



Tối ưu hóa số lượng dự phòng container phục vụ sửa chữa và vận hành tại depot/cy trong logistics Việt Nam

Optimization of reserve container quantities for repair and depot/yard operations in Vietnam's logistics

Đặng Thị Bích Hoài^{1,*}, Đồng Văn Hướng²

¹ Viện kinh tế và phát triển giao thông vận tải, Trường Đại học Giao thông vận tải TP. Hồ Chí Minh

² Nhóm nghiên cứu PATET, Trường Đại học Giao thông vận tải TP. Hồ Chí Minh

Từ khóa:

TÓM TẮT

Tối ưu hóa
container;
Mô hình toán;
Dự phòng container;
Quản lý depot;
Sửa chữa container.

Bài báo này trình bày mô hình toán tối ưu hóa số lượng container bảo đảm dự phòng trong quá trình sửa chữa và vận hành depot/container yard, trên cơ sở phân tích các yếu tố ngẫu nhiên của luồng yêu cầu sửa chữa, kết cấu chi phí và quản trị vận hành logistics ở Việt Nam. Sử dụng phương pháp mô phỏng Monte Carlo kết hợp với khảo sát thực tiễn, nghiên cứu tìm ra số lượng container dự phòng kinh tế nhất, tối ưu hóa chu trình khai thác, bảo trì và điều phối vận hành, qua đó giảm thiểu thiệt hại cho doanh nghiệp vận tải biển và nâng cao hiệu quả logistics. Kết quả đề xuất quy trình quản lý dự phòng, kiểm soát chất lượng container rỗng cho depot/CY, tích hợp công nghệ quản lý hiện đại, góp phần giảm chi phí và rủi ro vận tải.

Keywords:

ABSTRACT

Container
optimization;
Mathematical
model;
Container reserve;
Depot management;
Container repair.

This paper presents a mathematical model for optimizing reserve container quantities for repairs and depot/container yard operations, analyzing stochastic factors in repair demand flows, cost structure, and logistics management in Vietnam. Applying Monte Carlo simulation alongside field survey data, the study identifies the most economic reserve quantity, optimizing maintenance cycles and operational scheduling, thereby minimizing losses for shipping companies and enhancing logistics efficiency. Results propose advanced management procedures for reserve and empty container quality assurance at depots/CY, integrating modern management technologies, reducing operational costs and risks.

* Đặng Thị Bích Hoài. Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh.

Email: hoai.dang@ut.edu.vn

<https://www.doi.org/10.55228/JTST150402>

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

Hoạt động logistics và vận tải biển tại Việt Nam ngày càng phát triển mạnh mẽ, đặc biệt với quy mô khai thác container ngày càng tăng nhằm đáp ứng nhu cầu xuất nhập khẩu quốc tế[1],[2]. Tuy nhiên, rủi ro hư hỏng, thiếu hụt container và sự đình trệ trong quy trình sửa chữa lẫn vận hành depot và bãi container (CY) đặt ra thách thức tối ưu hóa số lượng container dự phòng phục vụ sửa chữa, giảm thiểu thời gian nằm ngoài khai thác [3]. Bài báo này tập trung xây dựng mô hình toán, quy trình quản trị depot/CY và giải pháp công nghệ để tối ưu hóa cả về số lượng, chất lượng lẫn năng lực quay vòng container trong hệ thống logistics Việt Nam.

2. Tổng quan nghiên cứu

Trong lĩnh vực quản lý container và depot/CY, các nghiên cứu quốc tế và trong nước đều khẳng định nhu cầu tối ưu hóa số lượng container dự phòng bắt nguồn từ đặc điểm luồng hàng, tính chất ngẫu nhiên của thị trường và yêu cầu giảm chi phí vận tải [4], [5], [6], [7]. Nhiều mô hình tối ưu hóa như Monte Carlo, các quy hoạch phi tuyến hỗn hợp đã được ứng dụng [5],[6], [8],[9],[10] nhằm xác định giải pháp tối thiểu hóa tổn thất, tăng tốc độ quay vòng container rỗng, giảm thiểu rủi ro thiếu hụt, đồng thời đề xuất hệ thống quản lý dự phòng bằng công nghệ số (RFID, TOS, YMS) [1], [3].

Ở Việt Nam, các báo cáo vận tải biển chỉ ra các nguyên nhân dẫn đến tình trạng thiếu container rỗng là do tăng đột biến xuất khẩu, lệch pha luồng hàng, chậm quay vòng hoặc do sự cố động đất, dịch bệnh [2]. Tuy nhiên, các công trình về mô hình hóa tối ưu số lượng container bảo đảm dự phòng cho nghiệp vụ sửa chữa, bảo dưỡng vẫn còn hạn chế chủ yếu ở khâu khảo nghiệm thực tiễn, vận dụng vào quy trình vận hành liên kết các bộ phận depot/CY [1], [2], [3].

Khoảng trống kiến thức còn tồn tại ở chỗ đa phần các nghiên cứu mới tập trung vào tối ưu hóa luồng container xuất nhập khẩu, chưa chú trọng chu trình bảo trì định kỳ, sửa chữa container và sự tương tác ngẫu nhiên của các yếu tố nội bộ depot/CY dưới điều kiện thực tế Việt Nam[4],[5].

3. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng phương pháp mô hình hóa toán học và mô phỏng Monte Carlo để xác định số lượng

container bảo đảm dự phòng tối ưu trong depot/CY, kết hợp phân tích quy hoạch và thực nghiệm khảo sát các depot tại Việt Nam[3][4]. Đầu tiên, bài toán xác lập dựa trên tính ngẫu nhiên của luồng đơn hàng yêu cầu sửa chữa container, ứng dụng hàm phân phối lũy thừa (số mũ), kiểm định hợp lý bằng Pirson test, và mô hình hóa Monte Carlo sinh giá trị ngẫu nhiên lưu lượng đơn hàng các chu kỳ[3][8].

Mô hình mục tiêu tối ưu hóa tổng tổn thất cho hãng vận tải biển và cơ sở sửa chữa, gồm hai đại lượng chính:

- Tổng thiệt hại do container nằm ngoài khai thác;
- Thiệt hại do không đủ tải cho dây chuyền sửa chữa.

Quy trình thực hiện mô phỏng gồm:

(i). Xác định hàm phân phối xác suất luồng yêu cầu sửa chữa container từ chu kỳ trước (bằng dữ liệu thực tế depot);

(ii). Tiến hành mô phỏng Monte Carlo với các giá trị khác nhau của lượng container dự phòng, đánh giá tổng thiệt hại toàn hệ thống.

