



Nghiên cứu tối ưu phương tiện trong kho CFS bằng mô phỏng sự kiện rời rạc Optimizing material handling equipment in CFS warehouses using discrete event simulation

Đoàn Quang Đăng¹, Trần Công Bính¹, Hoàng Hữu Đạt¹, Nguyễn Trang Thế Vinh¹, Võ Văn Nam^{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
Kho CFS	Nghiên cứu giải pháp tối ưu hóa việc điều phối phương tiện (đội xe nâng) tại kho CFS
Xe nâng	Phụ Hữu nói riêng và áp dụng với các kho CFS nói chung nhằm xóa bỏ các nút thắt cổ
Tối ưu hóa	chai, nâng cao năng suất vận hành và tiết giảm chi phí logistics. Bằng phương pháp mô
Mô phỏng sự kiện rời rạc (DES)	hình hóa và mô phỏng sự kiện rời rạc (DES) trên phần mềm AnyLogic, nhóm tác giả đã
AnyLogic	tái hiện quy trình vận hành thực tế và tiến hành thử nghiệm 10 kịch bản thay đổi số
Hiệu suất vận hành.	lượng phương tiện dựa trên dữ liệu khảo sát thực địa. Kết quả nghiên cứu khẳng định
	đội xe nâng trong kho là nhân tố then chốt quyết định năng lực thông qua của toàn hệ
	thống.

Keywords:	ABSTRACT
CFS Warehouse	This paper focuses on investigating solutions to optimize forklift fleet coordination at
Forklift	the Phu Huu CFS warehouse to eliminate bottlenecks, enhance operational
Optimization	productivity, and reduce logistics costs. By utilizing modeling and Discrete Event
Discrete Event	Simulation (DES) through AnyLogic software, the authors replicated real-world
Simulation (DES)	operational processes and conducted ten experimental scenarios varying the number
AnyLogic	of handling units based on field survey data. The research findings confirm that the
Operational Efficiency	internal forklift fleet is the critical factor determining the overall system's throughput
	capacity.

1. Đặt vấn đề

1.1. Bối cảnh hiện nay

Trong chuỗi cung ứng logistics, kho CFS đóng vai trò then chốt trong việc xử lý và đóng rút hàng lẻ (LCL). Tại nghiên cứu của Ngân hàng Thế giới (World Bank) [1] đã chỉ ra rằng: Nếu các quốc gia phát triển như Singapore hay Thái Lan đã ứng dụng công nghệ để rút ngắn thời gian xử lý tại kho

CFS xuống chỉ còn 1-2 ngày, thì tại Việt Nam, khâu vận hành này vẫn còn nhiều hạn chế. Cụ thể, theo Báo cáo Logistics Việt Nam [2], chi phí logistics trong nước hiện vẫn ở mức cao (chiếm 20-25% tổng chi phí), mà một trong những nguyên nhân cốt lõi là sự yếu kém trong điều phối phương tiện nội bộ. Thực tế cho thấy, hiệu suất khai thác thiết bị xếp dỡ – đặc biệt là xe nâng – tại các kho CFS Việt Nam đang thấp hơn đáng kể so với các nước

* Võ Văn Nam. Nhóm nghiên cứu SDCT, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

Email: nam.vo@ut.edu.vn

<https://www.doi.org/10.55228/JTST150407>

Ngày nhận bài: 02/6/2026; Ngày nhận bài sửa: 12/6/2026; Ngày chấp nhận đăng: 01/7/2026

pISSN: 1859-4263.

phát triển [3], trực tiếp gây ra tình trạng ùn tắc cục bộ và lãng phí nguồn lực.

1.2. Kho CFS Phú Hữu

Kho CFS Phú Hữu, trực thuộc Cảng Tân Cảng - Phú Hữu (Terminal C - Cảng Cát Lái, TP. Thủ Đức), sở hữu vị trí chiến lược giúp kết nối thuận tiện với các khu công nghiệp trọng điểm và giảm áp lực giao thông cho cụm cảng Cát Lái. Về năng lực hạ tầng, kho sở hữu bãi đóng rút hàng rộng 144.558 m² và được vận hành thông qua hệ thống phần mềm quản lý đồng bộ (TOPX, TOPO, WMS). Quá trình bốc xếp và xử lý hàng hóa nội bộ tại kho phụ

thuộc chủ yếu vào đội thiết bị gồm 4 xe nâng (3 xe vận hành chính và 1 xe dự phòng) (Linde Active). Nhờ sự kết hợp giữa hệ thống quản lý hiện đại và năng lực thiết bị, kho CFS Phú Hữu hiện duy trì mức năng suất xử lý trung bình 27 container/ngày, phản ánh năng lực xử lý hàng hóa đáng kể và đóng vai trò quan trọng trong việc đáp ứng chuỗi cung ứng logistics tại khu vực. Theo báo cáo nghiên cứu khả thi dự án tối ưu phương tiện trong kho CFS bằng mô phỏng sự kiện rời rạc, các dữ liệu ban đầu của mô hình được xác định và thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Dữ liệu đầu vào Quy trình vận hành Kho CFS

STT	Hoạt động quy trình	Mô tả hoạt động	Thời gian trung bình (s)	Quãng đường trung bình (m)	Thiết bị vận chuyển chính	Ghi chú
1. QUY TRÌNH NHẬP HÀNG						
1.1	Di chuyển từ chỗ tiếp nhận vào bãi	Xe nâng di chuyển từ khu vực tiếp nhận hàng đến khu vực bãi (tập kết/lưu trữ tạm thời).	25	8.24	Linde active	
1.2	Xếp hàng vào kệ	Xe nâng thực hiện thao tác nâng và đặt kiện hàng vào vị trí trên kệ.	5.22	-	Linde active	Thời gian này chỉ tính riêng thao tác nâng/hạ.
2. QUY TRÌNH XUẤT HÀNG						
2.1	Di chuyển từ chỗ tiếp nhận ra xe tải	Xe nâng di chuyển từ khu vực tập kết/tiếp nhận đến vị trí xe tải chờ xuất hàng.	37.18	20	Linde active	Tính trung bình từ các lần đo thực tế
2.2	Bốc hàng lên xe tải	Xe nâng thực hiện thao tác nâng và đặt kiện hàng lên xe tải.	12.5	-	Linde active	Thời gian nâng/hạ kiện hàng bốc lên sàn xe tải
3. THÔNG TIN CHUNG VỀ HÀNG HÓA						
3.1	Kích thước kiện lớn nhất	Dài 100cm; Rộng 80cm; Cao 2.3m	-	-	-	
3.2	Kích thước kiện nhỏ nhất	Dài 1m; Rộng 0.8m; Cao 0.2m	-	-	-	Thời gian này chỉ tính riêng thao tác nâng/hạ.
3.3	Trọng lượng kiện lớn nhất	2 tấn	-	-	-	
3.4	Trọng lượng kiện nhỏ nhất	Dưới 10kg	-	-	-	Trọng lượng thùng hàng nhỏ nhất thường gặp trong vận chuyển hàng lẻ
3.5	Trọng lượng kiện thông dụng	Khoảng 500kg	-	-	-	Hàng nặng đặt phía dưới, hàng nhẹ đặt phía trên
3.6	Khả năng lấp đầy kệ hàng	65% thông thường, 85-90% khi cao điểm.	-	-	-	Cho biết mức độ sử dụng không gian kho

1.3. Nhu cầu về kho bãi và khả năng đáp ứng

Nhu cầu xuất nhập khẩu qua các cảng biển phía Nam, điển hình là Cảng Cát Lái, đang gia tăng bùng nổ. Theo báo cáo của Savills Việt Nam [4], nhu cầu thuê kho bãi dự kiến tăng 10-12% mỗi năm trong giai đoạn 2023-2025. Đồng thời, Bộ Giao thông Vận tải [5] cũng dự báo lượng container qua Cảng Cát Lái – vốn đã khai thác tối đa công suất từ trước đại dịch – sẽ tăng gấp đôi vào năm 2030. Sự chênh lệch lớn giữa nguồn cung hạn hẹp và nhu cầu tăng cao đã gây áp lực trực tiếp lên toàn bộ hệ thống logistics khu vực.

Chịu tác động chung từ bối cảnh đó, kho CFS Phú Hữu dù sở hữu hạ tầng hiện đại vẫn thường xuyên đối mặt với tình trạng ứ đọng hàng hóa, buộc nhân sự phải tăng ca liên tục. Khảo sát thực tế chỉ ra nguyên nhân cốt lõi là hệ thống phương tiện luân chuyển nội bộ (đặc biệt là xe nâng) chưa được điều phối tối ưu để đáp ứng lưu lượng hàng hóa đột biến. Xuất phát từ thực trạng trên, nghiên cứu này đặt mục tiêu tối ưu hóa phương án điều phối đội xe nâng tại kho CFS Phú Hữu, nhằm xóa bỏ các nút thắt cục bộ, nâng cao năng suất vận hành và tiết giảm chi phí logistics.

