



Tạp chí điện tử
Khoa học và Công nghệ Giao thông
Trang website: <https://jstt.vn/index.php/vn>



Article info

Type of article:

Original research paper

DOI:

<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2026.vn.6.7.116-132>

*Corresponding author:

Email address:

chien.nguyenminh@hust.edu.vn

Received: 25/05/2026

Received in Revised Form:

13/07/2026

Accepted: 24/08/2026

Application of passenger flow simulation in evaluating the operational capacity of an elevated Metro station: a case study of Cau Giay Station

Pham Van Trang¹, Nguyen Minh Chien^{2*}, Nguyen Van Hung³

¹FECON Corporation, Me Tri Ha Urban Area, Pham Hung Street, Tu Liem Ward, Hanoi, Vietnam

²School of Economics and Management, Hanoi University of Science and Technology (HUST), No.1 Dai Co Viet Street, Bach Mai Ward, Hanoi, Vietnam

³VNU University of Engineering and Technology (VNU-UET), VNU town, Hoa Lac Commune, Hanoi, Vietnam

Abstract: This study develops a simulation model for the operation of an elevated urban Metro station, with Cau Giay Station selected as a case study. The model is designed to evaluate passenger service capacity under different operational and demand scenarios. Based on the Level of Service (LOS) framework and key operational performance indicators, a series of simulation experiments is conducted to assess the station's performance under various operating conditions. The results enable the identification of capacity constraints and conditions leading to LOS degradation. Accordingly, operational measures are proposed to enhance passenger service capacity. The study also provides a simulation-based framework that can serve as a decision-support tool for the design and operational planning of elevated Metro stations.

Keywords: Urban railway, Level of Service, Simulation modelling, Discrete-event simulation, Elevated Metro station.



Thông tin bài viết
Dạng bài viết:
Bài báo nghiên cứu

DOI:
<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2026.vn.6.7.116-132>

*Tác giả liên hệ:
Địa chỉ Email:
chien.nguyenminh@hust.edu.vn

Ngày nộp bài: 25/05/2026
Ngày nộp bài sửa: 13/07/2026
Ngày chấp nhận: 24/08/2026

Ứng dụng mô phỏng dòng hành khách trong đánh giá năng lực vận hành ga Metro trên cao: Trường hợp ga Cầu Giấy

Phạm Văn Trang¹, Nguyễn Minh Chiến^{2*}, Nguyễn Văn Hùng³

¹Công ty Cổ phần FECON, Khu đô thị Mễ Trì Hạ, đường Phạm Hùng, phường Từ Liêm, Thành phố Hà Nội, Việt Nam

²Trường Kinh tế, Đại học Bách khoa Hà Nội (HUST), Số 1, đường Đại Cồ Việt, phường Bạch Mai, Thành phố Hà Nội, Việt Nam

³Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội (VNU-UT), Khu đô thị Đại học Quốc gia Hà Nội, xã Hòa Lạc, thành phố Hà Nội, Việt Nam

Tóm tắt: Nghiên cứu phát triển một mô hình mô phỏng vận hành ga đường sắt đô thị trên cao (ga Cầu Giấy). Mô hình được xây dựng nhằm đánh giá năng lực phục vụ hành khách (HK) thông qua các kịch bản vận hành và nhu cầu khác nhau. Trên cơ sở hệ thống phân loại Level of Service (LOS) và các chỉ tiêu hoạt động, nghiên cứu tiến hành các thử nghiệm mô phỏng để xác định mức độ đáp ứng của ga trong các điều kiện khai thác. Kết quả cho phép nhận diện các khu vực hạn chế năng lực và các điều kiện dẫn đến suy giảm LOS, từ đó đề xuất các giải pháp tổ chức vận hành nhằm nâng cao năng lực phục vụ. Nghiên cứu đồng thời cung cấp quy trình và mô hình mô phỏng có thể sử dụng như một công cụ hỗ trợ đánh giá và ra quyết định trong thiết kế, tổ chức khai thác ga trên cao.