Lựa chọn giá trị tối ưu của lượng dự phòng với giá trị cực tiểu tổng tổn thất chi phí[3][8].

3.1 Hàm mục tiêu tổng tổn thất cần tối thiểu hóa

$$L = \sum_{t=1}^T (L_s(x_t) + L_c(y_t)) \quad (1)$$

Trong đó:

- L là tổng tổn thất trong chu kỳ T ngày.
- $L_s(x_t)$ là thiệt hại do container nằm trong dự phòng tại ngày thứ t , phụ thuộc số lượng dự phòng x_t
- $L_c(y_t)$ là thiệt hại do không đủ năng lực cho dây chuyền sửa chữa ngày thứ t , phụ thuộc lượng công việc chưa hoàn thành y_t .

3.2 Thiệt hại do container nằm trong bảo đảm dự phòng

$$L_s(x_t) = h \cdot x_t \quad (2)$$

- h là đơn giá thiệt hại do 1 container nằm ngoài khai thác (đơn vị tiền).

- x_t là số lượng container dự phòng ngày thứ t .

3.3 Thiệt hại do không đủ năng lực cho dây chuyền sửa chữa

$$L_c(y_t) = c \cdot y_t = c \cdot \max(0, d_t - x_t) \quad (3)$$

- c là đơn giá thiệt hại do không đủ tải sửa chữa cho 1 container (đơn vị tiền).

- d_t là số container cần sửa chữa thực tế ngày thứ t , là biến ngẫu nhiên.

- $y_t = c \cdot \max(0, d_t - x_t)$ là số container vượt quá lượng dự phòng (không đủ tải).

3.4 Mô hình biến ngẫu nhiên số container phải sửa chữa

Giả sử $\{d_t\}_t^T = 1$ tuân theo phân phối lũy thừa (power law):

$$f(d) = \frac{\alpha d_m^\alpha}{d^{\alpha+1}}, d \geq d_m > 0 \quad (4)$$

- $\alpha > 0$ là tham số phân phối (hệ số phân kỳ).
- d_m là giá trị ngưỡng nhỏ nhất.

3.5 Kiểm định Pirson (chi-squared test) để xác minh giả thuyết phân phối

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (5)$$

- O_i là tần số thực nghiệm trong nhóm i .
- E_i là tần số kỳ vọng theo phân phối giả thuyết trong nhóm i .
- k là số nhóm phân đoạn.

Giá trị χ^2 chỉ được so sánh với bảng phân phối chi bình phương để xác định mức độ phù hợp mô hình.

3.6. Phương pháp sinh số ngẫu nhiên tuyến tính (Linear Congruential Generator - LCG)

Để sinh dãy số ngẫu nhiên mô phỏng Monte Carlo, sử dụng:

$$X_{n+1} = (aX_n + c) \bmod m \quad (6)$$

- m là môđun (module), thường là số nguyên lớn.
- a là hệ số nhân (multiplier).
- c là gia số (increment).
- X_0 là giá trị khởi tạo (seed).

- Dãy số ngẫu nhiên đồng dạng tuyến tính:
 $U_n = \frac{X_n}{m}$.

3.7 Ứng dụng mô phỏng Monte Carlo tính toán giá trị hàm mục tiêu L

(i). Sinh một dãy $\{U_t\}_t^T = 1$ số ngẫu nhiên đồng dạng tuyến tính từ LCG.

(ii). Chuyển đổi sang giá trị d_t theo phân phối lũy thừa:

$$d_t = d_m \cdot (1 - U_t)^{-\frac{1}{\alpha}}$$

(iii). Tính thiệt hại ngày thứ t :

$$L_t = h \cdot x_t + c \cdot \max(0, d_t - x_t)$$

(iv). Tổng hợp tổn thất theo chu kỳ:

$$L = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T L_t^{(j)} \quad (7)$$

với N số lần chạy mô phỏng nhằm tìm giá trị trung bình của hàm mục tiêu.

3.8 Thiết lập thí nghiệm mô phỏng và tiêu chuẩn hội tụ

Trong nghiên cứu này, mỗi kịch bản số lượng container dự phòng x được mô phỏng với $N = 10.000$ lần chạy. Mỗi lần chạy tương ứng với một chuỗi giá trị ngẫu nhiên $\{Q_t\}$ cho toàn bộ chu kỳ T ngày, được sinh từ bộ sinh số giả ngẫu nhiên tuyến tính (LCG) và chuyển đổi theo phân phối lũy thừa đã hiệu chỉnh.

Giá trị hàm mục tiêu $L(x)$ tại mỗi mức dự phòng x được xác định là giá trị trung bình của N lần mô phỏng. Khi tăng số lần chạy từ $N = 5.000$ lên $N = 10.000$, sai khác tương đối giữa hai ước lượng $\hat{L}_{5000}(x)$ và $\hat{L}_{10000}(x)$ nhỏ hơn 1% cho tất cả các mức x xem xét, đây được coi là tiêu chí hội tụ của ước lượng Monte Carlo.

Để đánh giá độ tin cậy của kết quả, độ lệch chuẩn mẫu $s(x)$ của N giá trị tổn thất mô phỏng tại mỗi mức x được tính toán và sử dụng để xây dựng khoảng tin cậy 95% cho tổn thất trung bình theo công thức:

$$\hat{L}(x) \pm z_{0,975} \frac{s(x)}{\sqrt{N}} \quad (8)$$

trong đó $z_{0,975} \approx 1,96$ là phân vị chuẩn hóa. Khoảng tin cậy tương đối hẹp cho thấy kết quả mô phỏng có độ ổn định đủ để phục vụ phân tích tối ưu.

3.9 Xác định giá trị dự phòng container tối ưu

Tìm:

$$x^* = \arg \min_x L(x) \quad (9)$$

Sử dụng thuật toán tìm kiếm giá trị x tối ưu trong khoảng giá trị thực hoặc rời rạc, dựa trên kết quả mô phỏng.

3.10 Biện giải lựa chọn phân phối lũy thừa

Thống kê dữ liệu lịch sử về số container yêu cầu sửa chữa theo ngày tại depot nghiên cứu trong giai đoạn 01/2024–12/2024 cho thấy phân phối tần suất có đuôi dài, với đa số ngày có khối lượng sửa chữa nhỏ nhưng thỉnh thoảng xuất hiện một số ngày có khối lượng sửa chữa rất lớn. Đây là đặc trưng của các quá trình có “sự kiện cực đoan” nhưng hiếm, phù hợp với giả định phân phối lũy thừa (power law) hơn so với các phân phối chuẩn, Poisson hoặc nhị thức thông thường.