2. Tổng quan nghiên cứu và cơ sở lý thuyết

2.1. Tổng quan nghiên cứu

Tối ưu hóa vận hành kho bãi và thiết bị xếp dỡ là chủ đề thu hút sự quan tâm lớn của giới học thuật. Trong nghiên cứu của Rouwenhorst và cộng sự [6], các tác giả đã nhấn mạnh rằng thiết kế và điều khiển hệ thống kho bãi đóng vai trò quyết định đến hiệu suất toàn chuỗi cung ứng. Về mặt phương pháp luận, tại nghiên cứu của Derhami và cộng sự [7], nhóm tác giả đã áp dụng thành công phương pháp mô phỏng sự kiện rời rạc (DES) để phân tích và tối ưu hóa hệ thống thiết bị xếp dỡ vật liệu, chứng minh ưu điểm vượt trội của DES trong việc xử lý các biến số ngẫu nhiên so với các mô hình toán học tĩnh truyền thống. Bên cạnh đó, nghiên cứu tổng quan của Koster và cộng sự [8] đã hệ thống hóa các định hướng vận hành và điều khiển thiết bị xếp dỡ trong kho. Tuy nhiên, tại Việt Nam, việc ứng dụng DES trong tối ưu kho CFS vẫn còn hạn chế và thường dừng ở mức vĩ mô. Kế thừa các căn cứ khoa học đó, nghiên cứu này sẽ lấp đầy khoảng trống bằng việc tập trung giải quyết bài

toán tối ưu hóa quy trình luân chuyển xe nâng nội bộ tại kho CFS Phú Hữu thông qua phần mềm AnyLogic [9].

Kết quả nghiên cứu được mong đợi không chỉ góp phần nâng cao hiệu suất quản lý kho, giảm chi phí logistics mà còn cải thiện thời gian luân chuyển hàng hóa và tăng cường khả năng cạnh tranh cho hệ thống chuỗi cung ứng của Việt Nam.

Để đạt được mục tiêu này, nghiên cứu sẽ tập trung giải quyết bài toán tối ưu hóa quy trình vận hành và phương tiện phục vụ cho kho. Cụ thể, nghiên cứu sẽ phân tích quy trình nhập hàng, từ khi xe nâng dỡ hàng từ xe tải đến khi hàng được di chuyển vào vị trí lưu trữ trên kệ bằng việc sử dụng kết hợp nhiều phương pháp. Đầu tiên là khảo sát thực địa để thu thập dữ liệu chi tiết về quy trình và hiệu suất. Sau đó, phương pháp chủ đạo là mô hình hóa và mô phỏng sự kiện rời rạc (DES - Discrete Event Simulation) trên phần mềm AnyLogic để tái tạo môi trường kho CFS, phân tích các kịch bản khác nhau nhằm xác định các nút thắt cổ chai theo định hướng quản trị thiết bị của Carlo và cộng sự [10]. Cuối cùng, phương pháp phân tích so sánh sẽ được sử dụng để đánh giá các kịch bản cải tiến so với hiện trạng, từ đó đưa ra các đề xuất và kết luận có cơ sở khoa học.

2.2. Cơ sở lý thuyết

Kho CFS (Container Freight Station) đóng vai trò là điểm nút quan trọng trong chuỗi cung ứng logistics, chuyên phục vụ các hoạt động thu gom, chia tách và đóng rút hàng lẻ (Less than Container Load - LCL). Khác với kho lưu trữ thông thường, đặc thù của kho CFS là có tần suất giao nhận cao, chu kỳ lưu kho ngắn, cùng sự đa dạng về chủng loại và kích thước kiện hàng. Dòng chảy vật chất trong kho mang tính động rất cao, đòi hỏi sự phối hợp nhịp nhàng giữa các khu vực bãi tập kết, cửa bốc xếp và các thiết bị xử lý. Trong môi trường vận hành đó, xe nâng (Forklift) là thiết bị xếp dỡ và vận chuyển nội bộ chủ lực. Dưới góc độ hệ thống, xe nâng được xem là một "nguồn lực động" (mobile resource) có giới hạn cả về năng lực (tải trọng, tốc độ) lẫn số lượng. Hiệu suất của kho CFS phụ thuộc trực tiếp vào tỷ lệ khai thác (utilization) và lộ trình di chuyển của xe nâng. Nếu phân bổ không hợp lý, hệ thống sẽ gánh chịu sự lãng phí từ thời gian xe

chạy không tải (empty travel), làm giảm thông lượng (throughput) chung của toàn kho.

Sự phức tạp trong việc điều phối thiết bị chủ yếu xuất phát từ tính ngẫu nhiên (stochasticity) của các hoạt động thực tế. Việc vận hành luôn chịu ảnh hưởng bởi các yếu tố bất định như sự chênh lệch thời gian xe tải đến cổng, sự đa dạng của các lô hàng hay các sự cố kỹ thuật. Sự mất cân bằng giữa luồng hàng đến ngẫu nhiên và năng lực xử lý hữu hạn của thiết bị tất yếu dẫn đến sự ùn ứ. Dưới góc nhìn của Lý thuyết hàng đợi (Queuing Theory), tình trạng này mô tả trạng thái các thực thể (xe tải chờ bốc dỡ, kiện hàng chờ xe nâng) phải xếp hàng khi nhu cầu dịch vụ vượt quá năng lực phục vụ của tài nguyên tại một thời điểm nhất định. Khi một công đoạn hoặc thiết bị không thể đáp ứng kịp thời lượng công việc đổ về, nó sẽ trở thành nút thắt cổ chai (Bottleneck) [11]. Nhận diện và giải tỏa chính xác nút thắt cổ chai là nguyên tắc cốt lõi để nâng cao hiệu suất tổng thể mà không gây lãng phí đầu tư dàn trải.

Để giải quyết triệt để các bài toán trên, Tối ưu hóa (Optimization) được áp dụng nhằm tìm kiếm phương án vận hành tốt nhất từ một tập hợp các kịch bản khả thi. Đối với kho CFS, mục tiêu tối ưu hóa không chỉ dừng lại ở việc giảm thiểu tổng quãng đường di chuyển của thiết bị, mà còn hướng tới việc cân bằng khối lượng công việc, giảm thời gian chờ (idle time) và tối đa hóa khả năng đáp ứng đơn hàng. Tuy nhiên, do hệ thống có tính ngẫu nhiên cao, các tham số tính không thể phản ánh đúng thực tế.

Trong nghiên cứu tối ưu hóa vận hành hệ thống, các phương pháp mô hình hóa đóng vai trò cốt lõi để phân tích và đạt được các mục tiêu về chi phí, thời gian và hiệu suất. Hai phương pháp chính thường được áp dụng là mô hình vật lý và mô hình toán học. Trong khi mô hình vật lý cung cấp cái nhìn trực quan nhưng hạn chế bởi chi phí cao và tính kém linh hoạt, mô hình toán học lại mang đến khả năng mở rộng, tiết kiệm chi phí và dễ dàng thử nghiệm đa kịch bản.

Mô hình toán học bao gồm mô hình phân tích và mô hình mô phỏng. Do mô hình phân tích chỉ phù hợp với các hệ thống đơn giản có giả định tĩnh, mô hình mô phỏng (Simulation Model) nổi lên như

một công cụ tối ưu để giải quyết các hệ thống phức tạp, mang tính ngẫu nhiên thông qua phần mềm chuyên dụng (AnyLogic, FlexSim, Vissim...). Có ba cách tiếp cận mô phỏng chính: Động hệ thống (System Dynamics - SD): Tập trung vào cấu trúc vĩ mô, các dòng chảy và mối quan hệ nhân quả của hệ thống theo thời gian; Mô phỏng sự kiện rời rạc (Discrete Event Simulation - DES): Biểu diễn hệ thống qua chuỗi các sự kiện rời rạc theo trình tự thời gian. Đây là phương pháp đặc biệt phù hợp để nghiên cứu vận hành kho bãi (ví dụ: kho CFS), nơi các hoạt động bốc xếp, lộ trình xe là những sự kiện tương tác trực tiếp, ảnh hưởng đến hiệu suất toàn hệ thống; Mô hình dựa trên tác nhân (Agent-Based Modeling - ABM): Phân tích hệ thống thông qua hành vi và sự tương tác vi mô của các tác nhân độc lập (người lái xe, xe tải, ...) dựa trên các bộ quy tắc riêng.

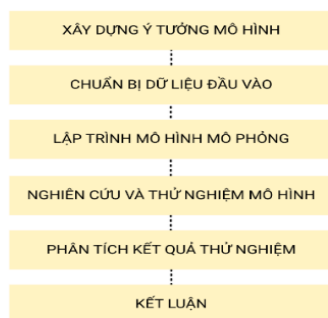
Nghiên cứu này hướng tới việc tối ưu hóa hiệu suất thiết bị (xe nâng, xe kéo) và quy trình xử lý hàng hóa (tập kết, chia tách, giao nhận) trong kho CFS. Do bản chất các hoạt động này là một chuỗi sự kiện rời rạc làm thay đổi trạng thái hệ thống theo thời gian, phương pháp Mô phỏng sự kiện rời rạc (DES) được lựa chọn làm nền tảng tiếp cận chính. Việc áp dụng DES được định hướng bởi các ưu điểm cốt lõi: (1) khả năng mô hình hóa chính xác các hoạt động có điểm bắt đầu và kết thúc rõ ràng; (2) cho phép theo dõi dòng chảy của từng đối tượng (xe, hàng, nhân sự) nhằm nhận diện các điểm nghẽn; (3) trích xuất chi tiết các chỉ số hiệu suất như chiều dài hàng đợi, thời gian xử lý và thông lượng; (4) làm nền tảng thuật toán vững chắc để giải quyết bài toán điều phối, tối ưu lộ trình trên các phần mềm chuyên dụng (FlexSim, AnyLogic); và (5) khả năng tích hợp các biến số ngẫu nhiên (thời gian xe đến, sự cố thiết bị) giúp mô hình phản ánh sát thực tế vận hành.

