



Tối ưu bố trí không gian kho fulfillment nhằm nâng cao hiệu quả vận hành: Nghiên cứu điển hình tại SwiftHub Optimizing fulfillment warehouse space layout to improve operational efficiency: A case study at SwiftHub

Đàm Nguyễn Quỳnh Nhiên¹, Hồ Thanh Thảo¹, Kim Thành Phát¹, Hồ Kiều Thanh¹, Ngô Tuấn Kiệt¹, Nguyễn Trọng Tâm^{2,*}

¹*Viện Đào tạo Chất lượng cao, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh*

²*Nhóm nghiên cứu SDCT, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh*

Từ khóa: TÓM TẮT

Fulfillment Sự bùng nổ thương mại điện tử đặt ra yêu cầu cao về hiệu quả và tính linh hoạt trong vận hành
Tối ưu hóa không kho. Nghiên cứu xây dựng nguyên tắc thiết kế và tiêu chí đánh giá để xác định điểm nghẽn và đề
gian xuất cải tiến cho kho Fulfillment. Đồng thời, mô hình quy hoạch tuyến tính (LP) được xây dựng
Anylogic để tối ưu hóa không gian lưu trữ thông qua việc phân bổ, xác định số lượng và slot cho từng loại
Mô phỏng rời rạc kệ, có xét đến nhu cầu lưu trữ và xử lý đơn hàng. Bên cạnh đó, mô phỏng rời rạc bằng phần mềm
Thiết kế kho hàng AnyLogic được sử dụng để kiểm chứng các giải pháp đề xuất thông qua các chỉ số như hiệu suất, thời gian xử lý và mức độ sử dụng không gian. Kết quả mô phỏng cho thấy phương án phân bổ không gian lưu trữ theo tỷ lệ pallet:shelving 20:80 tạo ra sự cân bằng tốt hơn giữa năng lực lưu trữ và hiệu suất xử lý đơn hàng, đồng thời cung cấp cơ sở tham khảo cho việc thiết kế và cải tiến kho Fulfillment trong bối cảnh thương mại điện tử.

Keywords: ABSTRACT

Fulfillment The rapid growth of e-commerce has imposed increasing demands on efficiency and flexibility
space in warehouse operations. This study develops design principles and evaluation criteria to
optimization identify bottlenecks and propose improvements for fulfillment warehouses. In addition, a linear
AnyLogic programming (LP) model is formulated to optimize storage space by determining the allocation,
discrete quantity, and slot configuration for different rack types, taking into account storage
simulation requirements and order processing demand. Furthermore, discrete-event simulation using
warehouse design AnyLogic is employed to validate the proposed solutions through key performance indicators such as operational efficiency, processing time, and space utilization. Simulation results indicate that the storage space allocation strategy with a pallet-to-shelving ratio of 20:80 achieves a better balance between storage capacity and order processing performance, while also providing a valuable reference for the design and optimization of fulfillment warehouses in the e-commerce context.

* Nguyễn Trọng Tâm. Nhóm SDCT, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh
Email: trongtam.nguyen@ut.edu.vn

<https://www.doi.org/10.55228/JTST150405>

Ngày nhận bài: 16/5/2026; Ngày nhận bài sửa: 30/6/2026; Ngày chấp nhận đăng: 01/7/2026

pISSN: 1859-4263.

1. Giới thiệu

Sự bùng nổ của thương mại điện tử toàn cầu và tại Việt Nam đang tạo ra những thay đổi sâu sắc trong ngành bán lẻ và logistics. Theo Tạp chí Kinh tế và Dự báo đến năm 2024, doanh thu thương mại điện tử toàn cầu đạt 6,3 nghìn tỷ USD (20% tổng doanh số bán lẻ) và dự kiến vượt 8,09 nghìn tỷ USD vào năm 2028. Xu hướng này kéo theo sự thay đổi hành vi tiêu dùng, với nhu cầu cao về tiện lợi, tốc độ giao hàng, và chất lượng dịch vụ.[1] Trong bối cảnh đó, dịch vụ Fulfillment xuất hiện như giải pháp toàn diện hỗ trợ doanh nghiệp thương mại điện tử - từ nhập kho, lưu trữ, đóng gói, vận chuyển, đến xử lý sau bán hàng. Fulfillment giúp tiết kiệm chi phí, tối ưu vận hành, nâng cao trải nghiệm khách hàng, và tăng năng lực cạnh tranh.

Các nghiên cứu về thiết kế và tối ưu kho hàng, đặc biệt đối với hệ thống kho lấy hàng theo đơn thủ công, nhìn chung vẫn chủ yếu tập trung vào từng khía cạnh riêng lẻ thay vì tiếp cận toàn diện. Một số nghiên cứu tập trung vào chính sách vận hành kho, tiêu biểu như Rosenblatt, Roll & Zyser (1993) [2] và Aase (2004) [3]. Trong khi đó, các nghiên cứu của Caron, Marchet & Perego (2000) [4] và Dukic, Vedran & Opetuk (2010) lại chú trọng đến thiết kế bố cục hoặc kích thước kho [5]. Một số công trình đã bắt đầu kết hợp giữa hai yếu tố, thường là bố cục kho và chính sách vận hành, như Altarazi & Ammouri (2010) [6], Shqair, Altarazi & Al-Shihabi (2014) [7], Roodbergen, Vis & Taylor (2015) [8], hoặc Petersen & Aase (2016) [9]. Tuy nhiên, những nghiên cứu này vẫn chỉ dừng lại ở việc kết hợp một số yếu tố nhất định, chưa đủ để phản ánh đầy đủ mức độ phức tạp trong vận hành kho thực tế. Ngoài ra, Kosfeld (1998) [10] và Macro & Salmi (2002) [11] cho rằng các nghiên cứu hiện nay thường ít chú trọng đến vai trò của nhân lực, thiết bị và thông lượng trong toàn bộ hệ thống kho. Đồng thời, Gu, Goetschalckx & McGinnis (2010) [12] cũng nhận định rằng lĩnh vực thiết kế kho bãi hiện nay vẫn chủ yếu thiên về phân tích từng phần thay vì xây dựng một khung phương pháp tích hợp và toàn diện.

Bên cạnh đó, phần lớn các mô hình mô phỏng trong giai đoạn này chỉ phản ánh một phần quy trình vận hành hoặc chủ yếu tập trung quá mức vào hoạt động lấy hàng theo đơn mà chưa bao quát đầy đủ các giai đoạn khác như tiếp nhận, sắp xếp vị trí lưu trữ, xếp dỡ, bảo quản, phân loại và vận chuyển. Tiêu biểu có thể kể

đến Petersen (2002) [13], Petersen & Aase (2004) [3], Chackelson et al. (2013) [14], và Shqair, Altarazi & Al-Shihabi (2014) [7]. Vì vậy, các nghiên cứu thường chỉ sử dụng những chỉ số như quãng đường di chuyển hoặc thời gian xử lý đơn hàng để đánh giá hiệu quả của từng công đoạn riêng lẻ. Trong khi đó, đối với kho Fulfillment, yếu tố quan trọng hơn là tổng thời gian hoàn thành toàn bộ chu kỳ vận hành, do đó việc tối ưu hóa theo từng khâu riêng biệt có thể chưa phản ánh đúng hiệu quả chung của toàn hệ thống.

Một hạn chế nổi bật khác nằm ở hệ thống chỉ số đánh giá hiệu suất kho bãi. Đa số nghiên cứu mới chỉ sử dụng các chỉ số cục bộ như quãng đường di chuyển của nhân viên hoặc thời gian xử lý đơn hàng. Chỉ tập trung vào một phần của quy trình xuất hàng (chuẩn bị đơn hàng, lấy hàng và chất hàng), mà bỏ qua quy trình nhập hàng (tiếp nhận, sắp xếp, lưu trữ, v.v.). Cách tiếp cận này khiến các mô hình tối ưu hóa mang lại hiệu quả trong phạm vi giới hạn của một công đoạn, mà ít phản ánh được toàn bộ hiệu suất vận hành từ góc độ chuỗi cung ứng. Trên thực tế, điều mà chuỗi cung ứng trong Fulfillment quan tâm là tổng thời gian hoàn thành toàn bộ chu kỳ vận hành kho hàng, thay vì chỉ là thời gian di chuyển hay xử lý một đơn hàng đơn lẻ. Vì vậy, việc tối ưu hóa dựa trên các chỉ số cục bộ có nguy cơ tạo ra sự lệch lạc, khi hiệu quả của từng khâu không nhất thiết đảm bảo hiệu quả chung của toàn hệ thống.

Xuất phát từ các khoảng trống nghiên cứu trước đây, nhóm tác giả đã phân tích và đề xuất mô hình tối ưu không gian kho Fulfillment tại SwiftHub. Mô hình được xây dựng dựa trên nền tảng lý thuyết của Gu, Goetschalckx và McGinnis (2010) [12] và sử dụng mô hình quy hoạch tuyến tính (Linear Programming - LP) [15] để tối ưu hóa không gian lưu trữ kho bãi. Sau đó, nhóm tiếp tục áp dụng mô hình mô phỏng sự kiện rời rạc (Discrete-Event Simulation - DES) bằng phần mềm AnyLogic để trực quan hóa, từ đó đánh giá và so sánh các phương án đề xuất chọn ra mô hình tối ưu. Bài nghiên cứu được xây dựng theo hướng toàn diện với phạm vi rộng hơn.[16] Cụ thể, đề tài xem xét đồng thời nhiều yếu tố có ảnh hưởng đến hiệu quả vận hành kho Fulfillment như nhân sự, thiết bị, thông lượng hàng hóa, bố cục kho, chính sách vận hành và sự kết nối giữa các khu vực chức năng trong kho. Nhờ đó, nghiên cứu không chỉ đề xuất cách sắp xếp hàng hóa mà còn tối ưu toàn bộ hoạt động kho. Bên cạnh đó, nghiên cứu tiến

hành mô phỏng toàn bộ quy trình hoạt động của kho Fulfillment, từ nhập hàng, cất hàng, lưu trữ, chuẩn bị đơn hàng, lấy hàng, đóng gói cho đến xuất hàng. Quá trình mô phỏng được xây dựng dựa trên các tác nhân (agents) như nhân sự, xe nâng, thiết bị lưu trữ và luồng di chuyển hàng hóa. Điều này giúp mô phỏng sát thực tế và đánh giá ảnh hưởng của từng yếu tố đến hiệu suất chung của kho. Ngoài ra, hiệu quả vận hành không chỉ được đánh giá thông qua một chỉ tiêu đơn lẻ mà dựa trên hệ thống các chỉ số tổng hợp như thời gian hoàn thành đơn hàng, hiệu suất sử dụng nhân sự, tỷ lệ lấp đầy kho, tỷ lệ hoàn thành đơn hàng. Cách tiếp cận này giúp đánh giá toàn diện quy trình vận hành thay vì chỉ tập trung vào một công đoạn riêng lẻ như nhập hàng hoặc xuất hàng.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp khảo sát, phỏng vấn

Nghiên cứu áp dụng phương pháp thu thập dữ liệu thực tiễn tại kho SwiftHub nhằm phản ánh chính xác hiện trạng hoạt động kho. Dữ liệu thu thập bao gồm bố trí không gian kho, quy trình vận hành, tần suất nhập – xuất hàng và các khó khăn thường gặp trong quá trình khai thác. Thông tin được thu thập thông qua quan sát trực tiếp, bảng câu hỏi khảo sát định lượng và phỏng vấn định tính các nhân viên, nhân sự đang trực tiếp làm việc tại kho. Phương pháp này giúp đảm bảo tính khách quan và làm cơ sở dữ liệu đầu vào cho quá trình mô hình hóa và phân tích ở các bước nghiên cứu tiếp theo.