Từ khóa: Đường sắt đô thị, Mức độ phục vụ, Mô hình mô phỏng, Mô phỏng sự kiện rời rạc, Ga trên cao.

1. Giới thiệu

Phát triển hệ thống vận tải hành khách công cộng khối lượng lớn là một trong những định hướng quan trọng trong quá trình tổ chức lại giao thông đô thị tại Hà Nội. Trong bối cảnh đó, tuyến đường sắt đô thị số 3, đoạn Nhổn - ga Hà Nội, giữ vai trò quan trọng trong việc kết nối khu vực phía Tây với trung tâm thành phố, từng bước hình thành mạng lưới vận tải công cộng hiện đại của Thủ đô. Toàn tuyến có chiều dài 12,5 km, gồm 8 ga trên cao và 4 ga ngầm; trong đó, đoạn trên cao Nhổn - Cầu Giấy dài 8,5 km đã được đưa vào vận hành thương mại từ ngày 08/08/2024 [1]. Ga Cầu Giấy

là một ga trên cao dạng ke ga hai bên, đồng thời là ga cuối của đoạn trên cao đang khai thác. Ga Cầu Giấy nằm trên trục Xuân Thủy - Cầu Giấy, khu vực trước đây thuộc quận Ba Đình; sau sắp xếp đơn vị hành chính năm 2025, khu vực nhà ga được xác định ở địa bàn giáp ranh giữa phường Láng và phường Giảng Võ [2]. Đây cũng là vị trí đối diện Trường Đại học Giao thông vận tải Hà Nội [3], gần các điểm trung chuyển xe buýt thuộc khu vực có mức độ tập trung dân cư cao. Theo số liệu công bố, phường Láng có diện tích tự nhiên 1,88 km², dân số 61.135 người, tương ứng mật độ khoảng 32.519 người/km² [4], trong khi phường Giảng Võ

có diện tích 2,60 km² và dân số 97.034 người, tương ứng mật độ khoảng 37.321 người/km² [5]. Bên cạnh đó, sau một năm vận hành, tuyến Metro Nhổn - ga Hà Nội đã phục vụ trên 6,4 triệu lượt hành khách, bình quân từ 19.000 đến 21.000 lượt/ngày [6]; riêng khu vực trung chuyển ga Cầu Giấy, năng lực vận chuyển của mạng lưới xe buýt được tăng cường lên hơn 6.000 hành khách/giờ/hướng [7]. Các đặc điểm này khẳng định ga Cầu Giấy không chỉ đóng vai trò là điểm dừng đón khách trên tuyến, mà còn là nút giao thông trọng yếu trong việc tiếp nhận, điều tiết và trung chuyển hành khách tại cửa ngõ phía Tây Hà Nội.

Tuy nhiên, cùng với sự gia tăng nhu cầu đi lại, vấn đề đặt ra là cần xác định một cách định lượng khả năng đáp ứng của nhà ga tương ứng với các điều kiện khai thác đa dạng. Đối với ga Metro trên cao, năng lực vận hành không chỉ phụ thuộc vào quy mô kết cấu hạ tầng mà còn chịu ảnh hưởng trực tiếp bởi tổ chức dòng hành khách tại các khu vực chức năng như lối vào, khu vực mua vé, cửa soát vé, cầu thang, thang cuốn và ke ga. Khi lưu lượng tăng cao, sự mất cân đối cục bộ tại một khâu phục vụ có thể làm suy giảm mức độ phục vụ của toàn bộ nhà ga. Vì vậy, việc đánh giá năng lực phục vụ của ga Cầu Giấy có ý nghĩa thực tiễn trong việc kiểm chứng phương án tổ chức vận hành và làm cơ sở đề xuất các giải pháp khai thác phù hợp.