3. Xây dựng mô hình mô phỏng

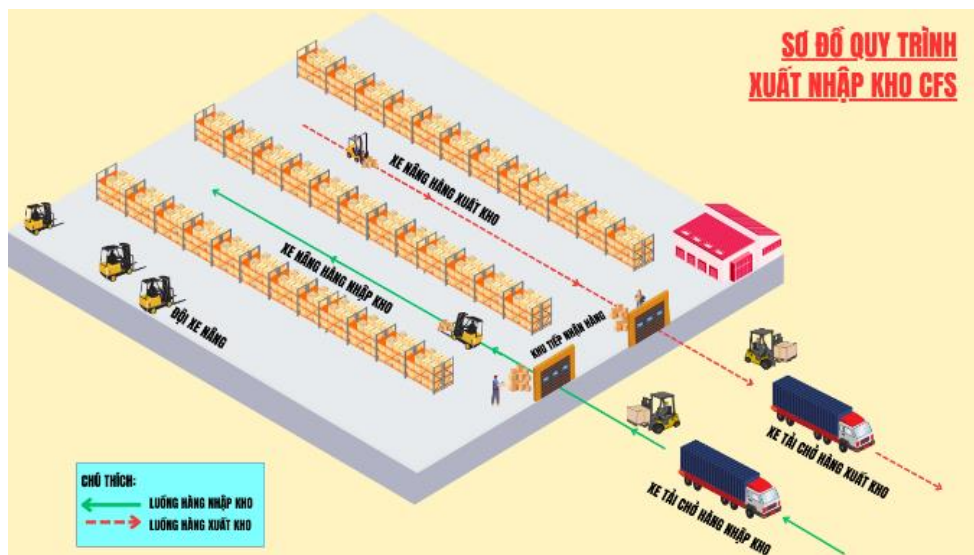
3.1. Các giai đoạn xây dựng mô hình

Xây dựng mô hình mô phỏng có thể chia thành các giai đoạn sau: Xây dựng bài toán và mục tiêu của mô hình; Xây dựng ý tưởng mô hình; Chuẩn bị dữ liệu đầu vào; Lập trình mô hình mô phỏng; Nghiên cứu và thử nghiệm mô hình; Phân tích kết quả thử nghiệm; Kết luận. Hình 1 thể hiện sơ đồ

các giai đoạn xây dựng mô hình mô phỏng, từ đó một kế hoạch đã được đưa ra để xây dựng mô hình mô phỏng tối ưu phương tiện trong kho CFS.



Hình 1. Sơ đồ các giai đoạn xây dựng mô hình



Hình 2. Sơ đồ quy trình xuất nhập kho CFS

3.3. Thiết lập cấu trúc Logic trên Anylogic

Để nâng cao tính chân thực và đảm bảo mô hình mô phỏng phản ánh sát thực tế vận hành động của kho CFS Phú Hữu, các yếu tố về độ tin cậy và sự cố kỹ thuật của thiết bị xếp dỡ đã được tích hợp chi tiết vào cấu hình tài nguyên. Cụ thể, đội xe nâng luân chuyển được thiết lập các tham số ngẫu nhiên về sự cố hỏng hóc trong quá trình làm việc thông qua hai chỉ số cốt lõi: Thời gian hoạt động liên tục trung bình giữa các lần hỏng hóc (Mean Time Between Failures - MTBF) được xác định là 2400 phút (tương đương khoảng 5 ca làm việc tiêu chuẩn); và Thời gian sửa chữa, bảo dưỡng trung bình (Mean Time To Repair - MTTR) được thiết lập là 30 phút. Các biến số ngẫu nhiên này được cấu hình tuân theo phân phối Log-normal, dựa trên cơ

3.2. Sơ đồ luồng hàng hóa thực tế

Khi nghiên cứu hoạt động của kho CFS, bài toán đặt ra là xác định các phương án hoạt động của các thiết bị, phương tiện trong kho CFS phù hợp với số lượng hàng hoá ra vào kho cũng như khả năng xếp dỡ hàng khi việc xuất hàng, nhập hàng diễn ra. Ý tưởng mô hình bao gồm các quá trình sau: Quá trình xe nâng di chuyển theo luồng hàng; Quá trình xe nâng xếp dỡ hàng lên kệ. Trong đó quá trình xe nâng di chuyển phải tuân thủ theo luồng hàng hoá và gắn liền với quy trình đã khảo sát thực địa tại kho CFS (Hình 2).

sở phân tích chuỗi số liệu ghi chép lịch sử từ bộ phận bảo trì thiết bị thực tế tại đơn vị khai thác bãi.

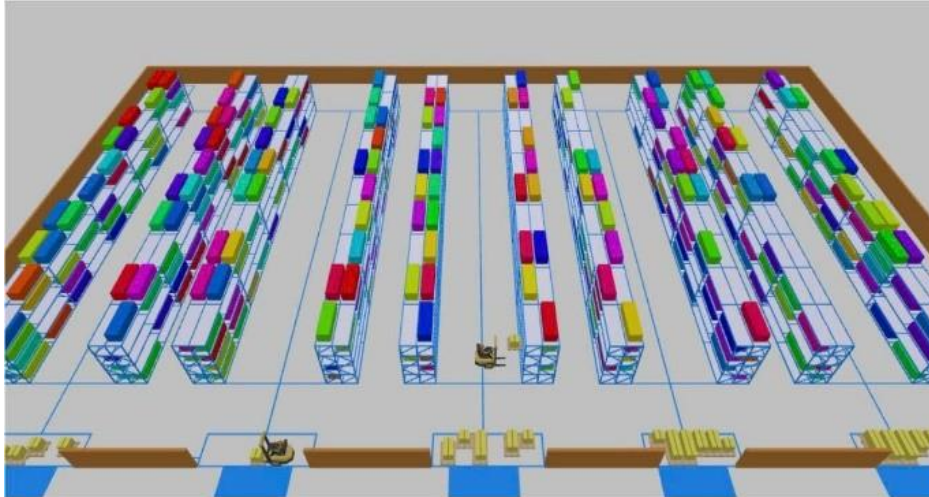
Trong nghiên cứu này, mô hình mô phỏng được phát triển trên nền tảng phần mềm AnyLogic, một công cụ mạnh mẽ và linh hoạt hỗ trợ đa phương pháp mô phỏng, bao gồm mô phỏng sự kiện rời rạc (DES - Discrete Event Simulation) mà chúng tôi đã lựa chọn.

Cấu trúc của mô hình được thiết kế một cách có hệ thống, bao gồm 3 thành phần chính yếu, mỗi thành phần đóng vai trò quan trọng trong việc tái tạo và phân tích hành vi của hệ thống kho CFS một cách chân thực và toàn diện:

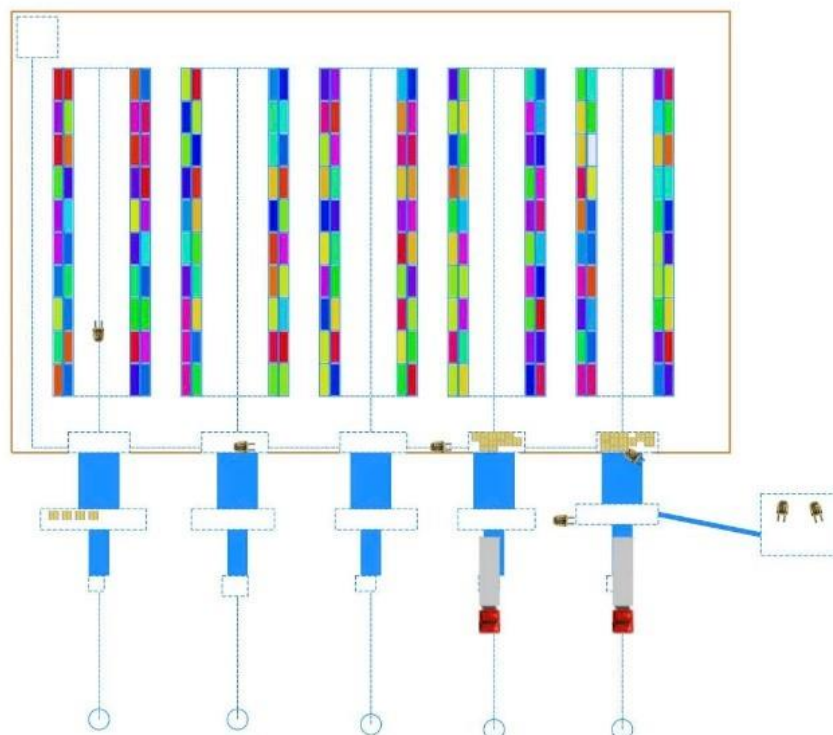
- **Phần 1: Cấu trúc Cơ sở hạ tầng.** Thành phần đầu tiên và cơ bản của mô hình là việc xây dựng một biểu diễn chi tiết về cấu trúc vật lý và bố cục

không gian của kho CFS. Điều này bao gồm việc tái tạo chính xác mặt bằng nhà kho, vị trí các khu vực chức năng như khu vực tiếp nhận hàng, khu vực lưu trữ với các dãy kệ và lối đi, khu vực tập kết/kiểm tra, và khu vực xuất hàng. Việc này được thực hiện thông qua các thư viện chuyên dụng của AnyLogic (ví dụ: Material Handling Library, Process Modeling Library), cho phép định nghĩa

các tài nguyên cố định và không gian hoạt động, tạo nền tảng cho sự di chuyển của các thực thể và phương tiện trong môi trường mô phỏng. Sự thể hiện chính xác cơ sở hạ tầng là yếu tố then chốt để đảm bảo tính hợp lệ của các phân tích về quãng đường di chuyển, tắc nghẽn, và hiệu suất sử dụng không gian.