2.2. Mô hình Quy hoạch tuyến tính (Linear Programming - LP)

LP Model (Linear Programming Model) là mô hình tối ưu hóa tuyến tính dùng để tìm phương án tốt nhất trong điều kiện nguồn lực giới hạn. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng LP kết hợp với công cụ Microsoft Excel Solver để xây dựng các phương án thử nghiệm và lựa chọn mô hình kho tối ưu. Mô hình tập trung tối ưu hóa diện tích lưu trữ thông qua việc phân bổ các loại kệ khác nhau, đồng thời xét đến nhu cầu lưu trữ và xử lý đơn hàng. Dựa trên nhu cầu từng loại đơn hàng theo ngày, mô hình xác định số lượng kệ và slot mỗi dãy kệ cần bố trí để sử dụng hiệu quả không gian kho. [15]

Các tham số chính (Main Parameters):

Gọi:

$k = 1, 2, \dots, r$: Loại kệ

$j = 1, 2, \dots, m$: Loại đơn hàng

r : tổng số loại kệ

m : tổng số loại đơn hàng

C_k : sức chứa của 1 slot loại kệ k (units/slot) ($k: 1, 2, \dots, r$)

a_k : diện tích của 1 slot loại kệ k (m^2 /slot) ($k: 1, 2, \dots, r$)

Y_{jk} : số units của loại đơn hàng j được xử lý bởi loại kệ k ($k: 1, 2, \dots, r$ & $j = 1, 2, \dots, m$)

D_j : nhu cầu tối thiểu của loại đơn hàng j ($j = 1, 2, \dots, m$)

M : tổng sức chứa tối đa của kho (units)

A : tổng diện tích kho (m^2)

p_k : phần trăm diện tích loại kệ k chiếm trên tổng diện tích lưu trữ của kho (%) ($\sum_{k=1}^r p_k = 1$)

Biến quyết định (Decision variable)

X_k : số slot trên kệ loại k ($k: 1, 2, \dots, r$)

Hàm mục tiêu (Objective Function)

Tối đa hóa tổng số units có thể lưu trữ trong kho:

$$\text{Max } Z = \sum_{k=1}^r C_k X_k \quad (1)$$

Ràng buộc (Constraints):

Ràng buộc diện tích kho: Tổng diện tích chiếm dụng của từng loại kệ k phải đáp ứng ít hơn hoặc bằng tổng diện tích kho

$$\sum_{k=1}^r a_k X_k \leq A \quad (2)$$

Ràng buộc sức chứa kho: Tổng sức chứa (units) của từng loại kệ k phải ít hơn hoặc bằng sức chứa tối đa của kho

$$\sum_{k=1}^r C_k X_k \leq M \quad (3)$$

Ràng buộc đáp ứng nhu cầu từng loại hàng: Tổng số units được tạo ra theo từng loại kệ k phải đáp ứng lớn hơn hoặc bằng yêu cầu hàng ngày của từng loại đơn hàng j

$$\sum_{k=1}^r Y_{jk} \geq D_j \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

Ràng buộc phần trăm diện tích từng loại kệ k chiếm trên tổng diện tích lưu trữ của kho:

$$a_k X_k = p_k \sum_{k=1}^r a_k X_k \quad (5)$$

Ràng buộc số lượng slot của từng loại kệ k là số dương

$$X_k \geq 0 \quad (k: 1, 2, \dots, r) \quad (6)$$

Dựa trên nghiệm tối ưu X_k thu được từ mô hình quy hoạch tuyến tính (LP), nhóm nghiên cứu tiến hành xác định các thông số chi tiết liên quan đến cấu trúc kệ và diện tích lưu trữ của kho. Cụ thể, số lượng slot của từng loại kệ được phân rã thành các thành phần cấu trúc bao gồm số dãy kệ, số slot trên mỗi tầng và số tầng của kệ. Đồng thời, các thông số này được sử dụng để tính toán diện tích lưu trữ tương ứng

Tổng slot lưu trữ của loại kệ k

$$X_k Y_k Z_k = X_k \quad (7)$$

Trong đó:

x_k : Số dãy kệ loại k ($k: 1, 2, \dots, r$)

y_k : Số slot trong 1 tầng của loại kệ k ($k: 1, 2, \dots, r$)

z_k : Số tầng của loại kệ k ($k: 1, 2, \dots, r$)

X_k : số slot trên loại kệ k ($k: 1, 2, \dots, r$)

Tổng diện tích lưu trữ của loại kệ k

$$S_k = (w_k X_k + w_{a,k} \frac{x_k}{2}) l_k y_k \quad (8)$$

Trong đó:

S_k : Diện tích lưu trữ của từng loại kệ k ($k: 1, 2, \dots, r$) (m^2)

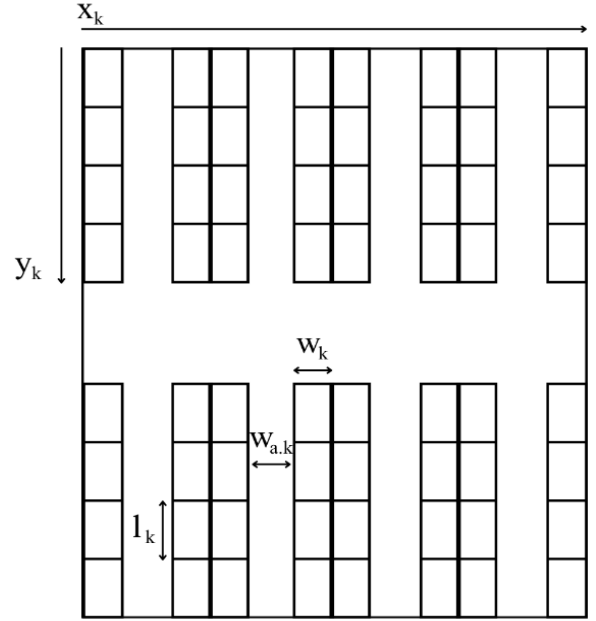
x_k : Số dãy kệ loại k ($k: 1, 2, \dots, r$)

y_k : Số slot trong 1 tầng của loại kệ k ($k: 1, 2, \dots, r$)

w_k : Chiều rộng của 1 slot loại kệ k ($k: 1, 2, \dots, r$) (m)

$w_{a,k}$: Chiều rộng lối đi giữa loại kệ k ($k: 1, 2, \dots, r$) (m)

l_k : Chiều dài của 1 slot loại kệ k ($k: 1, 2, \dots, r$) (m)



Hình 1. Sơ đồ mặt bằng bố trí kệ loại k và các thông số kích thước.

Tổng diện tích lưu trữ của kho

Tổng diện tích lưu trữ của kho bao gồm diện tích lưu trữ của từng loại kệ k, được xác định như sau:

$$S = \sum_{k=1}^r S_k \quad (9)$$

Trong đó:

S : Tổng diện tích lưu trữ của kho (m^2)

S_k : Diện tích lưu trữ của loại kệ k ($k: 1, 2, \dots, r$) (m^2)

2.3. Phương pháp mô phỏng rời rạc và công cụ AnyLogic

Trong khuôn khổ nghiên cứu tối ưu hóa không gian tại kho Fulfillment, phương pháp mô phỏng sự kiện rời rạc (Discrete-Event Simulation – DES) được lựa chọn do phù hợp với đặc điểm vận hành theo quy trình của hệ thống kho. DES mô hình hóa các thực thể lần lượt trải qua các hoạt động xử lý và sử dụng nguồn lực, dẫn đến sự hình thành hàng đợi trong quá trình vận hành. Phương pháp này cho phép tái hiện trực quan luồng di chuyển hàng hóa, mức độ sử dụng tài nguyên và các điểm nghẽn then chốt, qua đó tạo cơ sở đánh giá định lượng hiệu suất và so sánh các phương án bố trí không gian lưu trữ. Một số chỉ số hiệu suất thường được đánh giá thông qua DES bao gồm: Mức độ sử dụng nguồn lực,

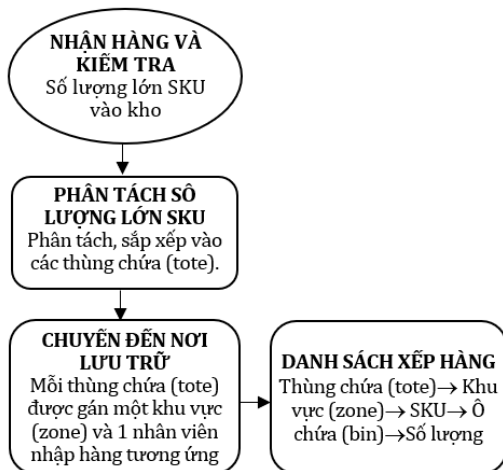
thời gian lưu trữ của tác nhân trong hệ thống hoặc từng phân đoạn, thời gian chờ, chiều dài hàng đợi, thông lượng hệ thống, điểm nghẽn.