Đối với các công trình giao thông đang khai thác, mô phỏng mang lại lợi thế đặc biệt vì cho phép tái hiện đầy đủ chuỗi vận hành của hệ thống qua nhiều kịch bản giả định, đóng vai trò như một công cụ phân tích đặc lực mà không cần can thiệp hay làm gián đoạn hoạt động khai thác thực tế của công trình. Đối với ga Metro, hoạt động của hành khách và tàu diễn ra theo chuỗi sự kiện có mối quan hệ tương tác chặt chẽ, từ hành khách vào ga, mua vé, qua cửa soát vé, di chuyển lên ke, chờ tàu, lên xuống tàu đến rời khỏi nhà ga. Do đó, mô phỏng sự kiện rời rạc là cách tiếp cận phù hợp để

phân tích quá trình vận hành của ga, nhận diện các vị trí có nguy cơ quá tải và đánh giá năng lực phục vụ trong các điều kiện nhu cầu khác nhau. Trên cơ sở đó, nghiên cứu này tập trung xây dựng mô hình mô phỏng dòng hành khách cho ga Cầu Giấy nhằm đánh giá năng lực vận hành của một ga Metro trên cao trong điều kiện khai thác thực tế.

Mặc dù các phương pháp mô phỏng và khung đánh giá LOS đã được áp dụng rộng rãi, phần lớn các công trình trước đây tập trung vào tối ưu hóa thiết bị, lập kế hoạch sơ tán hoặc phân tích các cấu hình ga hoàn chỉnh [8 - 10]. Tuy nhiên, việc định lượng năng lực vận hành cho loại ga trên cao trong trạng thái quá độ vẫn chưa được quan tâm đúng mức. Trường hợp ga Cầu Giấy là ga cuối tạm thời trên tuyến Nhổn - ga Hà Nội đại diện cho đặc thù này, nơi tải hành khách xuống tàu tập trung đột ngột và dồn nén trực tiếp vào khu vực chuyển tiếp giữa ke ga và cầu thang. Xuất phát từ thực tế đó, nghiên cứu thực hiện với ba mục tiêu: (1) Nhận diện và lượng hóa các nút thắt vận hành thông qua số liệu khảo sát thực địa chi tiết; (2) Xây dựng mô hình mô phỏng sự kiện rời rạc trên nền tảng AnyLogic để đánh giá mật độ, thời gian hành trình và chỉ số LOS; (3) Kiểm chứng hiệu quả của giải pháp tổ chức dòng hành khách có tính khả thi trong điều kiện hạ tầng hiện hữu. Điểm nhấn của bài nghiên cứu là việc tích hợp mô hình mô phỏng với thực thể nhà ga cụ thể tại Hà Nội nhằm làm rõ cơ chế hình thành xung đột dòng. Kết quả nghiên cứu khẳng định giá trị của việc điều phối, tổ chức dòng hành khách như một giải pháp quản lý năng lực hiệu quả, thay vì chỉ tập trung vào các can thiệp về kết cấu hạ tầng.

2. Xây dựng mô hình

2.1. Cấu trúc cơ sở hạ tầng của ga Cầu Giấy và thiết lập dữ liệu kịch bản mô phỏng

Cách tiếp cận mô phỏng sự kiện rời rạc cho phép thử nghiệm nhiều phương án tổ chức vận hành khác nhau ngay trên mô hình số, mà không cần tác động đến hoạt động thực tế của nhà ga. Độ tin cậy của các kết quả thu được, tuy vậy, gắn

chặt với chất lượng dữ liệu đầu vào cũng như mức độ mô hình phản ánh đúng cấu trúc hạ tầng, cách tổ chức dòng hành khách và điều kiện khai thác thực tế. Do đó, bước đầu tiên trước khi xây dựng mô hình là làm rõ đặc điểm không gian riêng của ga Cầu Giấy và xây dựng bộ dữ liệu kịch bản mô phỏng tương ứng.

