ở một mức độ nhất định, tuy nhiên, chúng không ảnh hưởng đáng kể đến phương pháp tối ưu hóa được xem xét trong nghiên cứu này.

Điều kiện biên

Dựa trên hoạt động thực tế của hệ thống, bài toán xác định 2 điểm chịu lực cố định tại vị trí tiếp xúc giữa hệ thống cần trục và thanh vít me ngang (5), và vị trí cần trục tải hàng chính (1). Do giới hạn thời gian và phương thức, nghiên cứu xác định điểm đo đặc chính tại vị trí (1).

Tải trọng và độ chuyển vị

Các tải trọng tác dụng lên kết cấu cần trục tập trung tại vị trí đỡ hàng của cần trục tải hàng chính, và tại điểm tiếp xúc giữa hệ thống cần trục và thanh vít me ngang. Xét về trạng thái hoạt động của kết cấu cần trục, nhóm tập trung tính toán khả năng chịu tải kết cấu tại trạng thái có hàng và tại độ cao tầng hàng thứ 2, do đây là trạng thái tạo ra mô men lực lớn nhất trong quá trình hoạt động. Dựa trên khảo sát thực tế, bài báo tiến hành đánh giá khả năng chịu tải kết cấu và độ chuyển vị của cánh tay thông qua các giá trị tải trọng lần lượt là 2.5N, 5N, 10N và 15N.

Thông lượng hệ thống

Thông lượng của hệ thống cần trục được đánh giá trong môi trường vận hành thực tế. Nhóm vận hành hệ

Bảng 1. Kết quả đo thông lượng hàng trước và sau khi tối ưu hóa

Độ chính xác (%)	Thông lượng hàng trước khi tối ưu (Lượt/ phút)	Thông lượng hàng sau khi tối ưu (Lượt/ phút)	Tải trọng (N)
90	1.35	1.5	2.5
90	1.2	1.3	5
85	0.9	1	10
70	0.65	0.7	15

Nguồn: Nhóm nghiên cứu tổng hợp

Bảng 2. Kết quả đo đặc hệ thống trong thực nghiệm

Tốc độ của trục ngang có tải (cm/phút)	Tốc độ của trục dọc có tải (cm/phút)	Độ chuyển vị cần trục (mm)	Tải trọng (N)	Tỷ lệ chính xác quét barcode (%)	Thời gian quét (s)
36	18	0	2.5	99.25	0.8
32	18	0	5	99.25	0.8
30	15	1	10	99.25	0.8
34	12	1.5	15	99.25	0.8

Nguồn: Dữ liệu thực nghiệm của nhóm nghiên cứu

thống trong khoảng thời gian xác định để lắp đầy các ô trống trong kho hàng, sau đó ghi lại thời gian cần để hệ thống hoàn thành 1 lượt lưu trữ hàng, cũng như lắp đầy toàn bộ chỗ trống trong ô hàng.

Tốc độ di chuyển

Tốc độ di chuyển được đánh giá ở 2 khía cạnh - tốc độ di chuyển ngang của toàn bộ kết cấu cần trục trong 1 lượt cất hàng, và tốc độ di chuyển dọc của kết cấu cần trục khi có hàng.

Độ chính xác của hệ thống

Độ chính xác của hệ thống được đánh giá bằng quan sát trong môi trường vận hành thực tế. Một lượt làm hàng chính xác được tính khi hệ thống đưa được hàng từ vị trí tiếp nhận hàng I/O đến ô hàng được chỉ định, hoặc ngược lại. Ở tiêu chí này, nhóm tập trung vào tỉ lệ làm hàng chính xác trên tổng số lượt hàng ra hoặc vào theo công thức như sau:

$$X = (N^*/N) * 100\%$$

X: Tỷ lệ làm hàng chính xác;

N*: Số lần làm hàng chính xác;

N: Tổng số lần làm hàng.

Độ chính xác và thời gian quét barcode của hệ thống

Barcode đóng vai trò quan trọng trong việc giúp hệ thống xác định chính xác loại hàng hóa, lưu trữ thông tin. Trong nghiên cứu này, nhóm tập trung vào xác định 2 thông số chính: Tỷ lệ quét chính xác barcode và thời gian quét barcode cho mỗi kiện hàng. Nhóm đo đạc bằng đồng hồ thủ công và ghi chép lại các kết quả giữa các lần đo. Kết quả cuối cùng là trung bình của các lần đo.

5.3. Kết quả và thảo luận

Kết quả đo đạc cho các trường hợp tải trọng được thể hiện trong Bảng 1 và Bảng 2. Có thể thấy rằng, hệ thống đã vận hành được trong giới hạn các mức tải trọng được đặt ra, và ở mức 10N, kết cấu cần trục bắt đầu xuất hiện sự biến dạng ở vị trí nối giữa trục quay và cánh tay cần trục. Các giá trị khác như thông lượng, tỷ lệ làm hàng chính xác, tốc độ di chuyển đều nằm trong ngưỡng giả định của nhóm. Giá trị sai số về kết quả thu được bằng phương pháp thực nghiệm vào khoảng 8%.

Kết quả thu được từ nghiên cứu sẽ có giá trị trong việc cho phép các kỹ sư thiết kế sử dụng các cấu kiện khác nhau phù hợp với hệ thống, cũng như thiết kế phương pháp vận hành hiệu quả hơn trong tương lai.