Một ưu điểm quan trọng của phương pháp này là khả năng kết hợp dữ liệu thực tế và dữ liệu mô phỏng để phân tích độ nhạy và kiểm thử các kịch bản vận hành trong điều kiện bất định. Nhờ đó, người dùng có thể so sánh các phương án bố trí, phân tích kết quả bằng biểu đồ và báo cáo thống kê, từ đó xác định phương án bố trí tối ưu và phù hợp trước khi thử nghiệm thực tế, giúp tiết kiệm chi phí và thời gian.

Trong nghiên cứu này, phần mềm AnyLogic được sử dụng làm công cụ mô phỏng chính. Với khả năng mô phỏng sự kiện rời rạc và thư viện Material Handling Library, phần mềm hỗ trợ mô phỏng chi tiết các hoạt động kho bãi như xếp dỡ, lưu trữ, di chuyển hàng hóa và phân bổ nguồn lực. [16]

3. Cơ sở lý thuyết

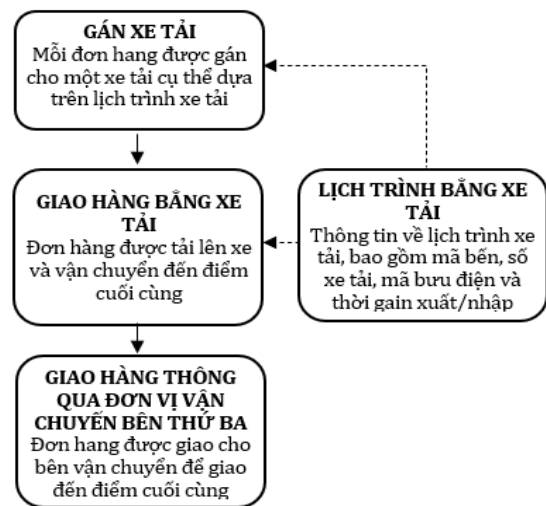
Kho Fulfillment, hay còn gọi là kho hoàn tất đơn hàng, là một dịch vụ lưu kho tích hợp từ việc nhận hàng, lưu trữ, đóng gói đến giao hàng cho khách hàng cuối cùng. Kho Fulfillment đóng vai trò quan trọng trong việc hoàn tất đơn hàng cho thương mại điện tử. [17]



Hình 2. Quy trình nhận hàng và lưu trữ hàng hóa.



Hình 3. Quá trình lấy hàng và hợp nhất đơn hàng.



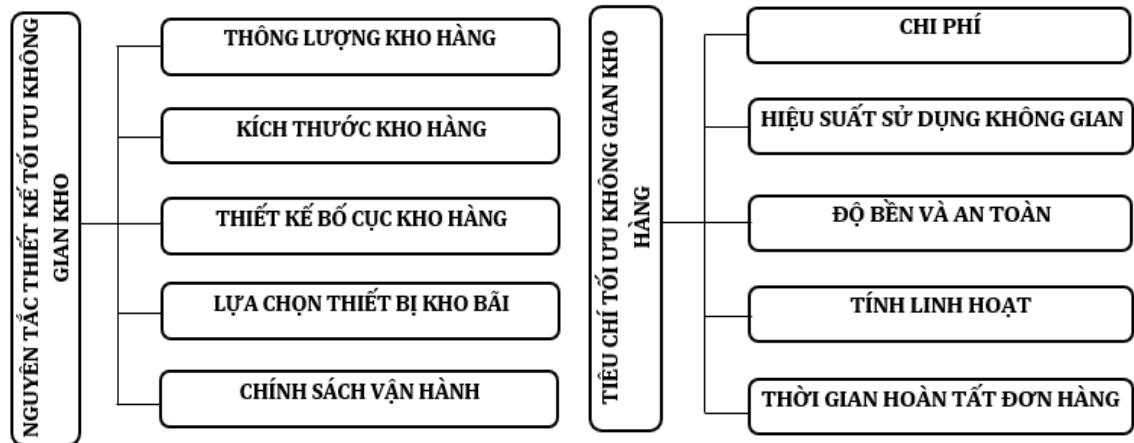
Hình 4. Quy trình gán xe tải và xếp hàng lên xe tải.

Hình 2, Hình 3 và Hình 4 mô tả tổng thể quy trình vận hành của một kho Fulfillment tiêu chuẩn, bao gồm các giai đoạn từ tiếp nhận và lưu trữ hàng hóa, xử lý và hợp nhất đơn hàng đến phân bổ phương tiện và giao hàng đến khách cuối cùng. Quy trình này phản ánh dòng chảy vận hành xuyên suốt trong kho Fulfillment,

đồng thời thể hiện mối liên kết giữa các hoạt động nhập hàng, lưu trữ, lấy hàng, đóng gói và xuất hàng nhằm đảm bảo tốc độ xử lý đơn và hiệu quả vận hành hệ thống.

Hình 5 trình bày sơ đồ tổng hợp các nguyên tắc và tiêu chí tối ưu không gian kho hàng, được xây dựng từ

các nghiên cứu trước đây kết hợp với mô hình vận hành thực tế tại doanh nghiệp. Thiết kế kho Fulfillment về cơ bản kế thừa các nguyên tắc của kho truyền thống, tuy nhiên đặc biệt nhấn mạnh yếu tố thời gian hoàn tất đơn hàng như một tiêu chí trọng yếu trong đánh giá hiệu quả vận hành. Các nguyên tắc và tiêu chí đánh giá được hệ thống hóa trong hình dưới đây:



Hình 5. Sơ đồ nguyên tắc và tiêu chí tối ưu thiết kế không gian kho hàng.

4. Xây dựng mô hình

Dựa trên khảo sát và phỏng vấn tại kho Fulfillment SwiftHub, nhóm nghiên cứu đã thu thập và tổng hợp số

liệu thực tế như Bảng 1, Bảng 2 và Bảng 3, sau đó đưa vào phần mềm mô phỏng AnyLogic để tính toán và phân tích các kịch bản trong nghiên cứu.

Bảng 1. Dữ liệu đầu vào cho mô hình kho anylogic.

STT	Nhóm	Thông số đầu vào	Giá trị	Đơn vị
1	Thông tin kho	Diện tích kho	3.000	m ²
2		Chiều rộng kho	47	m
3		Chiều dài kho	64	m
4		Tỷ lệ tồn kho ban đầu	50	%
5	Tồn kho & dòng hàng	Số lượng hàng nhập B2B	150	đơn vị/lô
6		Số lượng hàng nhập B2C	1	đơn vị/lô
7		Tần suất xuất hàng B2B	10	ngày/ lần
8		Tần suất xuất hàng B2C	3	lần/ ngày
9	Hệ thống kệ shelving	Số lượng kệ	10	kệ đôi
10		Số tầng mỗi kệ	5	tầng
11		Số bin mỗi tầng	27	bin
12		Tổng vị trí lưu trữ	2700	vị trí
13	Hệ thống kệ pallet	Số lượng kệ	14	kệ đôi
14		Số tầng mỗi kệ	5	tầng
15		Số bin mỗi tầng	33	bin

STT	Nhóm	Thông số đầu vào	Giá trị	Đơn vị
16	Nguồn lực	Tổng vị trí lưu trữ	2310	vị trí
17		Forklift	1	thiết bị
18		Nhân viên cất hàng	5	người
19		Nhân viên lấy hàng	3	người
20		Nhân viên phân loại	3	người
21		Nhân viên đóng gói	6	người
Quy ước 1 agent = 10 SKU				

Bảng 2. Dữ liệu đầu vào thông số kho cho mô hình lp.

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Sức chứa kho tối đa (M)	100,000	units
Tổng diện tích kho (A)	3,000	m ²
Số loại sản phẩm	1	loại
Số loại đơn hàng (m)	2	loại
Số loại kệ (r)	2	loại

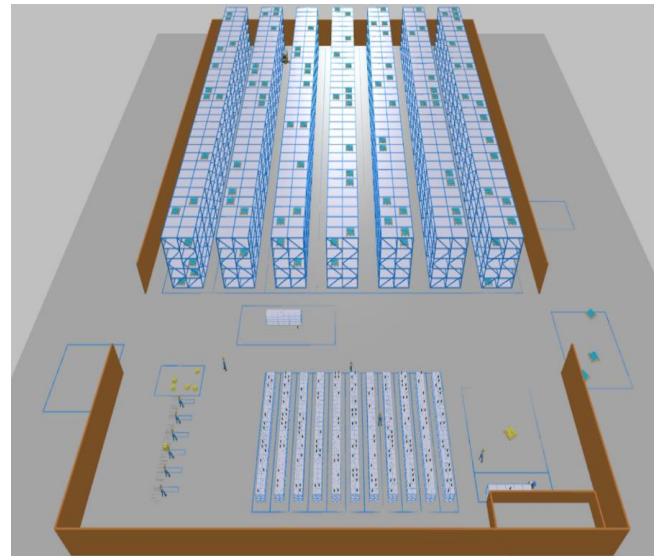
Bảng 3. Dữ liệu đầu vào loại đơn hàng cho mô hình LP.

Loại đơn	Units / slots	Tổng slots/ đơn	Số đơn/ ngày	Số units /đơn	Demand/ ngày (units)
B2B	150	2	0.1	300	30
B2C	1	400	3	400	1200

Mô hình kho Fulfillment SwiftHub được xây dựng trong phần mềm AnyLogic sử dụng Thư viện Mô hình hóa Quy trình (Process Modeling Library) và Thư viện Xử lý Tài Nguyên (Material Handling Library) để mô phỏng hoạt động trong kho fulfillment, cho phép mô phỏng nhiều kịch bản khác nhau, xuất ra các biểu đồ hiệu suất, tỷ lệ và các thông số kỹ thuật cụ thể từ đó dễ dàng phân tích và đánh giá.

Mô hình không gian kho Fulfillment được mô phỏng từ mặt bằng thực tế trong quá trình đi khảo sát. Nhóm tác giả xây dựng mô hình mô phỏng bằng phần mềm Anylogic với 3 phần: Cơ sở hạ tầng kho, các sự kiện logic và các biểu đồ số liệu.