Hình 3. Mặt bằng 3D của cấu trúc cơ sở hạ tầng tầng



Hình 4. Mặt bằng 2D của cấu trúc cơ sở hạ tầng tầng

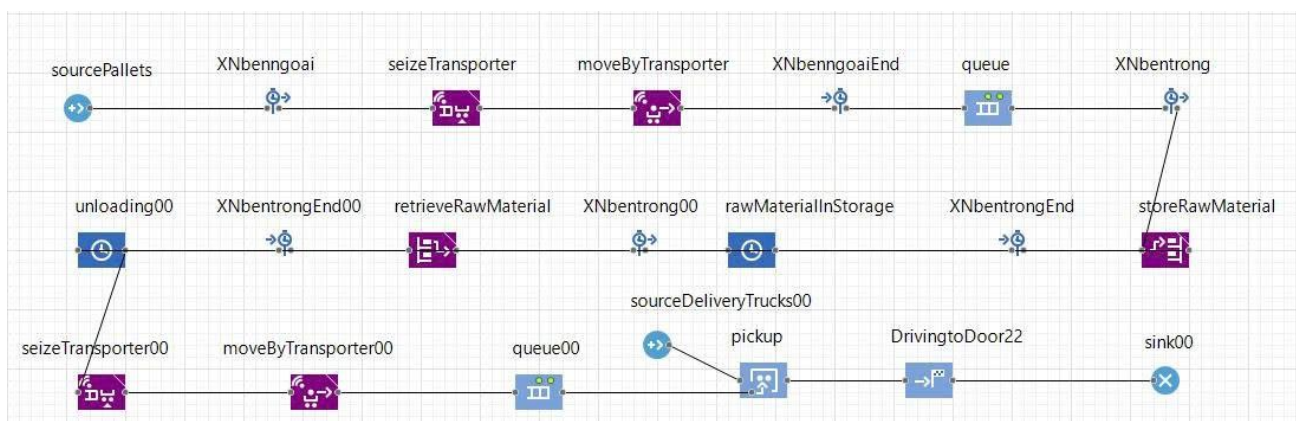
- **Phần 2: Các Sự kiện và Logic Vận hành.** Thành phần thứ hai tập trung vào việc định nghĩa và lập trình các sự kiện rời rạc và logic vận hành chi phối hoạt động của kho. Trong mô hình sự kiện

rời rạc, trạng thái của hệ thống thay đổi tại các thời điểm rời rạc khi một sự kiện xảy ra. Các sự kiện chính được mô hình hóa bao gồm: sự đến của xe tải chở hàng, việc di chuyển hàng hóa giữa các khu

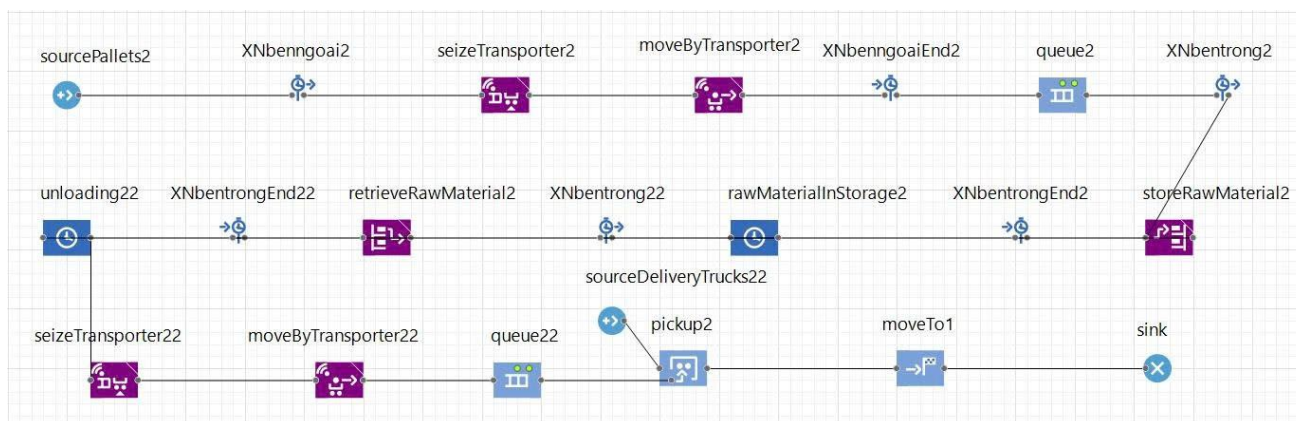
vực bằng xe nâng, quá trình xử lý và phân loại hàng, và việc xếp hàng lên xe tải để xuất kho. Mỗi sự kiện được gắn với một khoảng thời gian xử lý cụ thể, thường được mô hình hóa bằng các phân phối xác suất dựa trên dữ liệu thực tế. Logic vận hành cũng bao gồm các quy tắc điều phối và ưu tiên cho các phương tiện (ví dụ: xe nâng sẽ phục vụ yêu cầu nào trước khi có nhiều yêu cầu cùng lúc),

quy trình xử lý khi xảy ra tắc nghẽn tại một khu vực, và cách các thực thể di chuyển qua các giai đoạn khác nhau của quy trình. Việc định nghĩa rõ ràng các sự kiện và logic này là cần thiết để mô hình có thể tái tạo động lực học của hệ thống.

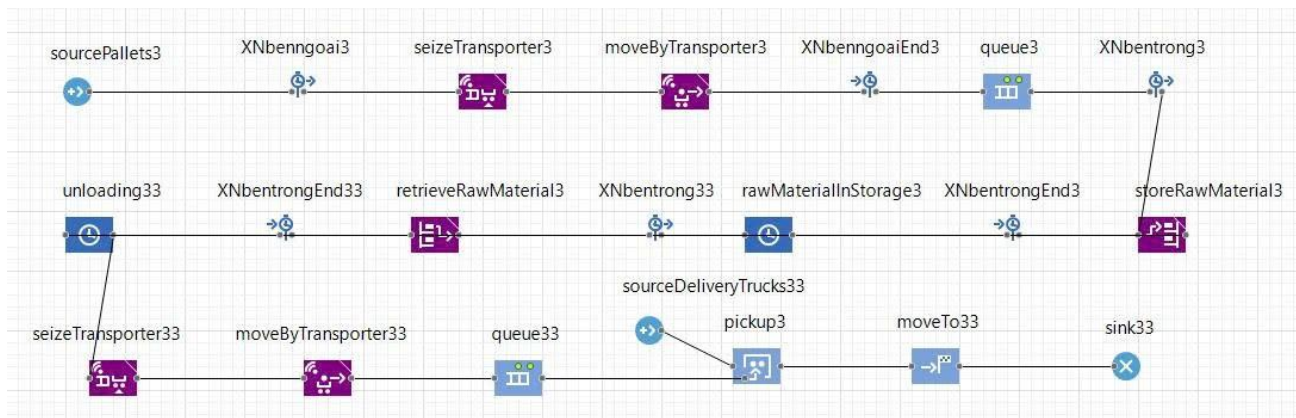
Sự kiện và logic vận hành tại các cửa kho