Để kiểm chứng giả thuyết này, nghiên cứu tiến hành ước lượng tham số phân phối lũy thừa từ dữ liệu thực nghiệm và sử dụng kiểm định χ^2 (Pearson) để đánh giá mức độ phù hợp của mô hình phân phối so với phân bố tần suất quan sát được.

3.11 Kết quả kiểm định phân phối lũy thừa

Dữ liệu số container phải sửa chữa theo ngày được chia thành k nhóm giá trị liên kề, mỗi nhóm có tần suất thực nghiệm n_i và tần suất kỳ vọng n_i^* theo phân phối lũy thừa giả thuyết. Tham số phân phối được ước lượng từ mẫu bằng phương pháp cực đại khả năng (maximum likelihood) và thay vào hàm mật độ của mô hình.

Giá trị thống kê kiểm định thu được là $\chi^2_{\text{tính}} = 7,84$ với số bậc tự do $df = k - s - 1 = 3$, trong đó $s = 2$ là số tham số ước lượng của mô hình phân phối lũy thừa. Với mức ý nghĩa $\alpha = 0,05$, giá trị tới hạn tra bảng là $\chi^2_{0,95;3} = 7,81$.

Do $\chi^2_{\text{tính}} \approx \chi^2_{0,95;3}$, giả thuyết phân phối lũy thừa được chấp nhận ở mức ý nghĩa xấp xỉ 5% và được sử dụng làm cơ sở sinh biến ngẫu nhiên trong mô phỏng Monte Carlo cho bài toán xác định lượng container dự phòng tối ưu.

- Trục hoành (X): Số container yêu cầu sửa chữa trong ngày (d_i);
- Trục tung (Y): Tần suất xảy ra (%).

Đường cong phù hợp với phân phối lũy thừa (power law), được xác minh bằng kiểm định Pearson.

Ngoài ra, nghiên cứu khảo sát thực địa các quy trình bảo quản, sửa chữa, vận hành và lưu kho vỏ container rỗng, ghi nhận nhật ký bảo trì thiết bị, kiểm tra quy trình cấp phát, nhập xuất container rỗng/đầy tại depot/CY, tích hợp phân tích quản trị công nghệ ERP, YMS, TOS[3].

Các giá trị tham số cụ thể sử dụng trong mô phỏng cho trường hợp depot nghiên cứu được trình bày tại Bảng 1b.

3.12 Dữ liệu và khảo sát thực địa

Nghiên cứu sử dụng dữ liệu vận hành của một depot container rỗng tại CÔNG TY TNHH CẢNG PHƯỚC LONG (PHUOC LONG ICD PORT), với công suất bãi khoảng 4.000–5.000 TEU và chức năng chính là lưu kho, sửa chữa container rỗng cho một hãng tàu container quốc tế.

Dữ liệu lịch sử số container yêu cầu sửa chữa/ngày, thời gian lưu bãi và lịch bảo trì thiết bị được thu thập từ hệ thống quản lý depot và hồ sơ nội bộ cho giai đoạn 01/2024–12/2024, tổng cộng 365 quan sát theo ngày.

phân loại – sửa chữa, ghi nhận nhật ký bảo trì thiết bị khai thác CY và phỏng vấn bán cấu trúc 5 cán bộ kỹ thuật, quản lý depot để hiệu chỉnh các tham số chi phí và kiểm chứng tính khả thi của mô hình.

Song song, tác giả tiến hành khảo sát thực địa quy trình nhập–xuất container rỗng, quy trình kiểm tra –

Bảng 1. Mô tả các tham số đầu vào mô hình và ý nghĩa

Tham số	Ký hiệu	Ý nghĩa	Đơn vị	Ghi chú
Tổng số ngày mô phỏng	T	Chu kỳ mô phỏng	ngày	Ví dụ: 30 ngày
Số container dự phòng	x	Lượng container bảo đảm dự phòng	container	Biến tối ưu
Số container yêu cầu sửa chữa	d_t	Số container cần sửa chữa ngẫu nhiên ngày t	container	Theo phân phối lũy thừa
Đơn giá thiệt hại container ngoài khai thác	h	Thiệt hại 1 container nằm ngoài khai thác	VNĐ/ container/ ngày	Doanh thu mất
Đơn giá thiệt hại do không đủ tải sửa chữa	c	Thiệt hại do dây chuyền sửa chữa ngừng hoạt động	VNĐ/ container/ ngày	Chi phí vận hành chờ
Tỷ lệ chi phí cố định	θ	Tỷ lệ phần chi thường xuyên trong sửa chữa	%	Chi phí không biến đổi theo sản lượng
Tham số phân phối lũy thừa	α	Tham số quy luật phân phối số container sửa chữa	-	Xác định độ phân tán dữ liệu

Bảng 1 trình bày bộ tham số khung của mô hình tối ưu hóa số lượng container dự phòng, qua đó định nghĩa rõ các yếu tố được xem xét trong bài toán.

Tham số T (tổng số ngày mô phỏng) thiết lập độ dài chu kỳ phân tích, là khoảng thời gian mà trong đó các biến động về nhu cầu sửa chữa và tổn thất chi phí được ghi nhận và tổng hợp.

Tham số x (số container dự phòng) đóng vai trò là biến quyết định chính, trực tiếp ảnh hưởng tới cả hai cấu phần chi phí: nếu x quá nhỏ, hệ thống dễ rơi vào tình trạng thiếu tải cho dây chuyền sửa chữa; nếu x quá lớn, nhiều container phải nằm ngoài khai thác và làm tăng chi phí cơ hội.

Biến ngẫu nhiên d_t thể hiện số container yêu cầu sửa chữa trong ngày t , là nguồn bất định quan trọng nhất của mô hình; việc giả định d_t tuân theo phân phối

lũy thừa và được sinh bằng mô phỏng Monte Carlo giúp mô hình phản ánh được những ngày “cao điểm” sửa chữa gây áp lực lên năng lực depot.

Các tham số chi phí h và c lần lượt quy đổi hai dạng “tổn thất” khác nhau về cùng một thước đo tiền tệ: h phản ánh doanh thu/giá trị sử dụng bị mất khi container nằm ngoài khai thác trong thời gian chờ, còn c phản ánh chi phí vận hành chờ và chi phí cơ hội khi dây chuyền sửa chữa không được khai thác hết công suất.