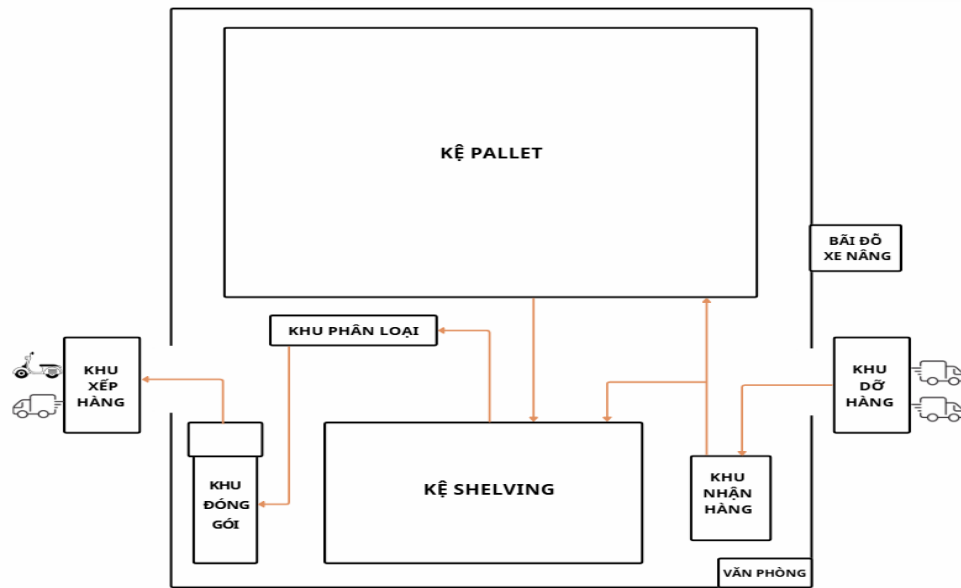
Phần 1 là Mô hình 3D (Hình 6) mô phỏng cơ sở hạ tầng của kho và mô tả các bố trí không gian các khu vực: dỡ hàng, nhập hàng, bãi đỗ Forklift, khu vực lưu trữ (kệ shelving, kệ pallet), phân loại, đóng gói, xuất hàng, xếp hàng, trả hàng.



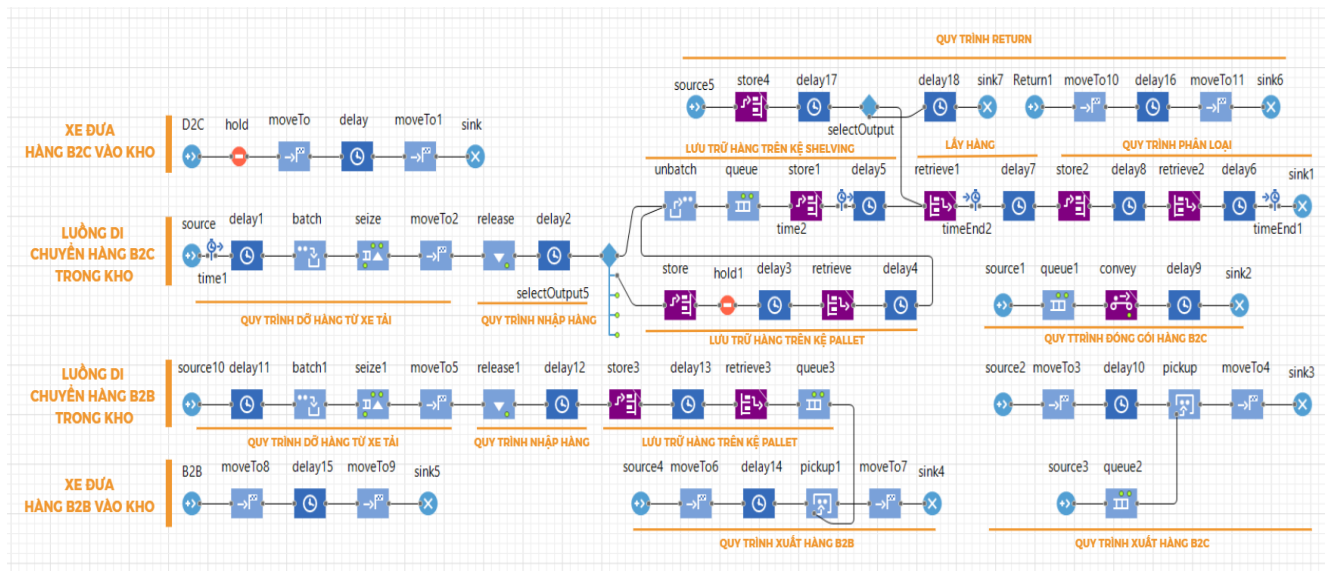
Hình 6. Mô hình 3D kho hiện tại.

Ngoài ra, nhằm mô tả đầy đủ mô hình, nhóm tác giả đã xây dựng sơ đồ luồng hàng hóa tại kho SwiftHub. Sơ đồ này được xây dựng dựa trên quá trình nghiên cứu thiết kế kết hợp khảo sát thực địa, và được trình bày trong Hình 7.

Phần 2 (Hình 8) là sơ đồ logic mô phỏng vận hành mô tả logic hoạt động của kho thông qua các khối chức năng trong AnyLogic như tiếp nhận hàng, lưu trữ, truy xuất, di chuyển, phân loại và xuất hàng (Bảng 3). Phần 3 là các biểu đồ (Hình 9) và bảng số liệu (Bảng 4) thể hiện hiệu suất và năng lực vận hành của kho, giúp xác định các điểm nghẽn và so sánh hiệu quả giữa các kịch bản bố trí kho khác nhau.



Hình 7. Sơ đồ luồng dòng hàng hóa trong kho hiện tại.



Hình 8. Sơ đồ logic trong mô hình mô phỏng kho hiện tại.

Bảng 3. Danh mục các khối được sử dụng.

Khối	Tên khối	Chức năng
	Nguồn đầu vào (sources)	Đưa agent (hàng hóa) vào hệ thống từ nhiều điểm khác nhau.
	Di chuyển (moveto)	Mô phỏng việc di chuyển agent giữa các vị trí xử lý.

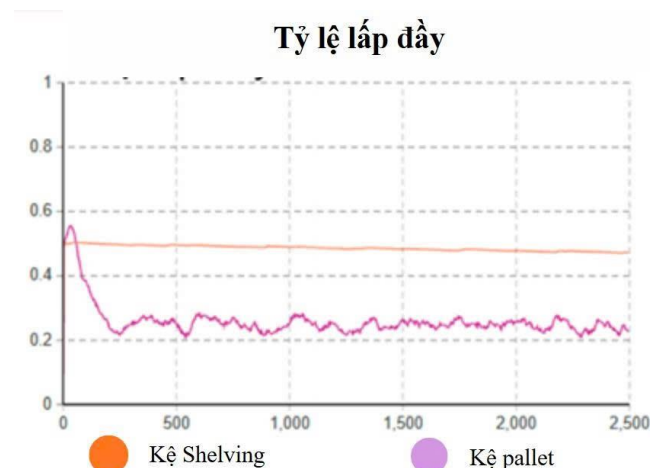
Khối	Tên khối	Chức năng
	Lưu trữ và truy xuất (store & retrieve)	Lưu trữ hàng hóa và lấy hàng hóa ra khỏi hệ thống kho (kệ chứa, khu vực lưu tạm...).
	Xử lý và chờ (delay, seize, release)	Mô phỏng thời gian xử lý, sử dụng và giải phóng agent (như nhân lực, thiết bị).
	Tách/gộp agent (batch, unbatch)	Cho phép gộp nhóm hoặc tách lẻ agent khi cần thiết.
	Nhặt lên (pickup)	Mô phỏng xe nâng/ xe tải hoặc robot lấy pallet/hàng hóa từ một vị trí theo yêu cầu
	Băng chuyền (convey)	Mô phỏng vận chuyển agent trên một trục vật lý.
	Điểm kết thúc (sink)	Đánh dấu sự kết thúc của agent trong hệ thống.
	Tác nhân (agent)	Đối tượng mô phỏng có khả năng tự di chuyển, tương tác, và thực hiện các hành vi xác định trong mô phỏng

Thông qua các biểu đồ và số liệu thể hiện hiệu suất và năng lực vận hành của kho, nhóm nghiên cứu đánh giá các điểm nghẽn dựa trên biểu đồ như sau:

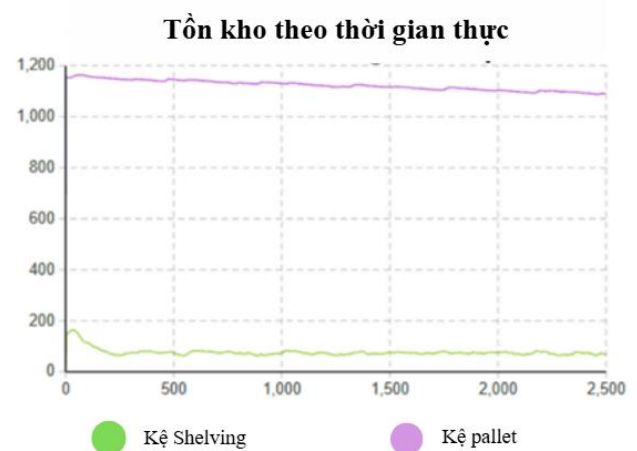
Bảng 4. Dữ liệu đầu ra mô hình chưa tối ưu.

Tiêu chí	Tỷ lệ hoàn thành đơn (%)	Thời gian hoàn thành đơn hàng TB (s)	Hiệu suất nhân sự (%)	Không gian sử dụng (%)
Kịch bản Chưa tối ưu	68.5	85.621	86.67	39

a)



b)



Hình 9. Biến động theo thời gian của hệ thống kệ Shelving và kệ Pallet của kịch bản chưa tối ưu. (a) Tỷ lệ lấp đầy, (b) Mức tồn kho.