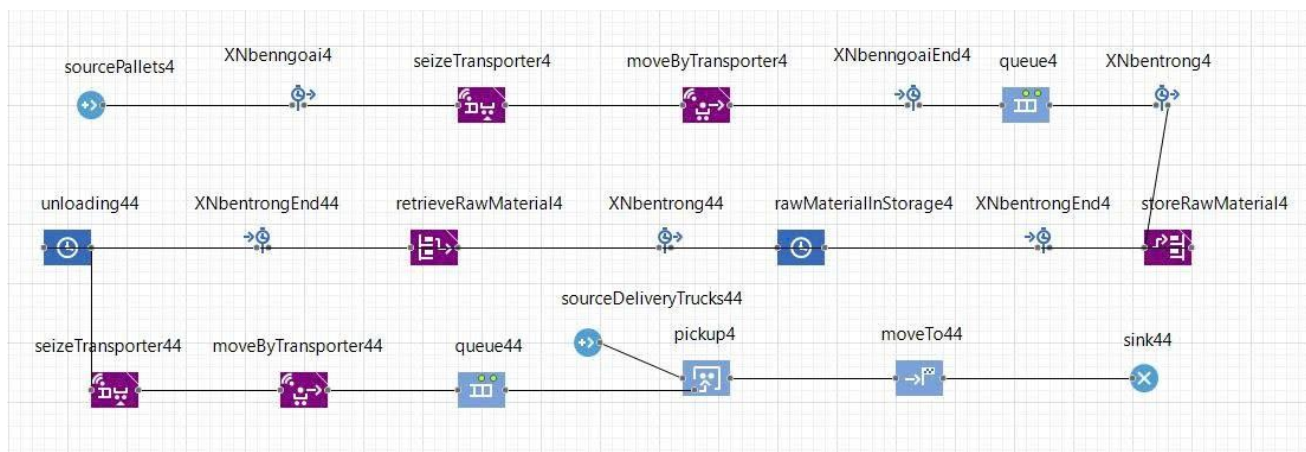
Hình 5. Cửa kho 1



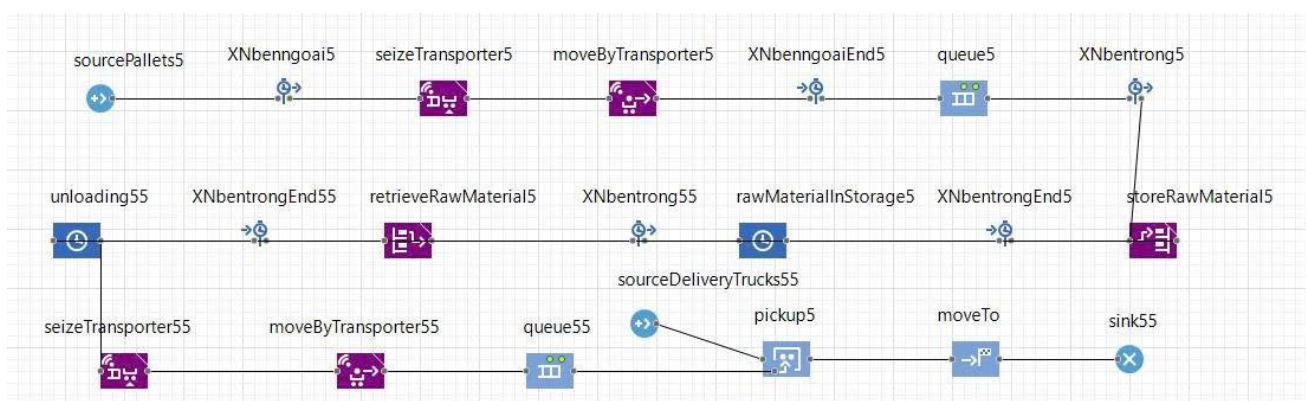
Hình 6. Cửa kho 2



Hình 7. Cửa kho 3



Hình 8. Cửa kho 4



Hình 9. Cửa kho 5

Bảng 2. Danh mục các Khối Logic sử dụng

Khối	Tên khối	Chức năng
	Source (Khởi tạo đối tượng (Agent))	Tạo luồng kiện hàng nhập và luồng xe tải đến nhận hàng.
	TimeMeasureStart/ Time MeasureEnd (Đo lường thời gian)	Xác định thời gian chu kỳ (T_{ck}) để tính toán năng suất xe nâng.
	Seize (Cấp phát tài nguyên)	Chiếm dụng xe nâng trống khi có yêu cầu xếp dỡ.
	MoveTo/ MoveByTransporter (Điều hướng di chuyển)	Mô phỏng hành trình dịch chuyển của xe nâng và hàng hóa.
	Queue (Tạo hàng đợi)	Mô phỏng khu vực chờ đợi; đo lường đỉnh ùn tắc (Q_{max}).
	Delay (Trì hoãn thời gian)	Mô phỏng thời gian dỡ hàng khỏi xe tải hoặc kiểm đếm tại kho.
	RackStore/ RackPick (Tương tác hệ thống kệ)	Tự động cất hàng vào kệ lưu trữ hoặc rút hàng xuất kho.
	Pickup (Thu gom đối tượng)	Ghép nối các kiện hàng lên xe tải trước khi xuất bến.
	Sink (Giải phóng đối tượng)	Hủy các đơn hàng/xe tải đã hoàn thành để kết thúc quy trình.

• **Phần 3: Dữ liệu Đầu vào và Phân tích Kết quả:**
 Thành phần cuối cùng liên quan đến việc quản lý dữ liệu và đánh giá hiệu suất của mô hình. Dữ liệu đầu vào, thu thập từ khảo sát hiện trường và phân tích thống kê được tích hợp vào mô hình để đại diện cho các yếu tố ngẫu nhiên và thông số cố định của hệ thống thực. Các dữ liệu này bao gồm tần suất hàng hóa đến/đi, thời gian xử lý tại các quy trình, tốc độ di chuyển của xe nâng, năng lực của các tài nguyên. Sau khi mô hình được xây dựng và xác nhận, các thử nghiệm mô phỏng sẽ được thực hiện để thu thập một loạt các chỉ số hiệu suất đầu ra. Các chỉ số này có thể bao gồm: thông lượng hàng hóa, thời gian chờ đợi trung bình của xe tải chờ hàng, kiện hàng tại các hàng đợi, tỷ lệ sử dụng của các phương tiện và tài nguyên, và mức độ tắc nghẽn tại các nút thắt. Việc phân tích kỹ lưỡng các kết quả đầu ra này sẽ cung cấp cơ sở định lượng để đánh giá hiệu quả của các phương án tối ưu hóa và đưa ra các khuyến nghị cải tiến cho các phương tiện hoạt động trong kho CFS.

3.4. Kiểm định tính hợp lệ của mô hình

Trước khi tiến hành chạy các kịch bản thực nghiệm tối ưu, tính hợp lệ của hệ thống mô phỏng đã được nhóm nghiên cứu kiểm định thông qua phương pháp đối chiếu với thực trạng (Face Validation). Cụ thể, kết quả chạy Kịch bản Baseline (KB1 - Hiện trạng với 3 xe ngoài, 4 xe trong) cho thấy hệ số sử dụng phương tiện (U_T) chạm ngưỡng 95,2% và xuất hiện tình trạng ùn tắc liên tục tại khu vực tiếp nhận ($Q_{max} \approx 60 \pm 5$ kiện). Các chỉ số đầu ra này hoàn toàn khớp với hiện tượng quá tải và ứ đọng hàng hóa thường xuyên được ghi nhận qua quá trình khảo sát thực địa và phỏng vấn bộ phận quản lý vận hành kho CFS Phú Hữu.

Bên cạnh phương pháp đối chiếu với thực trạng (Face Validation), nhóm nghiên cứu đã tiến hành bổ sung bước kiểm định định lượng (Quantitative Validation) nhằm xác định độ tin cậy toán học của hệ thống mô phỏng ngẫu nhiên. Dữ liệu lịch sử vận hành thực tế tại kho CFS Phú Hữu ghi nhận sản lượng khai thác trung bình đạt 27 container/ngày,

tương đương với khoảng 270 kiện hàng lẻ được xử lý trong một ca làm việc.

Kết quả chạy Kịch bản Baseline (KB1) trên nền tảng AnyLogic cho thấy hệ thống giải phóng hoàn toàn 265 kiện hàng trong thời gian Makespan trung bình là 457,14 phút, quy đổi tương đương năng suất xử lý đạt 278,2 kiện hàng trên một ca làm việc tiêu chuẩn 8 tiếng. Sai số phần trăm tuyệt đối trung bình (Mean Absolute Percentage Error - MAPE) giữa sản lượng thực tế và sản lượng mô phỏng được xác định cụ thể như sau:

$$MAPE = \frac{|278,2 - 270|}{270} \times 100\% = 3,04\% \quad (1)$$

Giá trị sai số MAPE đạt mức 3,04%, nhỏ hơn đáng kể so với ngưỡng sai số cho phép thông thường trong thực nghiệm mô phỏng hệ thống (< 5%). Sự tương đồng sát sao giữa số liệu mô phỏng và thực tiễn khẳng định mô hình trên AnyLogic đã phản ánh trung thực động lực học của hệ thống, đảm bảo độ tin cậy vững chắc cho các phân tích đối chứng ở Phần 4.

3.5. Thiết lập thực nghiệm và Danh mục kịch bản

Để tìm ra cấu hình phương tiện tối ưu cho kho CFS Phú Hữu, nhóm nghiên cứu thực hiện phương pháp thực nghiệm thay đổi tham số (Parameter Variation). Trong đó, các yếu tố về mặt bằng kho, lưu lượng hàng hóa và vận tốc phương tiện được giữ cố định. Biến số duy nhất được thay đổi là số lượng xe nâng ngoài kho ($N_{ngoài}$) và xe nâng trong kho (N_{trong}).

Mỗi kịch bản được thiết lập mô phỏng với 10 lượt lặp (replications) sử dụng các hạt giống ngẫu nhiên khác nhau nhằm đảm bảo độ tin cậy thống kê theo hướng dẫn của Law [12]. Mỗi lượt mô phỏng chạy trong thời gian 480 phút, tương đương với một ca làm việc tiêu chuẩn 8 tiếng của công nhân tại kho. Điều này cho phép nhóm nghiên cứu đánh giá chính xác khả năng hoàn thành khối lượng công việc trong ngày và xác định các khoảng thời gian phát sinh ùn tắc.

Dưới đây là bảng tổng hợp 10 kịch bản thực nghiệm đã được triển khai trên mô hình:

Bảng 3. Ma trận các kịch bản thực nghiệm thay đổi số lượng xe nâng

STT	Kịch bản	Số xe nâng bên ngoài ($N_{ngoài}$)	Số xe nâng bên trong (N_{trong})	Ý nghĩa thực nghiệm
1	KB1	3	4	Hiện trạng vận hành thực tế tại kho
2	KB2	1	1	Kịch bản tối thiểu (Stress test) để xác định giới hạn dưới
3	KB3	3	3	Đánh giá tác động khi giảm xe trong kho
4	KB4	2	4	Thử nghiệm tối ưu hóa chi phí (giảm xe ngoài)
5	KB5	2	3	Thử nghiệm cắt giảm nguồn lực ở cả hai khu vực
6	KB6	4	4	Đánh giá tác động khi tăng xe ngoài kho
7	KB7	4	5	Đánh giá khi tăng cường năng lực toàn hệ thống
8	KB8	5	3	Kịch bản mất cân bằng nguồn lực (thừa ngoài, thiếu trong)
9	KB9	3	5	Thử nghiệm giải phóng nút thắt cổ chai nội bộ
10	KB10	10	10	Kịch bản bão hòa để xác định giới hạn vật lý của kho

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Chỉ số và cơ sở định lượng đánh giá hiệu quả

Để đảm bảo tính khách quan và khoa học, nhóm nghiên cứu thiết lập các chỉ số đánh giá hiệu suất chính (KPIs) dựa trên kết quả mô phỏng AnyLogic và đối chiếu với các công thức tính toán trong thiết kế kho hàng của Tompkins và cộng sự [13]:

- Năng suất thực tế của phương tiện ($P_{tc.cm}$): Được tính toán dựa trên thời gian chu kỳ trung bình (T_{ck}) ghi nhận từ mô phỏng:

$$P_{tc.cm} = \frac{T_{ca} \times q \times k_{tg}}{T_{ckT}} \text{ (kiện/ca)} \quad (2)$$

Trong đó: $T_{ca} = 480$ phút (thời gian ca làm việc); $q = 1$ kiện (tải trọng xe nâng); $k_{tg} \approx 0.85$ (hệ số sử dụng thời gian có ích); T_{ckT} là thời gian chu kỳ thực tế của xe nâng trong kho.