Ga Cầu Giấy gồm ba tầng chính thể hiện trong Hình 1 và Hình 2, bao gồm: Tầng 1 (tầng trệt) là khu vực lối vào, kết nối với đường phố và hệ thống xe buýt; tầng 2 là sảnh trung chuyển và khu vực mua vé, soát vé; tầng 3 là sân ga hai bên (ke ga) nơi đón tiễn tàu. Theo mặt bằng ga, tầng 2 có bốn lối tiếp cận chính (Gate 1, Gate 2, Gate 3, Gate 4), hai khu vực chờ trả tiền nằm hai bên, một khu vực đã trả tiền ở giữa, 2 quầy bán vé, 4 máy bán vé tự động. Hệ thống cổng soát vé vào/ra/hai chiều, 4 nhóm thang bộ/thang cuốn (trong đó, hiện

nay chỉ có hai nhóm thang bộ/thang cuốn đang hoạt động ở gần phía cổng số 3 và 4). Tầng 3 được bố trí hai ke ga độc lập theo hai hướng tàu, kết nối với tầng trung chuyển thông qua hai cụm thang. Hành khách từ mặt đất lên tầng trung chuyển, thực hiện mua vé hoặc vào ga bằng vé đã có sẵn, qua cổng soát vé, tiếp tục lên tầng ke ga bằng thang bộ, thang cuốn hoặc thang máy. Mỗi ke ga phục vụ một hướng tàu, không có kết nối ngang trực tiếp giữa hai ke; hành khách muốn đổi hướng di chuyển phải quay lại tầng trung chuyển. Trong giai đoạn khai thác hiện nay, tuyến số 3 sử dụng đoàn tàu bốn toa. Để phù hợp với cấu hình mô hình AnyLogic được cung cấp, nghiên cứu xét kịch bản mô phỏng cơ sở trong giai đoạn cao điểm với tàu đến ga 6 phút/chuyến (tần suất 10 chuyến/giờ), tốc độ đi bộ của hành khách từ 1,2 - 1,6 m/s và tốc độ thang cuốn 0,5 m/s.



(a) Quầy mua vé và cửa soát vé phía phải tại tầng 2



(b) Quầy mua vé và cửa soát vé phía trái tại tầng 2

Hình 1. Hiện trạng cấu trúc tầng 2 ga Cầu Giấy

Qua khảo sát thực địa tại ga Cầu Giấy, có thể thấy khu vực sảnh nhà ga được tổ chức theo cấu trúc điển hình của ga Metro trên cao, trong đó hệ thống bán vé được bố trí thành hai cụm tương ứng với các nhóm lối vào 1 - 3 và 2 - 4. Mỗi cụm đều gồm quầy bán vé có nhân viên phục vụ và các máy bán vé tự động. Tuy nhiên, số liệu khảo sát trong giai đoạn nghiên cứu cho thấy hành khách hầu như không sử dụng máy bán vé tự động, mà chủ yếu sử dụng vé tháng sẵn có hoặc mua vé trực tiếp tại quầy. Vì vậy, trong điều kiện khai thác hiện tại, năng lực phục vụ thực tế của khâu phát hành vé phụ thuộc chủ yếu vào quầy bán vé thủ công, trong khi các máy bán vé tự động mới đóng vai trò năng lực dự phòng về mặt hạ tầng. Các khảo sát cũng

cho thấy khu vực cửa soát vé được phân tách chức năng rõ ràng, với cửa vào ga bố trí phía bên phải và cửa ra ga bố trí phía bên trái. Qua đó góp phần giảm xung đột của các dòng đi ngược chiều trong phạm vi hẹp trước hàng rào kiểm soát. Quan sát thực tế ghi nhận hiện tượng hành khách xếp hàng tại quầy bán vé, trong khi không gian sảnh và khu vực trước cửa soát vé vẫn còn thông thoáng. Điều này cho thấy trong điều kiện vận hành thông thường, nút thắt cục bộ của nhà ga có xu hướng xuất hiện trước hết ở công đoạn mua vé, thay vì ở khu vực kiểm soát vé. Dưới góc độ mô hình hóa, các đặc trưng này cho thấy năng lực vận hành của nhà ga không chỉ phụ thuộc vào số lượng cửa soát vé (AFC), mà còn phụ thuộc đáng kể vào công suất

phục vụ của hệ thống bán vé, thời gian xử lý tại mỗi vị trí và khả năng tích tụ hàng chờ tại khu vực tiếp cận.