Hình 9 biểu diễn tỷ lệ lấp đầy và mức tồn kho đã tổng hợp từ các chỉ số vận hành, nhận thấy mô hình kho hiện tại chưa đạt trạng thái tối ưu, nghiêm trọng nhất là tỷ lệ hoàn thành đơn chỉ đạt 68,5%, thấp hơn rất xa so với mục tiêu của kho Fulfillment thương mại điện tử, phản ánh rủi ro cao về tồn kho thấp, thiếu hụt hàng thực tế hoặc quy trình xác nhận đơn chưa hiệu quả. Bên cạnh đó, mức sử dụng không gian chỉ 39% cho thấy sự lãng phí đáng kể về chi phí mặt bằng, việc bố trí hàng hóa chưa hợp lý và giảm hiệu quả vận hành. Tỷ lệ lấp đầy chưa hợp lý khi kệ pallet đạt khoảng 48–50% trong

khi kệ shelving chỉ 20–30%, cho thấy hàng hóa phân bố chưa phù hợp với đặc tính lưu trữ và tần suất lấy hàng, dẫn đến lãng phí diện tích và làm giảm hiệu quả picking. Đồng thời, việc tồn kho tập trung chủ yếu ở pallet thay vì shelving cũng góp phần làm giảm hiệu quả khai thác không gian và kéo dài quãng đường picking. Mặc dù hiệu suất nhân sự đạt 86,67% là điểm tích cực, nhưng vẫn chưa đạt mức tốt nhất, có thể tăng thêm nếu cải thiện không gian và vận hành kho. Nhìn chung, các chỉ số này cho thấy kho chưa đạt được mức tối ưu tiềm năng, cần được tái thiết kế cả về cấu trúc không gian lẫn quy trình để nâng cao hiệu quả tổng thể.

5. Kết quả

5.1. Kết quả mô hình LP

Từ kết quả của mô hình LP, biến quyết định X_k (tổng số slot của loại kệ k) được phân rã theo cấu trúc không gian của hệ thống kệ, cụ thể:

$$X_k Y_{kZS} = X_k \quad (7)$$

Trong nghiên cứu này, với bài toán điển hình tại SwiftHub, nhằm tối ưu hóa việc sử dụng chiều cao kho đồng thời đảm bảo phù hợp với đặc tính vận hành và thiết bị xếp dỡ, nhóm nghiên cứu cố định số tầng của các kệ pallet và kệ shelving là 5 tầng, với $z_k=5$.

Với đặc thù của kho fulfillment, nhóm tác giả đã phân bổ lại cơ cấu lưu trữ giữa kệ pallet và kệ shelving theo 4 kịch bản tỷ lệ 40:60, 30:70, 20:80 và 10:90. Ở mỗi kịch bản, diện tích chiếm dụng được xác định thông qua quy đổi từ số lượng và diện tích các vị trí lưu trữ (slot) của từng loại kệ, qua đó làm cơ sở tính toán diện tích cần thiết và số lượng vị trí lưu trữ tương ứng. Từ kết quả này, nhóm đề xuất phương án bố trí số lượng kệ pallet và kệ shelving tối ưu, đáp ứng nhu cầu vận hành của kho fulfillment.

Do mô hình được xây dựng dưới dạng quy hoạch tuyến tính (LP), các biến quyết định biểu diễn số lượng slot của từng loại kệ được xem là biến liên tục dương. Vì vậy, nghiệm tối ưu do bộ giải trả về có thể nhận các giá trị thực. Tuy nhiên, trong thực tế số lượng slot lưu trữ phải là số nguyên dương nên các nghiệm thu được cần được làm tròn về số nguyên gần nhất trước khi sử dụng. Sai số phát sinh do làm tròn là rất nhỏ do độ lệch của mỗi biến không vượt quá $\pm 0,5$ slot. Cụ thể, sai số làm tròn lớn nhất của biến (X_1) là 0,460 slot (kịch bản

10:90), trong khi sai số lớn nhất của biến (X_2) là 0,439 slot (kịch bản 40:60). So với quy mô hệ thống từ hàng trăm đến hàng chục nghìn slot lưu trữ, các sai số này chỉ chiếm tỷ lệ rất nhỏ, dưới 0,15% đối với (X_1) và dưới 0,005% đối với (X_2). Do đó, ảnh hưởng của việc làm tròn đến tổng diện tích lưu trữ và kết quả so sánh giữa các phương án là không đáng kể. Vì vậy, các nghiệm sau khi làm tròn được xem là đủ chính xác để phục vụ phân tích và đề xuất phương án bố trí kho trong thực tế.

Bảng 5 trình bày dữ liệu đầu ra của mô hình LP sau khi các biến quyết định được làm tròn về số nguyên dương gần nhất.

Bảng 5. Dữ liệu đầu ra của mô hình LP.

Thông số	Tỷ lệ kệ (Pallet : Shelving)			
	40:60	30:70	20:80	10:90
X1: số slot của kệ pallet	596	563	507	317
X2: số slot của kệ shelving	10,565	15,523	23,954	33,750
Tổng diện tích lưu trữ	1,126.9	1,419.2	1,916.3	2,400.0
% diện tích lưu trữ so với diện tích kho	37.6%	47.3%	63.9%	80.0%

Với đặc thù của kho Fulfillment, nhóm tác giả đã phân bổ lại cơ cấu lưu trữ giữa kệ pallet và kệ shelving theo 4 kịch bản tỷ lệ. Ở mỗi kịch bản, diện tích chiếm dụng được xác định thông qua quy đổi từ số lượng và diện tích các vị trí lưu trữ (slot) của từng loại kệ, qua đó làm cơ sở tính toán diện tích cần thiết và số lượng dây kệ tương ứng. Từ kết quả này, nhóm đề xuất phương án bố trí số lượng dây kệ pallet và shelving tối ưu, đáp ứng nhu cầu vận hành của kho Fulfillment.

Các kịch bản được phân loại theo tỷ lệ tổng diện tích lưu trữ (kệ shelving & kệ pallet) trên tổng diện tích kho. Tỷ lệ này phản ánh mức độ sử dụng không gian kho.

Dựa trên kết quả, các kịch bản được nhóm lại để phân tích và so sánh, từ đó chia thành hai nhóm chính:

- Trong Bảng 6 là nhóm thứ nhất bao gồm các trường hợp có diện tích lưu trữ nhỏ hơn 50% diện tích kho

- Trong Bảng 7 là nhóm thứ hai bao gồm các trường hợp có diện tích lưu trữ lớn hơn 50% diện tích kho.

Bảng 6. Thông số kịch bản thực nghiệm với diện tích lưu trữ dưới 50%.

	Nhóm trường hợp theo tỷ lệ kệ (pallet : shelving)	x ₁	y ₁	x ₂	y ₂	Phân loại kịch bản
40:60	TH1: Ràng buộc theo x ₁ của kệ pallet và x ₂ của kệ Shelving	16	7	50	42	KB 1
	TH2: Ràng buộc theo y ₁ của kệ pallet và y ₂ của kệ shelving	4	21	28	73	KB 2
	TH3: Ràng buộc theo y ₁ của kệ pallet	4	21	38	53	KB 3
	TH4: Ràng buộc theo y ₂ của kệ shelving	8	13	28	73	KB 4
30:70	TH1: Ràng buộc theo x ₁ của kệ pallet và x ₂ của kệ Shelving	16	7	50	62	KB 5
	TH2: Ràng buộc theo y ₁ của kệ pallet và y ₂ của kệ shelving	4	21	42	73	KB 6
	TH3: Ràng buộc theo y ₁ của kệ pallet	4	21	40	76	KB 7
	TH4: Ràng buộc theo y ₂ của kệ shelving	4	28	42	73	KB 8

Bảng 7. Thông số kịch bản thực nghiệm với diện tích lưu trữ trên 50%.

	Nhóm trường hợp theo tỷ lệ kệ (pallet : shelving)	x ₁	y ₁	x _{2.1}	y _{2.1}	x _{2.2}	y _{2.2}	Phân loại kịch bản
20:80	TH1: ràng buộc theo x ₁ của kệ pallet	16	6	50	45	28	21	KB 9
	TH2: ràng buộc theo y ₁ của kệ pallet	4	21	42	73	58	15	KB 10
	TH3: ràng buộc theo x _{2.1} của kệ shelving	17	-3	50	75	58	73	LOẠI
	TH4: ràng buộc theo y _{2.1} của kệ shelving	1	21	52	73	58	73	KB 11
10:90	TH1: ràng buộc theo x ₁ của kệ pallet	16	3	50	53	58	48	KB 12
	TH2: ràng buộc theo y ₁ của kệ pallet	2	21	48	73	58	41	KB 13
	TH3: ràng buộc theo x _{2.1} của kệ shelving	17	-6	50	84	58	73	LOẠI
	TH4: ràng buộc theo y _{2.1} của kệ shelving	0.06	21	58	73	58	73	LOẠI

5.2. Đánh giá

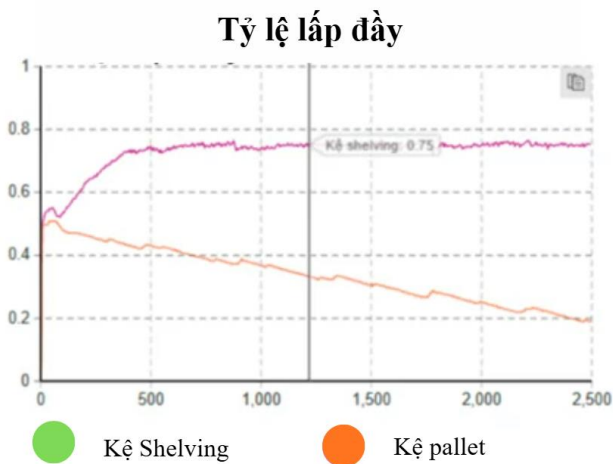
5.2.1. Kịch bản nhóm trường hợp theo tỷ lệ kệ (40 : 60)

Bảng 8. Dữ liệu đầu ra mô hình tỷ lệ 40:60.