- Hệ số sử dụng phương tiện (Utilization - U): Tỷ lệ thời gian phương tiện ở trạng thái "Busy" so với tổng thời gian ca làm việc. Mức lý tưởng theo tiêu chuẩn vận hành là $80\% \leq U \leq 85\%$;

- Tổng thời gian hoàn thành (Makespan - T_{ms}): Thời gian cần thiết để giải phóng hoàn toàn 265 kiện hàng. Mục tiêu tối ưu là $T_{ms} \leq T_{ca}$;

- Đỉnh ùn tắc tại cửa kho (Q_{max}): Ảnh hưởng trực tiếp đến diện tích tiếp nhận (S_{po}):

$$S_{po} = Q_{max} \times f_h \times \sigma \text{ (m}^2\text{)} \quad (3)$$

Trong đó: Q_{max} là đỉnh hàng đợi ùn tắc tại cửa kho (kiện); $f_h = 0,8 \text{ m}^2$ là diện tích mặt bằng tĩnh chiếm dụng của một kiện hàng (pallet $1\text{m} \times 0,8\text{m}$ theo Bảng 1); $\sigma = 2,5$ là hệ số mở rộng diện tích phục vụ cho lối đi và thao tác quay xe của xe nâng.

4.2. Kết quả thực nghiệm và Phân tích đối chứng

Trong số 10 kịch bản thực nghiệm, nhóm nghiên cứu lựa chọn 04 kịch bản điển hình nhất để

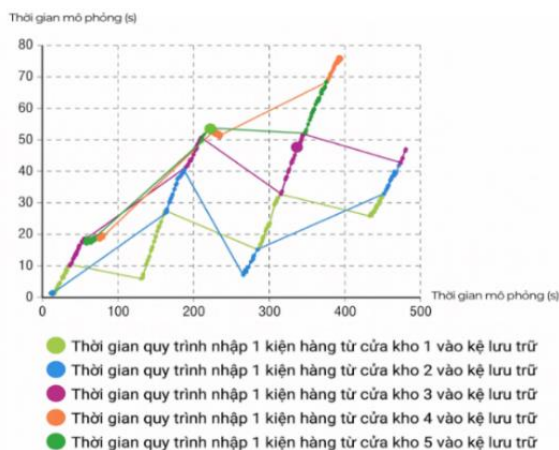
phân tích chuyên sâu nhằm làm rõ quy luật vận hành của kho CFS Phú Hữu

Bảng 4. Tổng hợp kết quả các kịch bản tiêu biểu

Chỉ số đánh giá	KB1 (3N-4T)	KB2 (1N-1T)	KB4 (2N-4T)	KB9 (3N-5T)
Tổng thời gian (T_{ms} – phút)	457,14 ± 8,25	1508,44 ± 24,60	452,92 ± 7,85	365,18 ± 6,40
Đỉnh ùn tắc (Q_{max} – kiện)	60 ± 5	> 200	22 ± 3	21 ± 3
Thời gian chu kỳ thực tế xe trong (T_{ckT} – phút)	6,90 ± 0,12	5,69 ± 0,08	6,84 ± 0,11	6,89 ± 0,10
Năng suất định mức 01 xe trong ($P_{tc.cm}$ – kiện/ca)	59,13	71,70	59,65	59,22
Hệ số sử dụng xe nâng trong (UT)	95,2%	99,8%	94,4%	76,1%
Diện tích tiếp nhận yêu cầu (S_{po} – m ²)	120,0 ± 10,0	> 400,0	44,0 ± 6,0	42,0 ± 6,0

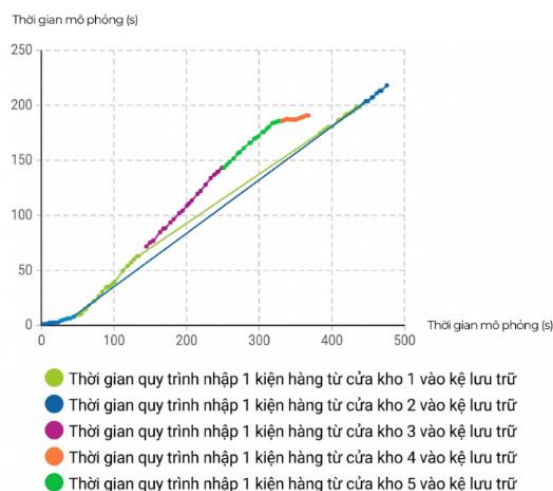
4.2.1. Kịch bản 1 và Kịch bản 2

• **Kịch bản 1 (Hiện trạng):** Năng suất tổng đội xe trong ($4 \times 27.92 = 111.68$ kiện) thấp hơn nhiều so với nhu cầu xử lý thực tế, dẫn đến tích tụ hàng đợi tại cửa kho lên mức 60 kiện. Hệ số U_T gần chạm ngưỡng bão hòa (95%), gây rủi ro cao về an toàn vận hành



Hình 10. Biểu đồ Thời gian quy trình nhập của xe nâng trong kho – Kịch bản 1

• **Kịch bản 2 (Giới hạn dưới):** Khi chỉ sử dụng 01 xe nâng cho mỗi khu vực, hệ thống sụp đổ hoàn toàn. T_{ms} lên tới 1508,44 phút, gấp 3,14 lần thời gian ca tiêu chuẩn. Lượng hàng ùn tắc > 200 kiện sẽ lấp đầy diện tích S_{po} , làm tê liệt toàn bộ luồng hàng nội bộ



Hình 11. Biểu đồ Thời gian quy trình nhập của đội xe nâng trong kho – Kịch bản 2

Việc quan sát trực quan các đường biến thiên thời gian quy trình giữa Kịch bản 1 (KB1) và Kịch bản 2 (KB2) cho thấy sự khác biệt rõ rệt về khả năng ổn định của hệ thống về tính chu kỳ và khả năng giải tỏa:

• **Kịch bản 1 (3N-4T):** Hình 10 thể hiện các đường thời gian có dạng hình "răng cưa" hoặc bậc thang với các đoạn lên xuống liên tục. Điều này chứng minh rằng với đội ngũ 04 xe nâng trong, hệ thống có những khoảng thời gian "phục hồi" để giải tỏa hàng đợi, giữ cho thời gian quy trình không vượt quá ngưỡng 80 đơn vị;

• Kịch bản 2 (1N-1T): Ngược lại, Hình 11 cho thấy các đường thời gian có xu hướng dốc đứng và gần như tuyến tính đi lên. Sự thiếu hụt phương tiện khiến hệ thống mất hoàn toàn khả năng giải tỏa hàng hóa, dẫn đến việc tích lũy thời gian chờ đợi và xử lý tăng không kiểm soát, đạt đỉnh vượt mức 250 đơn vị.

Về mức độ ùn tắc và ổn định:

• Trong KB1, các đường biểu đồ của 5 cửa kho dù có sự chênh lệch nhưng vẫn nằm trong một dải giá trị hẹp (dưới 100), cho thấy sự phân phối luồng hàng tương đối đồng đều giữa các cửa;

• Trong KB2, áp lực dồn nén lên 01 xe nâng duy nhất khiến các giá trị thời gian quy trình cao gấp hơn 3 lần so với KB1. Điều này khẳng định rằng khi nguồn lực bị cắt giảm quá mức, hệ thống không chỉ vận hành chậm lại mà còn rơi vào trạng thái mất ổn định vật lý (system instability), nơi mọi sự chậm trễ nhỏ đều được khuếch đại lên theo thời gian.

Nhận xét chung: Biểu đồ thời gian quy trình là bằng chứng thực nghiệm quan trọng cho thấy sự "đứt gãy" của chuỗi cung ứng nội bộ trong KB2. Trong khi KB1 vẫn duy trì được nhịp độ làm việc dù hệ số sử dụng cao (95,2%), thì KB2 hoàn toàn thất bại trong việc thiết lập một trạng thái cân bằng vận hành.

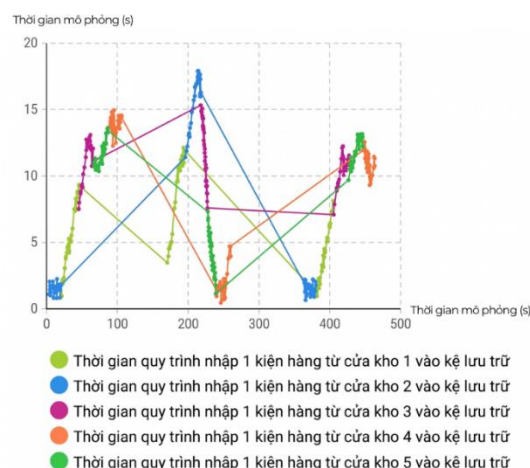
4.2.2. Kịch bản 4 và Kịch bản 9 (Giải pháp tối ưu hóa chi phí và năng suất cao)

Điểm sáng của thực nghiệm nằm ở KB4. Bằng cách giảm 01 xe nâng ngoài, nhịp độ hàng vào bệ dỡ được điều tiết chậm lại, giúp giảm áp lực cho cửa kho. Hiệu ứng dây chuyền: Lượng hàng ùn tắc giảm mạnh (60%), giải phóng không gian cho xe nâng trong di chuyển. Kết quả là T_{ckT} giảm từ 6,90 xuống 6,84 phút (năng suất định mức tăng tương ứng do giảm cản trở giao thông).