6. Kết luận

Nghiên cứu đã thiết kế mô hình hệ thống tự động hóa cho các kho phân phối tại Hải Phòng, dựa trên sự tích hợp giữa hệ thống lưu trữ và truy xuất tự động (AS/RS), công nghệ mã vạch và RFID. Thiết kế này được phát triển dựa trên việc nghiên cứu và tổng hợp các công trình liên quan, nhằm xây dựng quy trình chế tạo mô hình hiệu quả và có tính ứng dụng cao. Nghiên cứu tập trung vào quy trình chế tạo và vận hành mô hình, đồng thời phân tích, đánh giá các yếu tố kỹ thuật như tải trọng, tốc độ hoạt động và thông lượng trong quá trình vận hành. Mục tiêu chính là tối ưu hóa năng suất làm việc, tận dụng tối đa không gian kho, đảm bảo an toàn và giải quyết vấn đề thiếu hụt nhân sự trong ngành logistics. Mô hình được thiết kế với cấu trúc nhỏ gọn, dễ chế tạo, chi phí đầu tư thấp, phù hợp cho mục

đích học tập, nghiên cứu cũng như triển khai thử nghiệm thực tế. Tuy nhiên, việc ứng dụng hệ thống tự động hóa trong kho phân phối thực tế đòi hỏi nguồn lực lớn và trình độ chuyên môn cao, đây là những vấn đề mà nhóm tác giả sẽ tiếp tục nghiên cứu và hoàn thiện trong các giai đoạn tiếp theo. Với mục tiêu giảm thiểu chi phí đầu tư và nâng cao hiệu quả vận hành cho các doanh nghiệp logistics tại Hải Phòng, mô hình này hứa hẹn sẽ mang lại giải pháp thiết thực, góp phần thúc đẩy quá trình chuyển đổi số trong lĩnh vực quản lý kho hàng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Banomyong, R., Huang, T. T. T., & Ha, P. T. (2017). *A study of logistics performance of manufacturing and import-export firms in Vietnam*. Journal of International Economics and Management, Vol.94, pp.64-73.
- [2] Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2017). *Warehouse & Distribution Science*. Georgia Institute of Technology.
- [3] Bộ Công Thương (2023). *Báo cáo Logistics Việt Nam 2023 - chuyển đổi số trong logistics*, NXB Công thương.
- [4] Cui, M. (2014). *Cross-border comparative analysis of E-commerce and logistics-take JingDong logistics and SF best as the examples*. Market Modernization, Vol.15, pp.35-36.
- [5] Dubey, V. K., & Veeramani, D. (2024). *A decision making framework for automating distribution centers in the Retail supply*. Heliyon, Vol.10(10).
- [6] Frazelle, E. H. (2016). *World-class warehousing and material handling*. McGraw-Hill Education.
- [7] Pham, Q. H., Phung, Q. P., & Do, H. Q. (2023). *Digital transformation in Vietnamese logistics businesses*. VNU Journal of Economics and Business, Vol.3(1), pp.28-37.
- [8] Kamoun, F., Alfandi, O., & Miniaoui, S. (2015, June). *An RFID solution for the monitoring of storage time and localization of perishable food in a distribution center*. In 2015 Global Summit on Computer & Information Technology (GSCIT), pp. 1-6, IEEE.
- [9] Li, J. T., Yuan, H., & Zhang, H. B. (2015). *Research on submerged logistics carrying AGV used in e-commerce distribution center*. Applied Mechanics and Materials, Vol.722, pp.436-441.
- [10] Liu, J., Liew, S. Y., Ooi, B. Y., & Qin, D. (2021). *Dynamic order-based scheduling algorithms for automated retrieval system in smart warehouses*. IEEE Access, Vol.9, pp.158340-158352.
- [11] Ma, H., Su, S., Simon, D., & Fei, M. (2015). *Ensemble multi-objective biogeography-based optimization with application to automated warehouse scheduling*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol.44, pp.79-90.
- [12] Nguyễn, T. K., Lê, K. C., & Nguyễn, C. D. (2023). *Giải pháp nâng cao năng lực cung ứng dịch vụ logistics của doanh nghiệp tại TP. Hải Phòng*. Tạp chí Kinh tế và Dự báo.
- [13] Nguyen, T. T. H., & Nguyen, T. T. (2018). *Factors Affecting Logistics Service Quality in Hai Phong Port, Vietnam*. European Journal of Business and Management, Vol.10(21), pp.1-9.
- [14] Nguyễn, T. V. (2009). *Tự động hóa trong kho hàng và trung tâm phân phối: Thực trạng và giải pháp*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Số 47(1), tr.45-50.
- [15] Nguyễn, V. A., & Trần, T. B. (2012). *Ứng dụng công nghệ RFID trong quản lý logistics cảng và khả năng*. Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.
- [16] Planeta, J. (2001). *Real estate logistics: understanding the modern Canadian distribution centre*. Canadian Transportation & Logistics, Vol.104(9), 14.
- [17] Rabianski, J. S., & Seagraves, P. A. (2011). *Demand for warehouse and distribution center space*. Real Estate Issues, Vol.36(1), pp.24-35.
- [18] Roodbergen, K. J., & Vis, I. F. (2009). *A survey of literature on automated storage and retrieval systems*. European journal of operational research, Vol.194(2), pp.343-362.
- [19] Tổng cục Thống kê, *Báo cáo tình hình Kinh tế - xã hội quý III và 9 tháng năm 2024*.
- [20] Yan, W. (2010, May). *The study on the simulation of a distribution center operating system and optimization of equipment configuration*. In 2010 Chinese Control and Decision Conference (pp. 3452-3456). IEEE.
- [21] Yu, Y., Wang, X., Zhong, R. Y., & Huang, G. Q. (2016). *E-commerce logistics in supply chain management: Practice perspective*. Procedia Cirp, Vol.52, pp.179-185.

Ngày nhận bài:	11/04/2025
Ngày nhận bản sửa lần 1:	19/04/2025
Ngày nhận bản sửa lần 2:	24/04/2025
Ngày duyệt đăng:	25/04/2025