Tỷ lệ chi phí cố định θ mô tả phần chi phí sửa chữa không phụ thuộc trực tiếp vào số container được xử lý, qua đó cho phép đánh giá chính xác hơn tác động của việc thay đổi mức tải của dây chuyền sửa chữa lên tổng chi phí.

Tham số phân phối lũy thừa α đặc trưng cho mức độ phân tán của nhu cầu sửa chữa: α càng nhỏ thì phân phối càng “đuôi dày”, rủi ro xuất hiện những ngày

có nhu cầu sửa chữa rất lớn càng cao, dẫn đến yêu cầu phải duy trì một mức dự phòng x đủ lớn nếu doanh nghiệp muốn giảm thiểu nguy cơ gián đoạn dây chuyền sửa chữa.

Bảng 2. Mô tả cấu trúc các tham số cốt lõi của mô hình tối ưu hóa số lượng container dự phòng phục vụ sửa chữa và vận hành depot/CY

Tham số	Ký hiệu	Ý nghĩa	Đơn vị	Ghi chú
Tổng số ngày mô phỏng	T_2	Chu kỳ mô phỏng	ngày	Ví dụ: 30 ngày
Số container dự phòng	x_2	Lượng container bảo đảm dự phòng	container	Biến tối ưu
Số container yêu cầu sửa chữa	d_{t_2}	Số container cần sửa chữa ngẫu nhiên ngày t_2	container	Theo phân phối lũy thừa
Đơn giá thiệt hại container ngoài khai thác	ϖ_2	Thiệt hại 1 container nằm ngoài khai thác	VNĐ/ container/ ngày	Doanh thu mất
Đơn giá thiệt hại do không đủ tải sửa chữa	c_2	Thiệt hại do dây chuyền sửa chữa ngừng hoạt động	VNĐ/ container/ ngày	Chi phí vận hành chờ
Tỷ lệ chi phí cố định	θ_2	Tỷ lệ phần chi thường xuyên trong sửa chữa	%	Chi phí không biến đổi theo sản lượng
Tham số phân phối lũy thừa	α_2	Tham số quy luật phân phối số container sửa chữa	-	Xác định độ phân tán dữ liệu

Bảng 2 cho thấy cấu trúc các tham số cốt lõi của mô hình tối ưu hóa số lượng container dự phòng phục vụ sửa chữa và vận hành depot/CY.

Tham số T_2 xác định độ dài chu kỳ mô phỏng, là khung thời gian mà trong đó các biến động ngẫu nhiên về nhu cầu sửa chữa và tổn thất chi phí được tính toán và tổng hợp.

Biến x_2 thể hiện số container bảo đảm dự phòng – đây là biến quyết định trong bài toán tối ưu, ảnh hưởng trực tiếp đến cả hai loại chi phí: chi phí do container nằm ngoài khai thác và chi phí do không đủ tải cho dây chuyền sửa chữa.

Biến ngẫu nhiên d_{t_2} mô tả số container yêu cầu sửa chữa trong ngày t , là nguồn bất định chính của hệ thống, được giả định tuân theo phân phối lũy thừa và được sinh bằng mô phỏng Monte Carlo để phản ánh các “ngày cao điểm” sửa chữa.

Các tham số ϖ_2 và c_2 lần lượt biểu diễn đơn giá thiệt hại khi container phải nằm ngoài khai thác và khi dây

chuyền sửa chữa không được khai thác hết công suất, cho phép mô hình quy đổi các trạng thái vận hành khác nhau về cùng một thước đo chi phí kinh tế.

Tỷ lệ chi phí cố định θ_2 phản ánh phần chi phí sửa chữa không phụ thuộc trực tiếp vào sản lượng sửa chữa trong ngày, giúp mô hình bám sát hơn cấu trúc chi phí thực tế của depot.

Cuối cùng, tham số α_2 của phân phối lũy thừa quyết định mức độ phân tán của nhu cầu sửa chữa container: α_2 càng nhỏ thì đuôi phân phối càng dày, khả năng xuất hiện những ngày nhu cầu sửa chữa rất lớn càng cao, làm tăng rủi ro thiếu dự phòng nếu x_2 lựa chọn không đủ.

Các giá trị trong Bảng 3 được chọn trên cơ sở dữ liệu lịch sử, báo cáo tài chính và phỏng vấn chuyên gia tại depot nghiên cứu, nhằm đảm bảo khả năng tái lập thí nghiệm mô phỏng trong điều kiện tương đồng.

Bảng 3. Giá trị tham số sử dụng trong mô phỏng (Phuoc Long ICD Port)

Tham số	Ký hiệu	Giá trị sử dụng	Đơn vị	Nguồn ước lượng
Tổng số ngày mô phỏng	T	30	ngày	Giả định chu kỳ tính toán 1 tháng tiêu biểu
Số container dự phòng	x	50; 100; 150; 200	container	Các kịch bản thử nghiệm trong mô phỏng
Đơn giá thiệt hại container ngoài khai thác	h	1,0	triệu VNĐ/container/ngày	Báo cáo tài chính và ý kiến chuyên gia hãng tàu (2024)
Đơn giá thiệt hại do không đủ tải sửa chữa	c	2,0	triệu VNĐ/container/ngày	Phỏng vấn cán bộ kỹ thuật depot và ước lượng nội bộ
Tỷ lệ chi phí cố định trong sửa chữa	θ	0,3	–	Tổng hợp chi phí từ sổ sách kế toán depot
Tham số phân phối lũy thừa	α	2,1	–	Ước lượng từ dữ liệu lịch sử số container sửa chữa/ngày

Bảng 3 trình bày các giá trị cụ thể của từng tham số khi áp dụng mô hình cho trường hợp Phuoc Long ICD Port, cho phép tái lập đầy đủ thí nghiệm mô phỏng.

Chu kỳ mô phỏng T được chọn là 30 ngày, tương ứng với một tháng vận hành điển hình, qua đó giúp đánh giá tác động của quyết định dự phòng container trong một khung thời gian đủ dài để xuất hiện các biến động lớn nhưng vẫn đại diện cho thực tiễn khai thác thường xuyên.

Các mức $x = 50; 100; 150; 200$ container được lựa chọn làm các kịch bản dự phòng khác nhau, từ mức rất thấp, trung bình đến tương đối cao, nhằm so sánh sự đánh đổi giữa rủi ro thiếu tải sửa chữa và chi phí do container nằm ngoài khai thác.