Để giải quyết triệt để "nút thắt cổ chai", KB9 bổ sung thêm 01 xe nâng trong (tổng 5 xe). Đột phá về thời gian: T_{ms} giảm xuống mức kỷ lục 365,18 phút (tiết kiệm 20,1% thời gian so với hiện trạng). Trạng thái lý tưởng: Hệ số sử dụng U_T đạt mức 85%. Đây là "điểm ngọt" (sweet spot) trong logistics, vừa đảm bảo tốc độ giải phóng hàng tối

đa, vừa dành khoảng đệm thời gian cho bảo trì và phục hồi sức lao động của tài xế.

Khi đối chiếu biểu đồ thời gian quy trình của Kịch bản 4 (KB4) và Kịch bản 9 (KB9) với các kịch bản trước đó, nhóm nghiên cứu ghi nhận sự cải thiện rõ rệt về tính ổn định và nhịp độ vận hành của hệ thống. Sự ổn định hóa dòng chảy trong Kịch bản 4 (2N-4T):

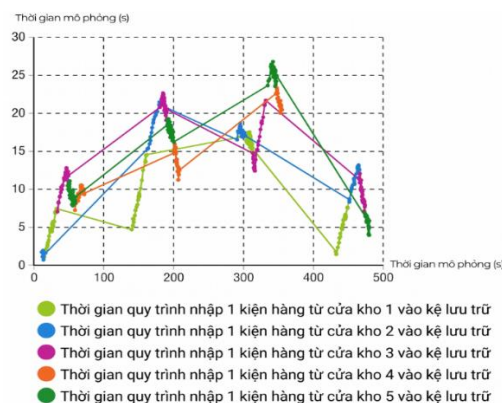


Hình 12. Biểu đồ Thời gian quy trình nhập của đội xe nâng trong kho – KỊCH BẢN 4

Hình 12 cho thấy các đường biến thiên thời gian quy trình đã được kéo xuống mức thấp và duy trì ổn định, không còn xuất hiện các "đỉnh nhọn" vượt ngưỡng 80 như ở hiện trạng (KB1).

Việc chủ động giảm 01 xe nâng ngoài giúp điều tiết nhịp độ hàng hóa đưa vào bệ dỡ (Dock) khớp với năng lực hấp thụ của 04 xe nâng trong. Kết quả trực quan từ biểu đồ minh chứng cho việc triệt tiêu tình trạng ùn tắc cục bộ, giúp thời gian chu kỳ thực tế giảm từ 6,90 xuống 6,84 phút.

Sự tối ưu hóa năng suất tuyệt đối trong Kịch bản 9 (3N-5T):



Hình 13. Biểu đồ Thời gian quy trình nhập của đội xe nâng trong kho – KỊCH BẢN 9

Hình 13 thể hiện một trạng thái vận hành lý tưởng với các đường thời gian phân bố đồng đều và thấp nhất trong tất cả các kịch bản.

Với việc bổ sung thêm 01 xe nâng trong (tổng 5 xe), năng lực giải tỏa hàng hóa tại cửa kho luôn ở mức dư thừa so với luồng hàng đến, giúp thời gian hoàn thành đơn hàng đạt mức kỷ lục 365,18 phút.

Dữ liệu biểu đồ xác nhận rằng KB9 đã giải quyết triệt để "nút thắt cổ chai" nội bộ, cho phép kho CFS vận hành với thông lượng cao nhất mà vẫn duy trì hệ số sử dụng phương tiện (U_T) ở ngưỡng an toàn 85%.

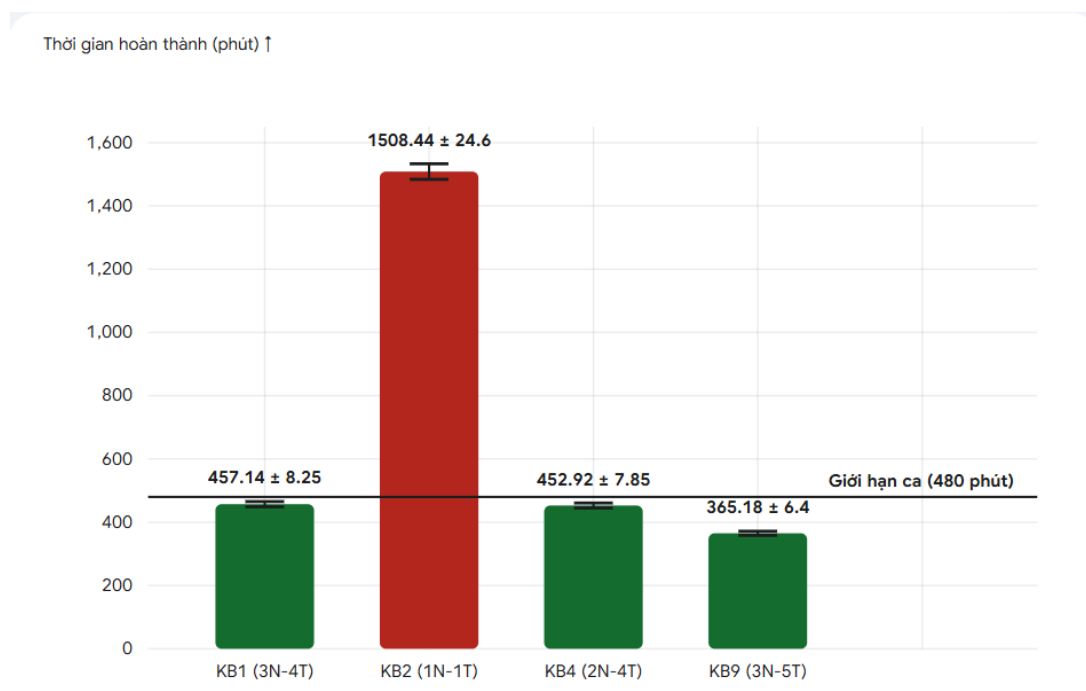
Nhận xét tổng quát: So sánh giữa KB4 và KB9 qua biểu đồ thời gian quy trình cho thấy cả hai kịch bản đều đạt được sự thông thoáng về mặt không gian tiếp nhận (S_{po}). Tuy nhiên, nếu KB4 là giải pháp tối ưu về "Điều tiết luồng hàng" (giúp tiết kiệm chi phí đầu tư xe nâng ngoài), thì KB9 chính là giải pháp tối ưu về "Năng suất xử lý" (giúp rút ngắn 20,1% thời gian toàn ca).

4.3. Thảo luận

Việc quan sát trực quan từ biểu đồ kết quả của 4 kịch bản cho thấy sự khác biệt rõ nét về năng lực xử lý giữa các phương án điều phối thông qua chỉ số thời gian hoàn thành (Makespan). Từ đó ta có

được biểu đồ so sánh thời gian hoàn thành (Makespan) giữa các kịch bản, dựa trên biểu đồ ta có cái nhìn trực quan về năng lực đáp ứng của hệ thống kho CFS Phú Hữu đối với lưu lượng hàng hóa thực tế. Trong khi Kịch bản 2 (1N-1T) dẫn đến sự sụp đổ hoàn toàn về mặt vận hành với thời gian kéo dài lên tới 1508,44 phút, thì các kịch bản tối ưu như KB4 và KB9 đã chứng minh được hiệu quả vượt trội khi giải phóng toàn bộ 265 kiện hàng mà không cần sử dụng hết quỹ thời gian của một ca làm việc tiêu chuẩn 480 phút.

Cụ thể, Kịch bản 4 (2N-4T) hoàn tất công việc ở phút thứ 452,92, và ấn tượng nhất là Kịch bản 9 (3N-5T) chỉ mất 365,18 phút để xử lý xong toàn bộ khối lượng hàng hóa. Thông số này cho thấy ở kịch bản tối ưu nhất, kho chỉ cần khoảng 76% quỹ thời gian của một ca 8 tiếng đã có thể hoàn thành mục tiêu sản lượng. Điều này không chỉ giúp xóa bỏ tình trạng tăng ca liên tục của nhân sự mà còn tạo ra một "khoảng đệm" thời gian quý giá (hơn 114 phút ở KB9) để hệ thống tự phục hồi, xử lý các biến số ngẫu nhiên hoặc thực hiện công tác bảo trì thiết bị, từ đó nâng cao tính bền vững và tiết giảm tối đa chi phí logistics cho đơn vị vận hành.



Hình 14. Biểu đồ so sánh Thời gian hoàn thành (Makespan) giữa kết quả biểu đồ của 4 Kịch bản

Dựa trên các phân tích định lượng, nghiên cứu rút ra 3 quy luật vận hành tại kho CFS Phú Hữu:

- Quy luật Nút thắt cổ chai (Theory of Constraints): Việc tăng cường xe nâng ngoài (KB6, KB8) mà không cải thiện đội xe trong chỉ làm trầm trọng hóa tình trạng ùn tắc tại S_{p0} mà không thể rút ngắn T_{ms} . Đội xe trong kho mới là nhân tố quyết định thông lượng của toàn hệ thống;

- Sự tương tác giữa Mật độ phương tiện và Năng suất: Tại KB10 (10N-10T), kết quả cho thấy thời gian không giảm thêm so với KB9. Điều này minh chứng cho quy luật hiệu suất giảm dần và giới hạn về không gian cũng như quy trình kiểm đếm và diện tích kệ hàng;

- Tính ổn định của mô hình DES: Sự sai khác giữa tính toán lý thuyết và mô phỏng thực tế (hệ số cản trở và ngẫu nhiên k_{st}) cho thấy mô hình AnyLogic đã phản ánh đúng bản chất ngẫu nhiên của logistics, giúp các kiến nghị có độ tin cậy cao hơn so với tính toán tĩnh thông thường.