Mặc dù kết quả khảo sát hiện trạng ghi nhận hiện tượng xếp hàng cục bộ tại quầy bán vé trong điều kiện vận hành thông thường, nghiên cứu không mở rộng phạm vi mô phỏng sang khâu phát hành vé, xuất phát từ hai lý do. Thứ nhất, nút thắt tại quầy bán vé chủ yếu bắt nguồn từ năng lực phục vụ thủ công, phụ thuộc số lượng nhân viên và thời gian giao dịch - đây là yếu tố có thể điều chỉnh trực tiếp bằng giải pháp vận hành (bổ sung nhân sự, khuyến khích sử dụng vé tháng hoặc máy

bán vé tự động) mà không đòi hỏi thay đổi kết cấu hạ tầng. Thứ hai, nút thắt tại quầy bán vé có tính phân tán theo thời gian, trong khi nút thắt tại khu vực ke ga - đầu cầu thang mang tính chu kỳ và tập trung cao độ, gắn trực tiếp với thời điểm tàu đến (khoảng 96 hành khách xuống tàu trong khoảng thời gian ngắn, lặp lại mỗi 6 phút/chuyến giờ cao điểm theo Bảng 1), tạo ra rủi ro ùn tắc cấp tính hơn. Vì vậy, nghiên cứu ưu tiên mô phỏng chi tiết nút thắt hạ tầng tại khu vực ke ga - đầu cầu thang trong phạm vi bài báo này; việc mô phỏng chi tiết khâu phát hành vé được xác định là hướng mở rộng cho các nghiên cứu tiếp theo.



(a) Hành khách lên tàu tại ke ga (tầng 3)



(b) Lối đi xuống từ ke ga (tầng 3) xuống tầng 2

Hình 2. Hiện trạng tầng ke ga (tầng 3)

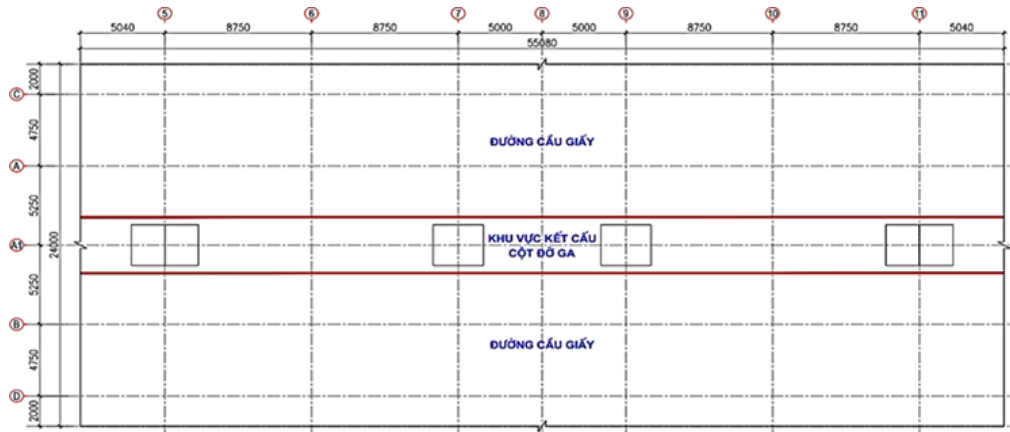
Trong giai đoạn khai thác hiện nay, ga Cầu Giấy là ga cuối tạm thời của đoạn trên cao tuyến đường sắt đô thị số 3, khi toàn tuyến mới vận hành đoạn Nhổn - Cầu Giấy dài 8,5 km; phần đi ngầm từ Cầu Giấy đến ga Hà Nội vẫn đang tiếp tục xây dựng và toàn tuyến hiện được dự kiến hoàn thành vào năm 2027. Vì vậy, chức năng tổ chức vận hành của ga Cầu Giấy có đặc thù khác với một ga trung gian thông thường, thể hiện ở việc ga vừa thực hiện nhiệm vụ đón hoặc trả khách, vừa đóng vai trò điểm kết thúc và quay vòng khai thác tàu. Theo hiện trạng khảo sát tại thời điểm nghiên cứu, hoạt động hành khách trên ke ga được tổ chức trên một bên ke duy nhất; đồng thời chỉ sử dụng hai lối tiếp cận chính, trong đó một lối dành cho dòng hành khách đi lên ke ga và một lối dành cho dòng hành khách đi xuống, mỗi lối được trang bị thang bộ và thang máy. Cần lưu ý rằng đây là tổ hợp thang bộ - thang máy, khác với tổ hợp thang bộ - thang cuốn đang khai thác tại hai trong bốn lối tiếp cận của