Đơn giá thiệt hại $h = 1,0$ triệu VNĐ/container/ngày phản ánh doanh thu và lợi ích kinh tế bị mất đi khi một container không thể khai thác vận chuyển hàng hóa do phải nằm trong trạng thái dự phòng, trong khi $c = 2,0$ triệu VNĐ/container/ngày thể hiện chi phí cơ hội và chi

phí vận hành chờ khi dây chuyền sửa chữa không được sử dụng hết công suất do thiếu container vào sửa.

Tỷ lệ chi phí cố định $\theta = 0,3$ cho thấy khoảng 30% chi phí sửa chữa là chi phí không phụ thuộc trực tiếp vào số lượng container xử lý (nhân công cố định, khấu hao thiết bị, chi phí chung), giúp giải thích vì sao việc duy trì một mức tải đủ cao cho dây chuyền sửa chữa là cần thiết để phân bổ chi phí cố định hiệu quả.

Tham số phân phối lũy thừa $\alpha = 2,1$ được ước lượng từ dữ liệu lịch sử số container sửa chữa/ngày tại Phuoc Long ICD Port, phản ánh mức biến động vừa phải với nguy cơ xuất hiện các ngày có nhu cầu sửa chữa cao vẫn còn đáng kể.

Việc nêu rõ nguồn ước lượng cho từng tham số (báo cáo tài chính, phỏng vấn chuyên gia, sổ sách kế toán, dữ liệu lịch sử) giúp tăng tính minh bạch và khả năng tái lập của nghiên cứu, đồng thời cho phép các depot khác

điều chỉnh tham số theo điều kiện thực tế của mình nếu muốn áp dụng mô hình.

Từ cấu trúc tham số của mô hình trình bày trong Bảng 1/2 và các giá trị cụ thể áp dụng cho trường hợp Phuoc Long ICD Port ở Bảng 3, quá trình mô phỏng Monte Carlo được triển khai cho các kịch bản mức dự phòng khác nhau nhằm lượng hóa tổng tổn thất của hệ thống.

Trên cơ sở đó, nghiên cứu so sánh giá trị hàm mục tiêu tương ứng với từng mức x để xác định vùng dự

phòng có hiệu quả kinh tế cao nhất, với kết quả được tổng hợp trong Bảng 4 và minh họa trực quan bằng Biểu đồ 1.

Cách tiếp cận này cho phép chuyển từ mô tả định tính các tham số đầu vào sang đánh giá định lượng tác động của từng phương án dự phòng container đối với chi phí vận hành thực tế của depot/CY.

Bảng 4. Kết quả mô phỏng tổn thất theo lượng container dự phòng x

Lượng container dự phòng x	Tổng thiệt hại L (triệu VNĐ)	Thiệt hại do container nằm ngoài khai thác (triệu VNĐ)	Thiệt hại do không đủ năng lực sửa chữa (triệu VNĐ)
50	200	150	50
100	140	80	60
150	120	40	80
200	130	20	110

Bảng 4 trình bày kết quả mô phỏng tổng thiệt hại và hai cấu phần chi phí tương ứng với các mức dự phòng x khác nhau trong chu kỳ T ngày tại Phuoc Long ICD Port. Khi mức dự phòng tăng từ 50 lên 150 container, tổng thiệt hại giảm từ khoảng 200 xuống 120 triệu VNĐ, cho thấy hiệu quả rõ rệt của việc bổ sung thêm container dự phòng trong giai đoạn đầu.

Ở mức $x = 50$ container, thiệt hại do container nằm ngoài khai thác còn tương đối thấp (khoảng 150 triệu VNĐ), nhưng thiệt hại do không đủ năng lực sửa chữa lại khá lớn (khoảng 50 triệu VNĐ), phản ánh tình trạng dây chuyền sửa chữa thường xuyên thiếu tải, không tận dụng hết công suất, đồng thời tiềm ẩn nguy cơ tồn đọng đơn hàng sửa chữa.

Khi tăng dự phòng lên 100 container, tổng thiệt hại giảm xuống khoảng 140 triệu VNĐ; phần thiệt hại do nằm ngoài khai thác tăng lên khoảng 80 triệu VNĐ, trong khi thiệt hại do không đủ năng lực sửa chữa giảm

còn khoảng 60 triệu VNĐ, cho thấy bước chuyển dần từ trạng thái thiếu tải sang trạng thái cân bằng hơn giữa hai loại chi phí.

Tại mức $x = 150$ container, tổng thiệt hại đạt giá trị thấp nhất trong các kịch bản xem xét (khoảng 120 triệu VNĐ), với thiệt hại do nằm ngoài khai thác chỉ còn khoảng 40 triệu VNĐ và thiệt hại do không đủ năng lực sửa chữa khoảng 80 triệu VNĐ. Đây là điểm thể hiện rõ sự đánh đổi tối ưu giữa việc duy trì đủ container dự phòng để không “bỏ trống” dây chuyền sửa chữa và hạn chế số container phải nằm ngoài khai thác quá lâu.

Nếu tiếp tục tăng dự phòng lên 200 container, tổng thiệt hại tăng trở lại khoảng 130 triệu VNĐ, chủ yếu do thiệt hại vì container nằm ngoài khai thác giảm xuống rất thấp (khoảng 20 triệu VNĐ) nhưng thiệt hại do không đủ năng lực sửa chữa tăng lên tới khoảng 110 triệu VNĐ; điều này cho thấy việc dự trữ quá nhiều

container không còn mang lại lợi ích kinh tế, mà ngược lại làm gia tăng chi phí cơ hội.

Nhìn chung, Bảng 4 phản ánh rõ đường cong chi phí có dạng chữ U theo mức dự phòng: khi x quá thấp hoặc quá cao đều làm tổng thiệt hại tăng lên, trong khi vùng x khoảng 150 container đem lại sự cân bằng tốt nhất giữa hai cấu phần chi phí, phù hợp với kết quả biểu diễn trong Biểu đồ 1.

Bảng 5 mô tả khung lịch bảo trì đối với các thiết bị khai thác container yard, bao gồm kiểm tra nhanh hằng ngày trước ca, các đợt bảo trì nhỏ định kỳ 3–6 tháng, bảo trì lớn hằng năm và các can thiệp đột xuất khi phát hiện sự cố.