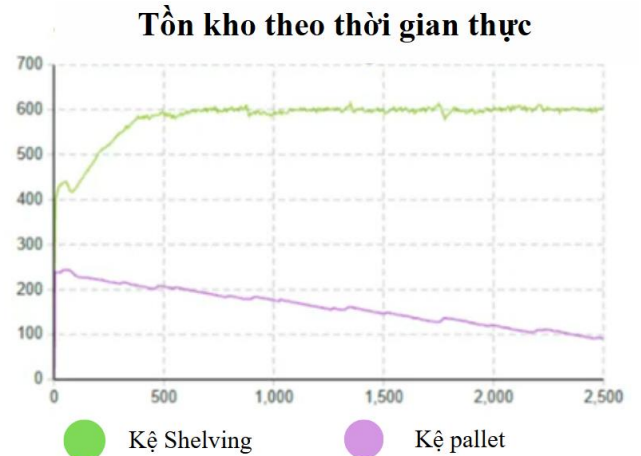
Tiêu chí	Mức đáp ứng năng lực (%)	Thời gian hoàn thành đơn hàng TB (s)	Hiệu suất nhân sự (%)	Không gian sử dụng (%)
Kịch bản				
KB 1	97.69	2,464.909	85	37.6
KB 2	95.3	2,459.455	90	
KB 3	85.72	2,459.223	85	
KB 4	81.86	2,456.735	83.3	

Từ Bảng 8 cho ra số liệu, có thể thấy được KB1 là phương án tối ưu nhất trong nhóm trường hợp theo tỷ lệ kệ (40 : 60) vì đạt tỷ lệ hoàn thành đơn hàng cao nhất ở mức 97.69%, phản ánh trực tiếp mức đáp ứng nhu cầu thực tế và mức độ hài lòng của khách hàng. Thời gian hoàn thành đơn hàng trung bình của KB1 ở mức 2,464.9 giây, mức chênh lệch không đáng kể và hiệu suất nhân sự đạt 85%. Dù không đạt 100%, nhưng KB8 có sự đánh đổi giữa hiệu suất nhân viên, thời gian hoàn thành, diện tích kho để quãng đường di chuyển hợp lý nhất và năng lực đáp ứng cao nhất

a)



b)



Hình 10. Biến động theo thời gian của hệ thống kệ Shelving và kệ Pallet của KB 1. (a) Tỷ lệ lấp đầy, (b) Mức tồn kho.

Hình 10 thể hiện các biểu đồ biến động vận hành của hệ thống kệ tại khu vực KB1. Trong đó, Hình 10a cho thấy tỷ lệ lấp đầy của kệ Shelving tăng dần và duy trì ổn định, trong khi kệ Pallet có xu hướng giảm. Đồng thời, Hình 10b phản ánh lượng tồn kho theo thời gian thực tập trung chủ yếu tại kệ Shelving và giảm dần tại kệ Pallet. Kết quả cho thấy mô hình KB1 sau điều chỉnh đã cải thiện đáng kể sự cân bằng trong phân bổ lưu trữ và vận hành, khi hàng hóa được chuyển dịch hợp lý sang kệ Shelving nhằm nâng cao hiệu quả picking. Tuy nhiên, tổng thời gian xử lý đơn vẫn tăng cao bất thường, cho thấy mô hình cần tiếp tục được hiệu chỉnh để đảm bảo tính ổn định và hiệu quả vận hành tổng thể.

5.2.2. Kịch bản nhóm trường hợp theo tỷ lệ kệ (30 : 70)

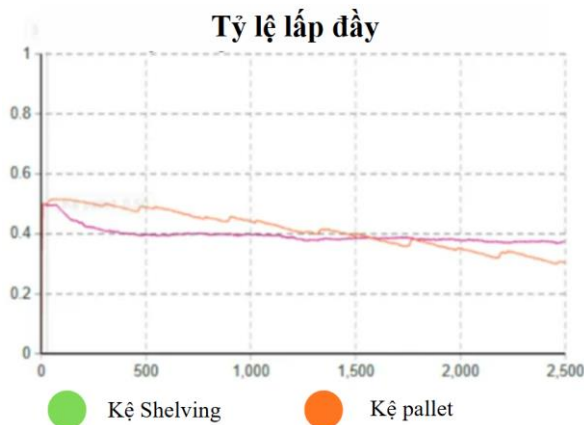
Bảng 9. Dữ liệu đầu ra mô hình tỷ lệ 30:70.

Tiêu chí	Mức đáp ứng năng lực (%)	Thời gian hoàn thành đơn hàng TB (s)	Hiệu suất nhân sự (%)	Không gian sử dụng (%)
Kịch bản				
KB 5	75.03	2,456.347	77.33	47.3

Tiêu chí	Mức đáp ứng năng lực (%)	Thời gian hoàn thành đơn hàng TB (s)	Hiệu suất nhân sự (%)	Không gian sử dụng (%)
Kịch bản				
KB 6	47.72	2,426.764	70	
KB 7	81.14	2,457.24	83	
KB 8	81.56	2,457.621	86.48	

Từ Bảng 9 cho ra số liệu, có thể thấy được KB8 là phương án tối ưu nhất trong nhóm trường hợp theo tỷ lệ kệ (40 : 60) này vì đạt mức đáp ứng năng lực cao nhất 81.56% và hiệu suất nhân sự cao nhất 86.48%. Mặc dù thời gian hoàn thành đơn hàng 2,457.621 tăng nhẹ so với các trường hợp khác nhưng mức chênh lệch không đáng kể, đảm bảo khả năng vận hành ổn định.

a)



b)



Hình 11. Biến động theo thời gian của hệ thống kệ Shelving và kệ Pallet của KB 8. (a) Tỷ lệ lấp đầy, (b) Mức tồn kho.

Hình 11 thể hiện các biểu đồ biến động vận hành của hệ thống kệ tại khu vực KB8. Cụ thể, Hình 11a cho thấy tỷ lệ lấp đầy của kệ Shelving duy trì ổn định, trong khi kệ Pallet tiếp tục có xu hướng giảm. Đồng thời, Hình 11b phản ánh mức tồn kho theo thời gian thực với lượng hàng trên kệ Shelving ổn định và tồn kho tại kệ Pallet ở mức thấp. Kết quả cho thấy mô hình KB8 đã có sự chuyển dịch sang kệ Shelving, tuy nhiên mức độ tận dụng chưa đủ để tạo ra cải thiện rõ rệt trong vận hành. Tổng thời gian xử lý đơn vẫn ở mức cao, phản ánh dòng chảy vận hành chưa được tối ưu, trong khi hiệu suất nhân sự chỉ đạt khoảng 86,48%, cho thấy nguồn lực chưa được khai thác đồng đều. Vì vậy, có thể nhận thấy mô hình 30:70 dù đã định hướng tăng sử dụng kệ Shelving nhưng vẫn chưa mang lại hiệu quả cải thiện toàn diện cho hệ thống.

5.2.3. Kịch bản nhóm trường hợp theo tỷ lệ kệ (20 : 80)

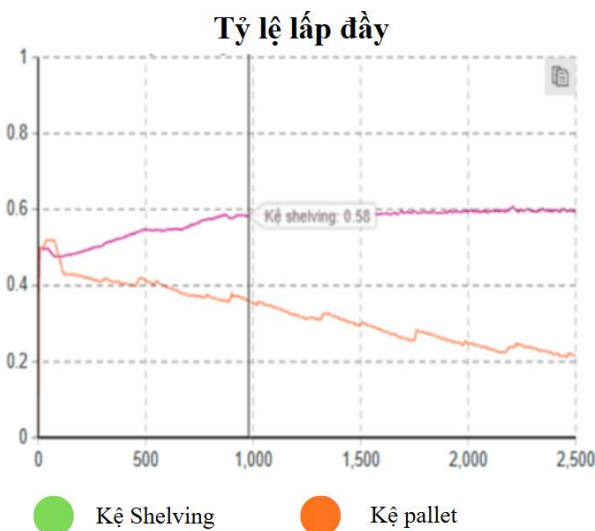
Bảng 10. Dữ liệu đầu ra mô hình tỷ lệ 20:80.

Tiêu chí	Mức đáp ứng năng lực (%)	Thời gian hoàn thành đơn hàng TB (s)	Hiệu suất nhân sự (%)	Không gian sử dụng (%)
Kịch bản				
KB 9	105,89	214.81	85.3	
KB 10	96.81	93.257	88.6	63.9
KB 11	66.44	2,253.108	51.6	

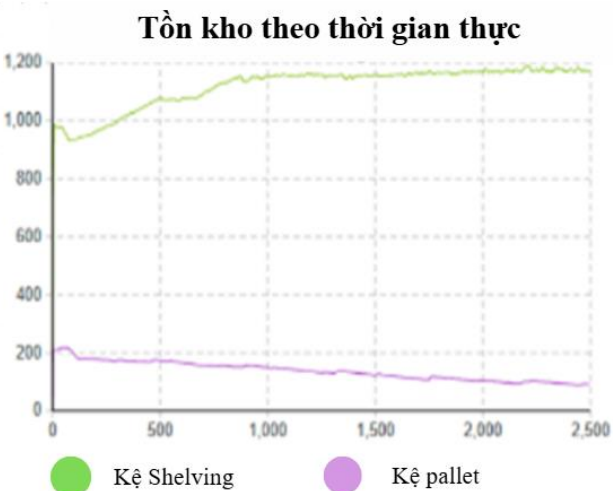
Từ Bảng 10 có thể thấy, KB10 là kịch bản phù hợp nhất trong nhóm trường hợp theo tỷ lệ 20:80. Kịch bản này đạt mức đáp ứng năng lực 96,81%, thấp hơn KB9 (105,89%) nhưng vẫn tiệm cận mức đáp ứng đầy đủ nhu cầu. Đồng thời, thời gian hoàn thành đơn hàng trung bình chỉ 93,257 giây, nhanh hơn khoảng 2,3 lần so với KB9 (214,81 giây) và khoảng 24 lần so với KB11 (2.253,108 giây). Bên cạnh đó, hiệu suất nhân sự đạt 88,6%, cao hơn KB9 (85,3%) và vượt trội so với KB11 (51,6%), cho thấy nguồn lực được khai thác hiệu quả hơn. Kết quả này cũng phù hợp với xu hướng quan sát từ biểu đồ mô phỏng khi lead time được rút ngắn đáng kể và dòng chảy vận hành trở nên ổn định hơn.

Mặc dù KB9 có mức đáp ứng năng lực cao hơn (105,89%), nhưng giá trị này phản ánh năng lực xử lý vượt nhu cầu của hệ thống. Trong khi đó, KB10 vẫn duy trì mức đáp ứng năng lực gần bằng nhu cầu thực tế, đồng thời đạt thời gian xử lý ngắn hơn và hiệu suất sử dụng nhân sự cao hơn. Điều này cho thấy KB10 cân bằng tốt hơn giữa khả năng đáp ứng nhu cầu, tốc độ xử lý đơn hàng và hiệu quả sử dụng nguồn lực. Vì vậy, xét theo mục tiêu tối ưu hóa bố cục kho nhằm rút ngắn thời gian hoàn thành đơn hàng và nâng cao hiệu quả vận hành, KB10 được lựa chọn là kịch bản tối ưu trong nhóm tỷ lệ 20:80.

a)



b)



Hình 12. Biến động theo thời gian của hệ thống kệ Shelving và kệ Pallet của KB 10. (a) Tỷ lệ lấp đầy, (b) Mức tồn kho.