tầng 2 (Mục 2.1); trong giai đoạn quá độ hiện nay, thang cuốn lên ke ga chưa được đưa vào vận hành. Cách tổ chức này phù hợp với bối cảnh vận hành tạm thời của ga cuối, giúp đơn giản hóa điều hành và tăng khả năng kiểm soát dòng người, nhưng cũng làm cho lưu lượng hành khách bị dồn vào số ít điểm tiếp cận, từ đó dễ hình thành mật độ cục bộ cao tại khu vực cửa tàu và chân các lối đứng theo phương thẳng đứng.

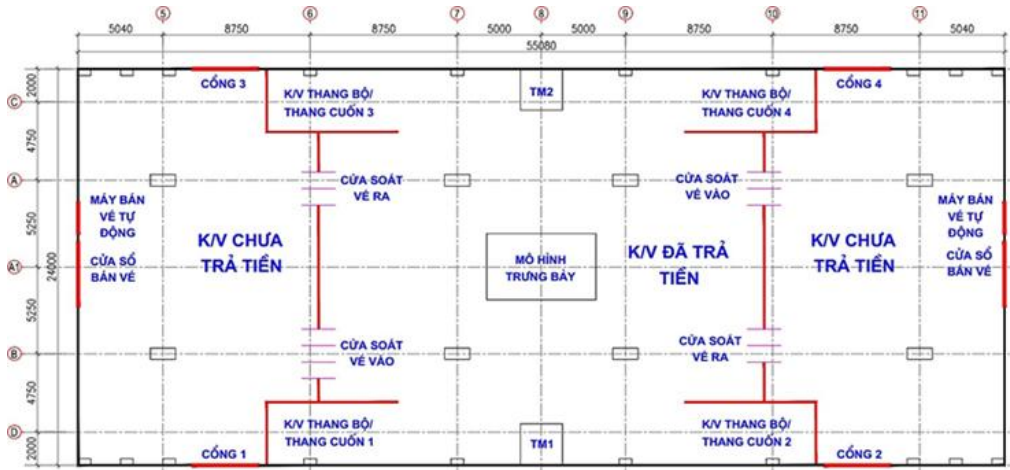
Các hình ảnh khảo sát cho thấy dòng hành khách trên ke ga Cầu Giấy có tính định hướng rất rõ. Sau khi tàu dừng, hành khách xuống tàu tập trung nhanh về lối thoát được chỉ định, trong khi hành khách chờ lên tàu hình thành các cụm đứng gần khu vực cửa lên xuống và dọc theo mép ke. Do nhà ga chỉ khai thác một bên ke và số lối tiếp cận đang được giới hạn, các luồng chuyển động này dễ giao cắt nhau tại phạm vi gần cửa tàu và gần khu vực kết nối với thang bộ, thang máy. Điều đó làm giảm tốc độ di chuyển thực tế, kéo dài thời

gian trao đổi hành khách và có thể tạo ra hiện tượng ùn ứ cục bộ trong giờ cao điểm. Về mặt mô phỏng, đây là cơ sở quan trọng để xây dựng kịch bản vận hành sát thực tế cho ga Cầu Giấy, trong đó cần đặc biệt xét đến ảnh hưởng của cấu hình ga cuối tạm thời, khai thác một bên ke và tổ chức phân tách dòng lên xuống theo số lượng lối tiếp