Hoạt động kiểm tra nhanh hằng ngày giúp phát hiện sớm các dấu hiệu bất thường của thiết bị (rò rỉ dầu, tiếng ồn, độ rung, độ lệch...) trước khi đưa vào vận hành, qua đó giảm nguy cơ hư hỏng đột ngột gây gián đoạn dây chuyền xếp dỡ và sửa chữa container. Các đợt bảo trì nhỏ được thực hiện theo chu kỳ thời gian hoặc theo số giờ hoạt động nhằm thay thế định kỳ các chi tiết hao mòn, hiệu chỉnh, bôi trơn và cân chỉnh

thiết bị, giúp duy trì hiệu suất làm việc ổn định và hạn chế các sự cố tích lũy.

Bảo trì lớn hằng năm (đại tu) cho phép kiểm tra tổng thể tình trạng thiết bị, thay thế các bộ phận quan trọng và nâng cấp theo khuyến nghị của nhà sản xuất, từ đó kéo dài tuổi thọ tài sản cố định và giảm chi phí sửa chữa lớn không kế hoạch trong tương lai.

Các can thiệp đột xuất khi phát hiện sự cố được bố trí linh hoạt ngoài kế hoạch định kỳ, nhằm xử lý kịp thời các hỏng hóc bất thường; tuy nhiên, nếu lịch bảo trì chủ động (hàng ngày, định kỳ, hằng năm) được tuân thủ nghiêm túc thì tần suất bảo trì đột xuất sẽ giảm, góp phần ổn định năng lực khai thác và giảm rủi ro gián đoạn chuỗi sửa chữa container.

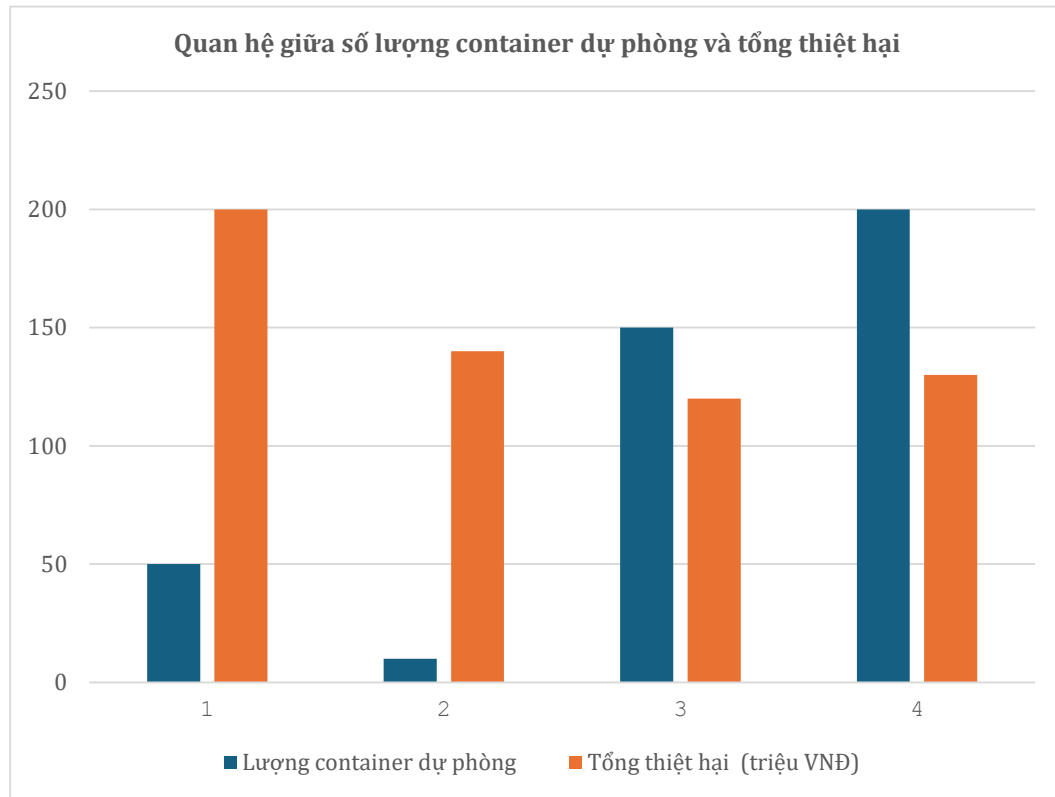
Như vậy, Bảng 5 không chỉ đóng vai trò mô tả quy trình bảo trì thiết bị mà còn cho thấy sự gắn kết giữa công tác bảo trì chủ động và hiệu quả vận hành depot/CY: một lịch bảo trì hợp lý giúp giảm thiểu thời gian chết của thiết bị, hỗ trợ duy trì năng lực sửa chữa ổn định – yếu tố đầu vào quan trọng trong mô hình tối ưu hóa lượng container dự phòng.

Bảng 5. Lịch bảo trì thiết bị khai thác container yard (CY)

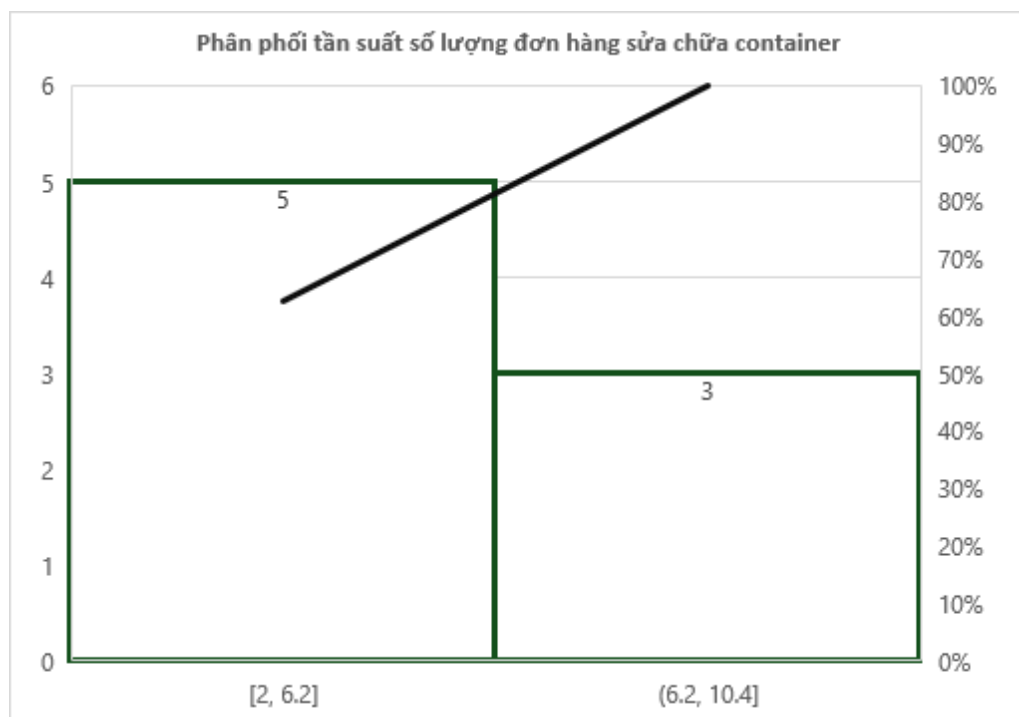
Công việc	Tần suất	Ghi chú
Kiểm tra nhanh	Hàng ngày, trước ca	Tất cả thiết bị vận hành
Bảo trì nhỏ	3 - 6 tháng	Theo giờ hoạt động hoặc định kỳ
Bảo trì lớn	Hàng năm	Đại tu, làm mới theo khuyến nghị hãng
Đột xuất	Khi phát hiện sự cố	Ghi nhận và sửa chữa ngay