5. Kết luận và kiến nghị

5.1. Kết luận

Thông qua việc ứng dụng mô hình mô phỏng sự kiện rời rạc (DES) trên phần mềm AnyLogic để phân tích hoạt động vận hành tại kho CFS Phú Hữu, nghiên cứu đã đạt được các mục tiêu đề ra và rút ra các kết luận quan trọng sau:

- Xác định nút thắt cổ chai hệ thống: Kết quả thực nghiệm khẳng định đội xe nâng trong kho (khâu từ cửa vào kệ) chính là nhân tố quyết định năng lực thông qua (Throughput) của toàn kho. Việc tăng cường xe nâng ngoài mà không cải thiện năng lực nội bộ (như Kịch bản 6 và 8) chỉ làm gia tăng tình trạng ùn tắc tại khu vực tiếp nhận S_{p0} mà không rút ngắn được thời gian hoàn thành công việc;

- Hiệu quả của việc cân bằng dòng hàng: Nghiên cứu chứng minh rằng "nhiều phương tiện hơn không đồng nghĩa với nhanh hơn". Kịch bản 4 (2N-4T) cho thấy khi giảm bớt 01 xe nâng ngoài so với hiện trạng, hệ thống đạt được sự đồng bộ tốt hơn giữa luồng hàng đến và năng lực hấp thụ nội bộ, giúp giảm 60% lượng hàng ùn tắc và rút ngắn Makespan xuống còn 452,92 phút;

- Xác lập ngưỡng tối ưu năng suất: Kịch bản 9 (3N-5T) được xác định là phương án tối ưu nhất về mặt hiệu suất, giúp giảm 20,1% thời gian xử lý toàn ca so với hiện trạng. Đây là điểm mà hệ số sử dụng phương tiện (U) đạt mức lý tưởng (85%), đảm bảo sự cân bằng giữa khai thác năng suất và bảo dưỡng kỹ thuật thiết bị;

- Ngưỡng bão hòa vật lý: Thực nghiệm tại Kịch bản 10 (10N-10T) chỉ ra rằng khi vượt quá 5 xe nâng trong, thời gian hoàn thành không thể giảm thêm (vẫn duy trì ở 365,18 phút). Điều này minh chứng cho quy luật hiệu suất giảm dần và giới hạn về không gian cũng như quy trình kiểm đếm tại kho CFS Phú Hữu.

5.2. Kiến nghị

Dựa trên các kết quả thu được, nhóm nghiên cứu đề xuất các giải pháp thực tiễn cho đơn vị vận hành kho CFS Phú Hữu:

Về điều phối phương tiện:

- Phương án tối ưu chi phí: Trong điều kiện lưu lượng hàng hóa bình thường (265 kiện/ca), kho nên duy trì cấu hình 02 xe nâng ngoài và 04 xe nâng trong. Việc này giúp tiết kiệm chi phí vận hành 01 xe nâng ngoài mà vẫn đảm bảo tiến độ ca làm việc;

- Phương án tối ưu năng suất: Trong các giai đoạn cao điểm hoặc khi cần giải phóng hàng nhanh, kho nên bổ sung thêm 01 xe nâng nội bộ (cấu hình 3N-5T) để giải quyết triệt để nút thắt cổ chai, đưa thời gian hoàn thành xuống dưới 6,1 giờ (365,18 phút).

Về quản trị vận hành:

- Cần kiểm soát chặt chẽ lượng hàng tồn tại khu vực đệm (Dock). Khi lượng hàng đợi vượt quá 30 kiện, cần tạm dừng nhập độ bốc dỡ của xe ngoài để tránh làm nghẽn không gian di chuyển của xe trong.

5.3. Hạn chế của nghiên cứu

Mặc dù nghiên cứu đã ứng dụng thành công mô hình mô phỏng sự kiện rời rạc (DES) để phân tích và giải quyết bài toán tối ưu hóa đội xe nâng, kết quả nghiên cứu vẫn tồn tại một số hạn chế nhất định cần được nhìn nhận khách quan. Thứ nhất, mô hình hiện tại được xây dựng và hiệu chuẩn dựa

trên trường hợp điển hình tại kho CFS Phú Hữu; do đó, khả năng khái quát hóa kết quả sang các mô hình kho CFS có quy mô và đặc thù quy trình khác cần được kiểm chứng thêm. Thứ hai, dữ liệu đầu vào chủ yếu được xây dựng từ khảo sát thực địa trong một giai đoạn cụ thể, chưa bao quát được các biến động dữ liệu lịch sử dài hạn để kiểm định mô hình một cách toàn diện dưới nhiều điều kiện ngoại cảnh. Thứ ba, bài toán tối ưu hóa mới chỉ tập trung giải quyết biến số về mặt "số lượng" phương tiện, chưa tích hợp đầy đủ các yếu tố động phức tạp như: quy tắc điều phối linh hoạt, tối ưu hóa lộ trình (pathfinding), sự khác biệt về chủng loại hàng hóa hay biến động lưu lượng xe tải đến theo từng khung giờ. Cuối cùng, mặc dù định hướng đến mục tiêu tiết giảm chi phí logistics, mô hình mới chỉ đánh giá hiệu quả qua các lãng phí kỹ thuật (Makespan, Utilization) mà chưa tích hợp trực tiếp các hàm chi phí kinh tế (chi phí vận hành xe nâng, chi phí nhân công, chi phí chờ) để đưa ra bài toán tối ưu hóa lợi nhuận triệt để.

5.4. Hướng nghiên cứu tiếp theo

Từ những hạn chế đã nêu, đề tài mở ra nhiều hướng nghiên cứu tiếp theo nhằm hoàn thiện và nâng cao tính ứng dụng của mô hình. Trong tương lai, mô hình có thể được nâng cấp bằng cách tích hợp bài toán định tuyến phương tiện (Vehicle Routing Problem) để tìm ra lộ trình di chuyển nội bộ ngắn nhất, kết hợp với việc xây dựng các chính sách điều phối động dựa trên trạng thái hàng đợi thực tế tại khu vực tiếp nhận (dock). Bên cạnh đó, việc thực hiện phân tích độ nhạy (Sensitivity Analysis) đối với sự biến động của lưu lượng hàng hóa và bổ sung module tính toán chi phí (Cost Analysis) sẽ giúp đánh giá toàn diện hiệu quả kinh tế của từng phương án đầu tư. Đặc biệt, việc kết hợp phương pháp mô phỏng DES với các thuật toán tối ưu hóa tiên tiến (như Heuristic, Genetic Algorithm, hoặc Simulation-based Optimization) là một hướng phát triển đầy tiềm năng, giúp tự động hóa quá trình tìm kiếm kịch bản tối ưu nhất cho các hệ thống logistics có độ phức tạp cao.

Đóng góp của các tác giả trong bài báo

Tác giả **Đoàn Quang Đăng**: Phương pháp, Lập mô hình mô phỏng, Phân tích dữ liệu, Viết – bản thảo, Tác giả liên hệ. Tác giả **Trần Công Bính**: Biên

soạn dữ liệu, Phân tích dữ liệu, Xác thực, Viết – bản thảo. Tác giả **Hoàng Hữu Đạt**: Hỗ trợ Lập mô hình mô phỏng, Phân tích dữ liệu, Phản hồi phản biện. Tác giả **Nguyễn Trang Thế Vinh**: Phân tích dữ liệu, Hỗ trợ chỉnh sửa bản thảo. Tác giả **Võ Văn Nam**: 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: KHSV2514/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.

1st Doan Dang Quan. *University of Transport Ho Chi Minh City*

2nd Tran Cong Binh. *University of Transport Ho Chi Minh City*

3rd Hoang Huu Dat. *University of Transport Ho Chi Minh City*

4th Nguyen Trang The Vinh. *University of Transport Ho Chi Minh City*

5th Vo Van Nam. *University of Transport Ho Chi Minh City*

*Corresponding author: nam.vo@ut.edu.vn

Tài liệu tham khảo

- [1] World Bank. Vietnam Logistics Statistical Review, Washington, DC. World Bank Group; 2023.
- [2] Bộ Công Thương. Báo cáo Logistics Việt Nam 2023. Hà Nội, Việt Nam. Nhà xuất bản Công Thương. 2023.
- [3] EH Frazelle. World-Class Warehousing and Material Handling, 2nd ed. New York, USA: McGraw-Hill Education. 2016.
- [4] Savills Việt Nam. Báo cáo thị trường Bất động sản Công nghiệp và Logistics Việt Nam. TP. Hồ Chí Minh. 2023.

- [5] Bộ Giao thông Vận tải. Quyết định số 1579/QĐ-TTg phê duyệt Quy hoạch tổng thể phát triển hệ thống cảng biển Việt Nam thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050. Hà Nội. 2021.
- [6] B Rouwenhorst, B Reuter, V Stockrahm, I van Houtum, RJ Mantel, and WHM Zijm. Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*. 2000; 122(3):515-533.
- [7] S Derhami, JS Smith, and KR Gue. A simulation-based optimization approach to design optimal layouts for block stacking warehouses. *International Journal of Production Economics*. 2020; 223:107526.
- [8] R de Koster, T Le-Duc, and Y Yu. Optimal warehouse design and managing routing and storage operations: A review. *International Journal of Production Economics*. 2007; 105(1):2-32.
- [9] A Grigoryev. AnyLogic 8 in Three Days: A Quick Course in Simulation Modeling. Chicago, USA: AnyLogic North America. 2021.
- [10] HJ Carlo, IFA Vis, and KJ Roodbergen. Transport operations in container terminals: Literature overview, trends, and research directions. *European Journal of Operational Research*. 2014;236(3): 780-793.
- [11] EM Goldratt and J Cox. *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*, 3rd ed. Great Barrington, USA: North River Press. 2004.
- [12] AM Law, *Simulation Modeling and Analysis*, 5th ed. New York, USA: McGraw-Hill Education, 2014.
- [13] JA Tompkins, JA White, YA Bozer, and JMA Tanchoco. *Facilities Planning*, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Son. 2010.