Hình 12 thể hiện các biểu đồ biến động vận hành của hệ thống kệ tại khu vực KB10. Trong đó, Hình 12a cho thấy tỷ lệ lấp đầy của kệ Shelving tăng cao và duy trì ổn định, trái ngược với xu hướng giảm của kệ Pallet. Đồng thời, Hình 12b phản ánh mức tồn kho theo thời gian thực với lượng hàng hóa gia tăng mạnh tại kệ Shelving và giảm đáng kể tại kệ Pallet. Kết quả cho thấy mô hình KB10 với tỷ lệ 20:80 đã cải thiện rõ rệt hiệu quả vận hành khi hàng hóa được phân bổ chủ yếu vào kệ Shelving, giúp rút ngắn đáng kể thời gian xử lý đơn và giảm thiểu tình trạng tắc nghẽn trong hệ thống. Tổng thời gian hoàn thành đơn giảm mạnh xuống mức thấp, trong khi thời gian chờ tại các công đoạn gần như không đáng kể, phản ánh dòng chảy vận hành đã được tối ưu.

5.2.4. Kịch bản nhóm trường hợp theo tỷ lệ kệ (10 : 90)

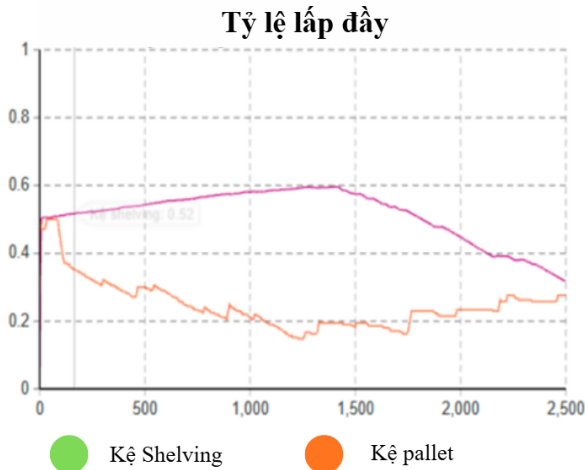
Bảng 11. Dữ liệu đầu ra mô hình tỷ lệ 10:90.

Kịch bản	Tiêu chí	Mức đáp ứng năng lực (%)	Thời gian hoàn thành đơn hàng TB (s)	Hiệu suất nhân sự (%)	Không gian sử dụng (%)
KB 12		90.14	318.674	71.67	80
KB 13		95.39	534.342	76.67	

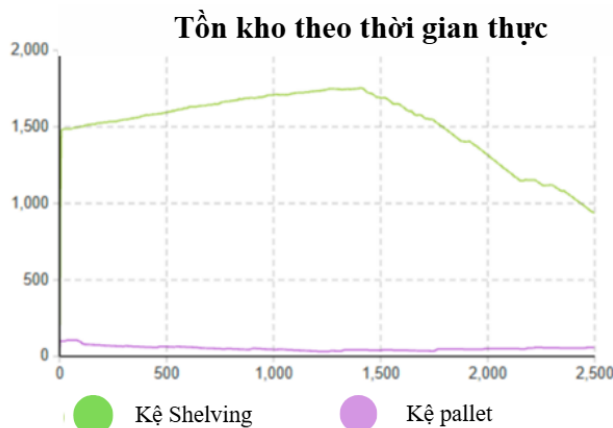
Từ dữ liệu tỷ lệ 10:90, Kịch bản 13 (KB 13) được khuyến nghị là phương án tối ưu, dù có sự đánh đổi rõ ràng ở thời gian xử lý vì trong kho Fulfillment, mức đáp ứng năng lực mới là yếu tố quan trọng nhất để xuất đơn đúng và đủ. Mặc dù mức đáp ứng năng lực của KB 13 đạt 95,39% (dù chưa chạm ngưỡng 100%), nhưng con số này đã tối ưu hơn hẳn mức 90,14% của KB 12. Sự chênh lệch 5,25% này tương đương với việc cứu vãn hàng trăm đơn hàng bị thất thoát hay tồn đọng mỗi ngày ở quy mô lớn, ảnh hưởng trực tiếp đến trải nghiệm khách hàng và doanh thu. Song song đó, hiệu suất nhân sự của KB 13 đạt 76,67% so với 71,67% của KB 12, giúp năng suất lao động tốt hơn khoảng 5%; trong bối cảnh chi phí nhân sự luôn chiếm tỷ trọng lớn tại kho Fulfillment, đây là lợi thế cạnh tranh trực tiếp về vận hành. Do đó, việc chấp nhận thời gian xử lý dài hơn là hoàn toàn hợp lý, vì đặc thù mô hình này ưu tiên

tính chính xác và giao hàng trong ngày chứ không yêu cầu giao hàng siêu tốc.

a)



b)



Hình 13. Biến động theo thời gian của hệ thống kệ Shelving và kệ Pallet của KB 13. (a) tỷ lệ lấp đầy, (b) mức tồn kho.

Hình 13 thể hiện các biểu đồ biến động vận hành của hệ thống kệ tại khu vực KB13. Cụ thể, Hình 13a cho thấy tỷ lệ lấp đầy của kệ Shelving tăng nhẹ rồi giảm dần về cuối chu kỳ, trong khi kệ Pallet duy trì ở mức thấp. Đồng thời, Hình 13b phản ánh mức tồn kho theo thời gian thực với lượng hàng lưu trữ chủ yếu tập trung tại kệ Shelving và tồn kho không đáng kể tại kệ Pallet. Kết quả cho thấy mô hình KB13 với tỷ lệ 10:90 xuất hiện sự mất cân bằng trong phân bổ không gian lưu trữ, khi kệ Shelving phải chịu phần lớn tải vận hành còn kệ Pallet gần như không được khai thác hiệu quả. Mặc dù mô hình đạt thông lượng cao với tỷ lệ hoàn thành đơn 95,39%, gần tương đương KB10 (96,81%), nhưng thời

gian xử lý trung bình lên tới 534,3 giây, cao gần 6 lần so với 93,3 giây của KB10. Bên cạnh đó, hiệu suất nhân sự của KB13 chỉ đạt 76,67%, thấp hơn đáng kể so với 88,6% ở KB10, cho thấy nguồn lực chưa được sử dụng hiệu quả. Vì vậy, mô hình KB13 dù có khả năng xử lý đơn cao nhưng vẫn thiếu tính ổn định và cân bằng hệ thống, nên chưa phù hợp để triển khai thực tế.

Tóm lại, trong số các kịch bản đã phân tích, mô hình 20:80 (KB10) là phương án tối ưu nhất, khi đạt được sự cân bằng hợp lý giữa phân bổ không gian và hiệu quả vận hành, đồng thời khắc phục được các vấn đề về điểm nghẽn, biến động thời gian hoàn thành đơn hàng và lãng phí tài nguyên ở các cấu hình còn lại.

6. Kết luận

Nghiên cứu ứng dụng mô phỏng rời rạc cho thấy mối liên hệ trực tiếp giữa bố trí không gian và hiệu quả vận hành kho Fulfillment. Kết quả phân tích mô hình hiện tại chỉ ra các hạn chế phổ biến như khu lưu trữ chưa được phân khu hợp lý, phân bổ nguồn lực mất cân đối và dòng chảy vận hành thiếu đồng bộ, dẫn đến tình trạng một số công đoạn bị quá tải trong khi các công đoạn khác còn dư công suất, làm giảm hiệu quả tổng thể của hệ thống.

Trên cơ sở đánh giá đó, nhóm nghiên cứu đã đề xuất một loạt giải pháp cải tiến nhằm giải quyết các vấn đề trọng yếu. Dựa trên cơ sở lý thuyết về nguyên tắc thiết kế kho và các tiêu chí tối ưu, các giải pháp tập trung vào đề xuất tối ưu bố trí không gian kho thông qua phân bổ lại khu vực lưu trữ, tổ chức lại luồng di chuyển thông qua phân vùng chức năng. Bên cạnh đó, áp dụng cơ chế lấy hàng theo khu vực và điều chỉnh hoạt động phân loại - đóng gói theo lưu lượng đơn hàng được xem là giải pháp quan trọng nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng nhân lực và hạn chế tình trạng quá tải cục bộ.

Kết quả mô phỏng cho thấy mô hình tối ưu KB10 (tỷ lệ 20:80) mang lại cải thiện rõ rệt so với mô hình ban đầu. KB10 giúp nâng tỷ lệ hoàn thành đơn hàng từ 68,5% lên 96,81%, cho thấy khả năng đáp ứng đơn hàng và mức độ ổn định của hệ thống được cải thiện đáng kể. Đồng thời, hiệu suất nhân sự tăng từ 86,67% lên 88,6%, phản ánh việc phân bổ nguồn lực và tổ chức vận hành đã hợp lý hơn, giảm tình trạng chờ đợi và mất cân bằng giữa các công đoạn. Về không gian lưu trữ, tỷ

lệ sử dụng không gian tăng từ 39% lên 63,9%, cho thấy diện tích kho được khai thác hiệu quả hơn, đặc biệt tại khu vực kệ Shelving. Việc tăng tỷ trọng Shelving trong cấu hình 20:80 giúp hàng hóa phù hợp hơn với đặc thù xử lý đơn hàng B2C, từ đó rút ngắn quãng đường picking và giảm bottleneck trong vận chuyển. Ngoài ra, kết quả biểu đồ mô phỏng cho thấy dòng chảy hàng hóa trong KB10 ổn định hơn khi mức tồn kho và tỷ lệ lấp đầy giữa Shelving và Pallet được phân bổ hợp lý. Kệ Shelving duy trì tỷ lệ lấp đầy cao và ổn định, trong khi Pallet đóng vai trò vùng đệm lưu trữ thay vì bị tồn đọng quá mức như mô hình ban đầu. Mặc dù thời gian hoàn thành đơn hàng trung bình tăng nhẹ so với mô hình chưa tối ưu, đây vẫn là mức thấp nhất trong các kịch bản tối ưu; do đó, mức đánh đổi này được xem là hợp lý khi xét đến hiệu quả vận hành tổng thể mà hệ thống đạt được.

Như vậy, nghiên cứu đã chứng minh rằng mô phỏng là công cụ hiệu quả trong việc phân tích và tối ưu các hệ thống vận hành phức tạp như kho Fulfillment, cho phép đánh giá tác động của các phương án bố trí và điều phối nguồn lực trước khi triển khai thực tế.