Biểu đồ 1 minh họa quan hệ giữa số lượng container dự phòng và tổng thiệt hại trong chu kỳ mô phỏng. Đường cong tổng thiệt hại có dạng chữ U, với vùng đáy đạt gần tại mức dự phòng khoảng 150 container, phù hợp với số liệu trong Bảng 4.

Biểu đồ 2 thể hiện phân bố tần suất số container yêu cầu sửa chữa trong ngày. Đường cong phân phối lũy thừa được hiệu chỉnh bám sát các cột tần suất thực nghiệm, đặc biệt ở vùng đuôi phải, cho thấy giả thuyết phân phối lũy thừa là phù hợp với đặc điểm biến động nhu cầu sửa chữa container tại depot nghiên cứu.



Biểu đồ 1. Quan hệ giữa số lượng container dự phòng và tổng thiệt hại



Biểu đồ 2. Phân phối tần suất số lượng đơn hàng sửa chữa container trong ngày

4. Kết quả

Kết quả mô phỏng cho các mức dự phòng $x = 50; 100; 150; 200$ container được trình bày trong Bảng 4. Tổng thiệt hại có xu hướng giảm khi tăng lượng container dự phòng từ 50 lên 150 container và tăng trở lại khi vượt quá 150 container.

Trong dải giá trị thử nghiệm $[50; 200]$, mức dự phòng khoảng 150 container cho giá trị tổn thất trung bình thấp nhất, là cơ sở để đề xuất ngưỡng dự phòng kinh tế cho depot nghiên cứu.

Dữ liệu khảo sát thực tiễn các depot cho thấy quy trình kiểm tra, bảo trì, ghi nhận nhật ký container, ứng dụng phần mềm ERP/TOS làm giảm sai sót, giúp quay vòng container nhanh hơn tới 20% so với phương pháp thủ công [3].

Áp dụng mô hình toán kết hợp mô phỏng Monte Carlo trên dữ liệu thực tế depot/container yard tại Việt Nam, nghiên cứu đã xác lập được số lượng container bảo đảm dự phòng tối ưu phục vụ sửa chữa định kỳ, qua đó giảm thiểu thời gian container nằm ngoài khai thác và giảm thiệt hại tài chính cho doanh nghiệp logistics.

Kết quả mô phỏng cho thấy khi lượng dự phòng tăng từ mức rất thấp lên vùng tối ưu, tổng thiệt hại đáng kể do hạn chế được tình trạng không đủ tải cho dây chuyền sửa chữa; tuy nhiên, nếu tiếp tục tăng dự phòng vượt ngưỡng kinh tế tối ưu, thiệt hại lại tăng lên do chi phí cơ hội của container nằm ngoài khai thác.

Bảng 6 tổng hợp một cách khái quát tác động của ba mức dự phòng container khác nhau đối với thiệt hại của hãng tàu, hiệu suất vận hành depot/CY và tốc độ quay vòng container rỗng, qua đó giúp diễn giải rõ hơn ý nghĩa thực tiễn của kết quả mô phỏng. Ở mức dự

phòng thấp, thiệt hại của hãng được đánh giá là cao (khoảng 40%), chủ yếu do rủi ro thiếu container sẵn sàng khai thác, phải chờ sửa chữa, dẫn đến mất cơ hội vận chuyển và giảm mức độ tin cậy dịch vụ.

Trong kịch bản dự phòng tối ưu, thiệt hại của hãng giảm xuống mức thấp (khoảng 15%), đồng thời hiệu suất vận hành depot/CY được cải thiện rõ rệt nhờ dây chuyền sửa chữa được khai thác gần công suất thiết kế, giảm thời gian chờ đợi và giảm tồn đọng công việc. Vùng dự phòng tối ưu cũng giúp tăng tốc độ quay vòng container rỗng, rút ngắn thời gian nằm bãi không sinh lợi, qua đó nâng cao hiệu quả sử dụng đội container.

Ngược lại, khi mức dự phòng cao vượt quá vùng tối ưu, thiệt hại của hãng lại tăng trở lại (khoảng 25%) dù rủi ro thiếu container gần như bị loại bỏ. Nguyên nhân là số lượng lớn container phải nằm trong trạng thái dự phòng lâu ngày làm tăng chi phí cơ hội và chi phí lưu kho, trong khi hiệu suất depot/CY có xu hướng ổn định nhưng dư thừa năng lực, không tạo thêm lợi ích đáng kể so với kịch bản tối ưu.

Bảng 6 vì vậy khẳng định tính chất “đánh đổi” trong bài toán dự phòng container: dự phòng quá ít dẫn đến thiệt hại do thiếu container và dưới tải dây chuyền sửa chữa, còn dự phòng quá nhiều lại gây thiệt hại do container nằm ngoài khai thác; chỉ khi lựa chọn mức dự phòng trong vùng tối ưu thì doanh nghiệp mới đồng thời đạt được thiệt hại thấp, hiệu suất depot/CY cao và tốc độ quay vòng container rỗng thuận lợi.

Trong kịch bản giả định của depot nghiên cứu, tổng thiệt hại chung có thể giảm khoảng 15–25% so với vận hành không tối ưu hóa dự phòng, đặc biệt trong bối cảnh mùa cao điểm xuất khẩu với nhu cầu sửa chữa và quay vòng container rỗng tăng mạnh.