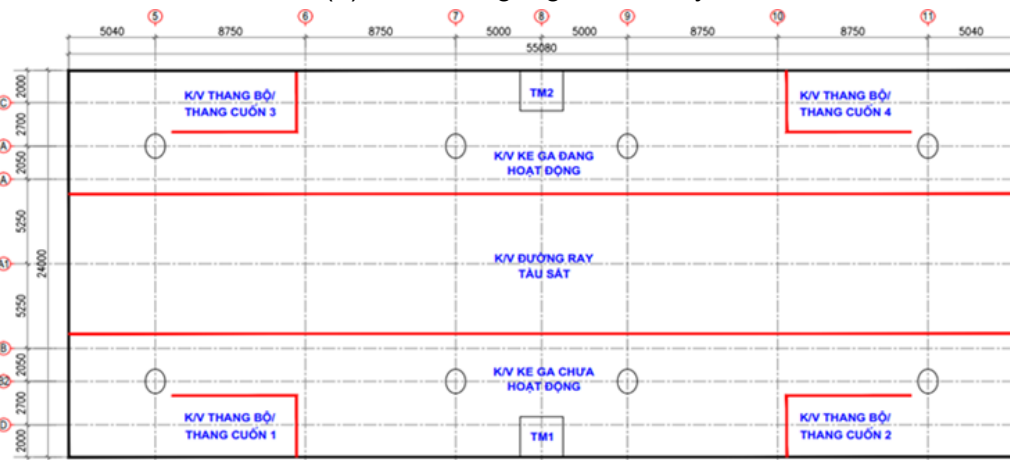
cận hạn chế. Đồng thời, cần lưu ý rằng về mặt thiết kế tổng thể, các ga trên cao của tuyến được xây dựng với khả năng tiếp cận lớn hơn trong trạng thái khai thác hoàn chỉnh; do đó cấu hình hiện tại của ga Cầu Giấy nên được xem là trạng thái vận hành quá độ trước khi đoạn ngầm được đưa vào sử dụng.