Tuy nhiên, bên cạnh những kết quả đạt được, nghiên cứu vẫn tồn tại một số hạn chế nhất định cần được xem xét trong các nghiên cứu tiếp theo. Thứ nhất, nghiên cứu được thực hiện dựa trên dữ liệu khảo sát và mô phỏng tại một kho Fulfillment của SwiftHub nên tính khái quát cho các loại kho khác còn hạn chế. Thứ hai, mô hình nghiên cứu chủ yếu tập trung vào tối ưu không gian và hiệu quả vận hành kho, trong khi chưa xem xét đầy đủ các yếu tố như chi phí đầu tư, cải tạo kho, thay đổi hệ thống kệ, chi phí triển khai thực tế và tính khả thi về mặt tài chính. Thứ ba, dữ liệu đầu vào được xây dựng trong điều kiện vận hành tương đối ổn định, chưa phản ánh đầy đủ sự biến động thực tế như nhu cầu theo mùa, các đợt cao điểm đơn hàng hoặc các yếu tố bất định trong chuỗi cung ứng. Thứ tư, nghiên cứu hiện chỉ tập trung mô phỏng các hoạt động chính trong kho như nhập hàng, lưu trữ, picking, phân loại và đóng gói, mà chưa xem xét sâu các yếu tố liên quan đến hành vi lao động, năng suất theo ca làm việc, mức độ phối hợp giữa nhân sự và tác động của yếu tố con người đến hiệu quả vận hành tổng thể. Ngoài ra để xây dựng mô hình mô phỏng có độ tin cậy cao, cần có sự phối hợp liên ngành và dữ liệu đầu vào chính xác. Việc

áp dụng cách tiếp cận tích hợp giúp xem xét toàn diện các yếu tố từ bố trí không gian, tổ chức vận hành đến khả năng kết nối trong mạng lưới logistics, từ đó nâng cao hiệu quả và tính khả thi của giải pháp.

6. Hướng phát triển nghiên cứu

Trong tương lai, nghiên cứu có thể mở rộng mô phỏng cho nhiều loại kho Fulfillment khác nhau với các kịch bản vận hành phức tạp hơn như mùa cao điểm, biến động nhu cầu đơn hàng và đa dạng chủng loại sản phẩm nhằm nâng cao tính khái quát và khả năng ứng dụng của mô hình.

Đồng thời, mô hình có thể kết hợp với các thuật toán tối ưu hóa nâng cao như Genetic Algorithm (GA), Particle Swarm Optimization (PSO), Reinforcement Learning hoặc Digital Twin nhằm nâng cao khả năng tìm kiếm phương án tối ưu trong điều kiện vận hành phức tạp. Ngoài ra, nghiên cứu cũng có thể mở rộng theo hướng ứng dụng công nghệ Logistics 4.0 và tự động hóa kho hàng như AGV, robot picking, băng chuyền thông minh và IoT để nâng cao năng suất và giảm phụ thuộc vào lao động thủ công.

Các nghiên cứu tiếp theo nên xem xét thêm các yếu tố về chi phí đầu tư, chi phí vận hành và hiệu quả tài chính nhằm đánh giá toàn diện hơn tính khả thi của các phương án tối ưu. Đồng thời, việc phát triển hệ thống hỗ trợ ra quyết định (Decision Support System – DSS) sẽ giúp doanh nghiệp trực tiếp thiết kế, đánh giá và điều chỉnh bố trí kho Fulfillment dựa trên dữ liệu vận hành thực tế, qua đó nâng cao hiệu quả vận hành và năng lực cạnh tranh trong bối cảnh thương mại điện tử phát triển mạnh mẽ hiện nay

Đóng góp của các tác giả trong bài báo

Đàm Nguyễn Quỳnh Nhiên: Phân tích dữ liệu; phản hồi phản biện; đề xuất hướng cải tiến mô hình. **Kim Thành Phát:** Xây dựng phương pháp; phân tích dữ liệu; xác thực kết quả. **Hồ Thanh Thảo:** Tổng hợp tài liệu; viết - hoàn thiện bản thảo. **Hồ Kiều Thanh:** Biên soạn dữ liệu; viết - hoàn thiện bản thảo. **Ngô Tuấn Kiệt:** Xây dựng mô hình mô phỏng; phân tích kết quả mô phỏng. **Nguyễn Trọng Tâm:** định hướng và rà soát kết quả của bài báo.

Tuyên bố không xung đột lợi ích và cam kết bản quyền

Các tác giả tuyên bố về sự không xuất hiện những xung đột tiềm ẩn từ nghiên cứu này, và cam kết bài báo chưa từng được công bố trước đây.

Chia sẻ dữ liệu theo yêu cầu

Dữ liệu sẽ được cung cấp theo yêu cầu.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh theo Hợp đồng số: KHSV2510/HĐ-UTH. Nhóm tác giả xin trân trọng ghi nhận và cảm ơn sự hỗ trợ về kinh phí cũng như các điều kiện thuận lợi trong quá trình triển khai nghiên cứu. Sự hỗ trợ này đã góp phần quan trọng trong việc đảm bảo tiến độ thực hiện, nâng cao chất lượng nội dung và hoàn thiện kết quả nghiên cứu. Nhóm tác giả đồng thời đánh giá cao sự hợp tác và hỗ trợ từ phía đơn vị tài trợ.

Bên cạnh đó, nhóm tác giả xin gửi lời cảm ơn chân thành đến Công ty Cổ phần SwiftHub đã tạo điều kiện thuận lợi cho nhóm tiếp cận thực tế, cung cấp số liệu, tài liệu và hỗ trợ trong quá trình khảo sát, thu thập thông tin. Những đóng góp quý báu từ phía công ty đã giúp nhóm có cơ sở thực tiễn vững chắc, góp phần nâng cao tính chính xác và giá trị ứng dụng của nghiên cứu.

Tài liệu tham khảo

- [1] Tạp chí Kinh tế và Dự báo - Bộ Kế hoạch và Đầu tư, "Năm 2024, giá trị giao dịch thương mại điện tử toàn cầu ước đạt 6,3 nghìn tỷ USD," Accessed: Apr. 16, 2026. [Online]. Available at: <https://kinhtevadubao.vn/nam-2024-gia-tri-giao-dich-thuong-mai-dien-tu-toan-cau-uoc-dat-63-nghin-ty-usd-29766.html>
- [2] "A combined optimization and simulation approach for designing automated storage/retrieval systems," ISE Trans., vol. 25, no. 1. Accessed: Jul. 16, 2026. [Online]. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07408179308964264>
- [3] C. G. Petersen and G. Aase, "A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking," International Journal of Production Economics, vol. 92, no. 1, pp. 11–19, Nov. 2004, doi:10.1016/j.ijpe.2003.09.006.
- [4] F. Caron, G. Marchet, and A. Perego, "Layout design in manual picking systems: A simulation approach," Integrated Manufacturing Systems, vol. 11, pp. 94–104, Apr. 2000, doi:10.1108/09576060010313946.
- [5] G. Dukic, V. Česnik, and O. Tihomir, "Order-picking Methods and Technologies for Greener Warehousing," Strojarstvo, vol. 52, pp. 23–31, Feb. 2010.
- [6] S. A. Altarazi and M. M. Ammouri, "A Simulation-Based Decision Making Tool for Key Warehouse Resources Selections," 2010.
- [7] M. Shqair, S. Altarazi, and S. Al-Shihabi, "A statistical study employing agent-based modeling to estimate the effects of different warehouse parameters on the distance traveled in warehouses," Simulation Modelling Practice and Theory, vol. 49, pp. 122–135, Dec. 2014, doi:10.1016/j.simpat.2014.08.002.
- [8] K. J. Roodbergen, I. F. A. Vis, and G. D. Taylor, "Simultaneous determination of warehouse layout and control policies," International Journal of Production Research, vol. 53, no. 11, pp. 3306–3326, 2015. Accessed: Apr. 16, 2026. [Online]. Available at: <https://ideas.repec.org//a/taf/tprxxx/v53y2015i11p3306-3326.html>
- [9] C. Petersen and G. Aase, "Improving Order Picking Efficiency with the Use of Cross Aisles and Storage Policies," Open Journal of Business and Management, vol. 5, pp. 95–104, Jan. 2017, doi:10.4236/ojbm.2017.51009.
- [10] M. Kosfeld, "Warehouse design through dynamic simulation," in Proceedings of the 30th Conference on Winter Simulation, WSC '98. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society Press, Dec. 1998, pp. 1049–1054. Accessed: Jul. 16, 2026. [Online]. Available at: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/293172.293413>
- [11] J. G. Macro and R. E. Salmi, "Warehousing and inventory management: A simulation tool to determine warehouse efficiencies and storage allocations," in Proc. 34th Winter Simulation Conf. (WSC'02): Exploring New Frontiers, San Diego, CA, USA, Dec. 2002, pp. 1274–1281. Accessed: Apr. 23, 2026. [Online]. Available at: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1030453.1030636>
- [12] J. Gu, M. Goetschalckx, and L. F. McGinnis, "Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review," European Journal of Operational Research, vol. 203, no. 3, pp. 539–549, Jun. 2010, doi:10.1016/j.ejor.2009.07.031.

- [13] C. G. Petersen, "Considerations in order picking zone configuration," *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 22, no. 7, pp. 793–805, Jul. 2002, doi:10.1108/01443570210433553.
- [14] C. Chackelson, A. Errasti, D. Ciprés, and F. Lahoz, "Evaluating order picking performance trade-offs by configuring main operating strategies in a retail distributor: A design of experiments approach," *International Journal of Production Research*, vol. 51, no. 20, pp. 6097–6109, Oct. 2013, doi:10.1080/00207543.2013.796421.
- [15] A. Fernando, U. Mirando, and D. Perera, "Warehouse Space Optimization Using a Linear Programming Model," Jan. 2021.
- [16] "Big book of simulation modeling." Accessed: Apr. 16, 2026. [Online]. Available at: <https://www.anylogic.com/resources/books/big-book-of-simulation-modeling/>
- [17] "Fulfillment là gì? Tìm hiểu về quy trình hoàn tất đơn hàng trong thương mại điện tử," Phaata. Accessed: Apr. 16, 2026. [Online]. Available at: <https://phaata.com/thuat-ngu-logistics/fulfillment-la-gi>.