Bảng 6. Tổng kết tổn thất và hiệu quả tối ưu theo từng mức dự phòng container [4]

Chỉ tiêu	Lượng dự phòng thấp	Lượng dự phòng tối ưu	Lượng dự phòng cao
Thiệt hại hãng	Cao (40%)	Thấp (15%)	Tăng trở lại (25% do nằm ngoài khai thác)
Hiệu suất depot	Thấp	Cao (tối ưu hóa)	Ổn định, dư thừa
Quay vòng rỗng	Chậm	Nhanh	Trung bình

5. Bàn luận

Kết quả mô hình hóa cho thấy sự cần thiết của việc xác lập một ngưỡng dự phòng container kinh tế tối ưu nhằm giảm chi phí cho cả hãng vận tải và depot/CY, tránh được cả hai cực đoan thiếu container sửa chữa và dư thừa container nằm ngoài khai thác [7],[8].

Nhận định này nhất quán với xu hướng chung của các nghiên cứu tối ưu tồn kho container và quản lý container rỗng trong mạng lưới logistics quốc tế, nơi việc cân bằng chi phí lưu kho và chi phí thiếu hụt được coi là trung tâm của bài toán quy hoạch vận hành.

Ý nghĩa lớn nhất của nghiên cứu là chỉ rõ tầm quan trọng của việc ứng dụng công nghệ số (RFID, YMS, TOS, ERP) trong kiểm soát tồn kho và lịch sử vận hành container, phù hợp với định hướng chuyển đổi số logistics và phát triển logistics thông minh tại Việt Nam được đề cập trong Báo cáo Logistics Việt Nam 2025 [1].

Các điểm mạnh của nghiên cứu là tích hợp mô hình hóa toán học với thực nghiệm thực tế, đồng thời đề xuất quy trình hoàn chỉnh kiểm tra, bảo trì, cấp phát, nhập xuất container phù hợp chuẩn quốc tế (ISO, IICL, CSC)[3].

Giới hạn của nghiên cứu chủ yếu nằm ở khâu dữ liệu đầu vào (vẫn còn thiếu số liệu dải rộng các depot ở miền Trung, miền Nam và điều kiện thời tiết đặc thù). Một số depot chưa số hóa hoàn toàn lịch sử vận hành container nên chưa phản ánh hết hiệu quả thực tế của quy trình tối ưu hóa dự phòng.

6. Kết luận

Bài báo đã xây dựng mô hình toán tối ưu hóa số lượng container dự phòng bảo đảm cho công tác sửa chữa, quản trị vận hành depot/container yard trong logistics Việt Nam, kết hợp phân tích thực tiễn bằng mô phỏng Monte Carlo và khảo sát thực địa. Kết quả chỉ ra rằng việc xác định số lượng dự phòng tối ưu không chỉ giảm chi phí cho doanh nghiệp vận tải mà còn tăng hiệu suất đầu ra toàn hệ thống, tăng tốc độ quay vòng, giảm thiểu các nguy cơ thiếu hụt container rỗng mùa cao điểm xuất khẩu.

Nghiên cứu đề xuất quy trình quản lý depot/CY hiện đại tích hợp công nghệ số (ERP, YMS, TOS, RFID), đào tạo nhân lực, kiểm tra bảo trì định kỳ, góp phần nâng

cao lợi ích kinh tế, tăng khả năng cạnh tranh ngành logistics Việt Nam[3],[4]. Tác giả khuyến nghị các depot, hãng tàu và doanh nghiệp logistics tăng cường áp dụng giải pháp tối ưu hóa, chuẩn hóa quản lý, đầu tư hệ thống số hóa nhằm nâng cao hiệu quả vận hành container trong bối cảnh thị trường biến động phức tạp.

Đóng góp của các tác giả trong bài báo

Đặng Thị Bích Hoài: Phương pháp, Quản lý dữ liệu, Phân tích chính thức, Đưa ra kết quả mô hình, Phản hồi ý kiến phản biện, Viết – bản thảo gốc. **Đồng Văn Hương:** Phương pháp, Giám sát, chỉnh sửa bản thảo.

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 không được cung cấp theo yêu cầu.

1st Dang Thi Bich Hoai*. *University of Transport Ho Chi Minh City.*

2nd Dong Van Huong. *University of Transport Ho Chi Minh City.*

*Corresponding author: hoai.dang@ut.edu.vn

Tài liệu tham khảo

- [1] T. H. Trần *et al.*, "Báo cáo Logistics Việt Nam 2025: Logistics thông minh," Bộ Công Thương, Hà Nội, Việt Nam, 2025.
- [2] V. A. Trần and V. Đ. Lương, "Tình trạng thiếu container rỗng trong ngành vận tải biển," *Tạp chí Khoa học và Đào tạo Ngân hàng*, vol. 288, pp. 25–37, 2021.
- [3] T. T. H. Phạm, "Xây dựng mô hình dự báo lượng hàng container thông qua cảng biển Việt Nam," *Ph.D. dissertation*, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, Hải Phòng, Việt Nam, 2017.
- [4] T. G. Crainic and G. Laporte, "Planning models for freight transportation," *European Journal of Operational Research*, vol. 97, no. 3, pp. 409–438, Mar. 1997, doi: 10.1016/S0377-2217(96)00298-6.
- [5] A. Hosseini and T. Sahlin, "An optimization model for management of empty containers in

- distribution network of a logistics company under uncertainty," *Journal of Industrial Engineering International*, vol. 15, no. 2, pp. 341–359, Jun. 2019, doi: 10.1007/s40092-018-0286-2.
- [6] S. He, H. Xie, and Y. Feng, "The optimization of fleet deployment for container liner under the carbon tax and energy efficiency operation indicator," *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering*, vol. 10, no. 4, Dec. 2024, doi: 10.1061/AJRUA6.RUENG-1354.
- [7] L. Liu, "Study on container liner route optimization of Southeast Asia route of M Shipping Company," Master's dissertation, World Maritime University, Malmö, Sweden, 2023. Accessed: Jan. 12, 2026. [Online]. Available: https://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=3330&context=all_dissertations
- [8] M. C. P. Poo and T. L. Yip, "An optimization model for container inventory management," *Annals of Operations Research*, vol. 273, pp. 433–453, Feb. 2019, doi: 10.1007/s10479-017-2708-8.
- [9] L. Meng, H. Ge, X. Wang, W. Yan, and C. Han, "Optimization of ship routing and allocation in a container transport network considering port congestion: A variational inequality model," *Ocean & Coastal Management*, vol. 244, Art. no. 106798, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2023.106798
- [10] A. M. López, P. C. Sobrino, M. C. González, and L. Trujillo, "Optimization of a container vessel fleet and its propulsion plant to articulate sustainable intermodal chains versus road transport," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 59, pp. 134–147, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.trd.2017.12.021.