(a) Sơ đồ tầng 1 ga Cầu Giấy



(b) Sơ đồ tầng 2 ga Cầu Giấy

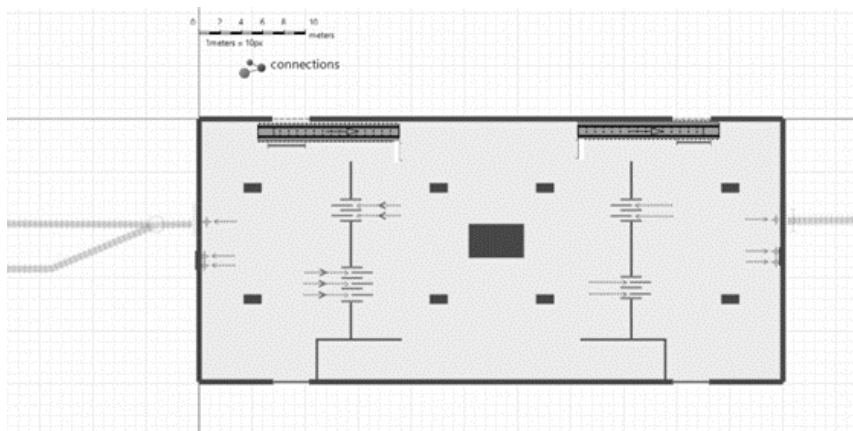


(c) Sơ đồ tầng 3 ga Cầu Giấy

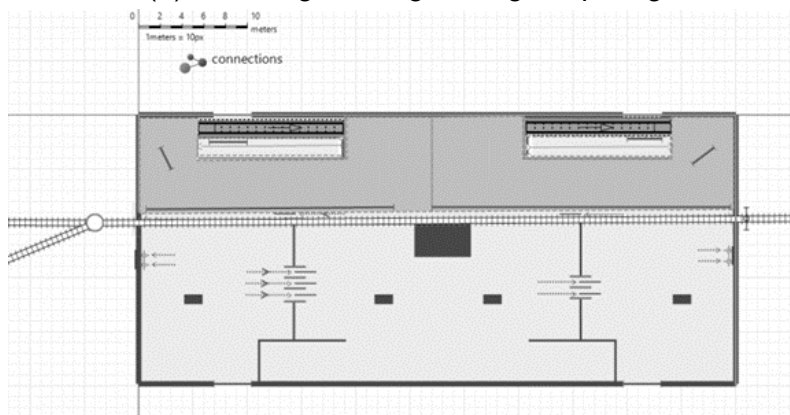
Hình 3. Sơ đồ ga Cầu Giấy

Trên cơ sở khảo sát thực địa và tổng hợp các tài liệu kỹ thuật liên quan, sơ đồ không gian các tầng của ga Cầu Giấy được nhóm tác giả xây dựng và thể hiện trong Hình 3, làm cơ sở cho việc thiết lập cấu trúc hình học của mô hình mô phỏng. Mô hình ga Cầu Giấy được xây dựng trên nền tảng AnyLogic [11], kết hợp thư viện Pedestrian mô phỏng chuyển động và tương tác của hành khách trong không gian nhà ga với thư viện Rail mô phỏng hoạt động đến, dừng và rời ga của đoàn tàu. Trên cơ sở mặt bằng thực tế, mô hình tái hiện các khu vực chức năng chính gồm lối vào, khu bán vé, cổng soát vé, khu vực chuyển tầng và ke ga. Dòng

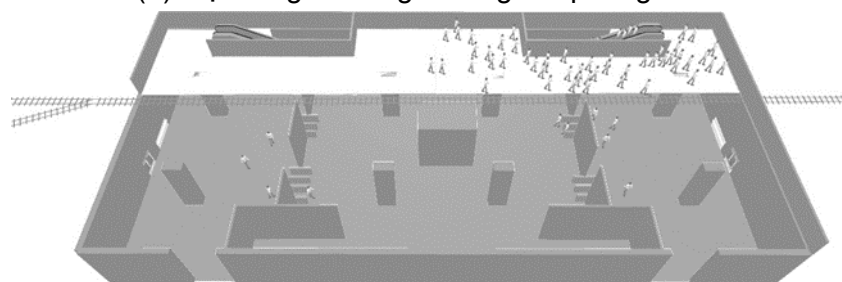
hành khách được mô tả theo chuỗi sự kiện từ khi vào nhà ga, mua vé hoặc sử dụng vé sẵn có, qua kiểm soát vé, di chuyển lên ke, chờ tàu, lên tàu hoặc xuống tàu và rời nhà ga. Đầu ra của mô hình bao gồm số lượng hành khách hoàn thành hành trình, thời gian di chuyển, phân bố mật độ và bản đồ nhiệt, phục vụ đánh giá năng lực vận hành của nhà ga theo các kịch bản khai thác. Hình dạng không gian nhà ga được thể hiện trong Hình 4, cấu trúc logic của mô hình được trình bày trong Hình 5. Nhóm tác giả đã xây dựng mô hình mô phỏng trên phần mềm AnyLogic gồm ba phần: Cấu trúc cơ sở hạ tầng, các sự kiện và biểu đồ đầu ra.



(a) Mặt bằng 2D tầng 2 trong mô phỏng

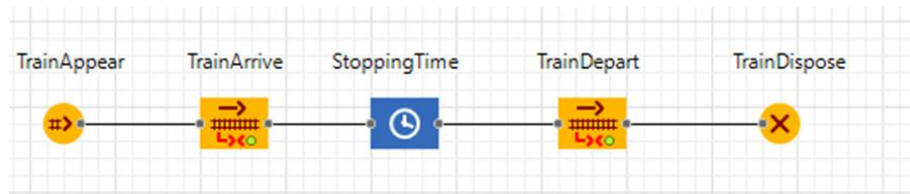


(b) Mặt bằng 2D tầng 3 trong mô phỏng

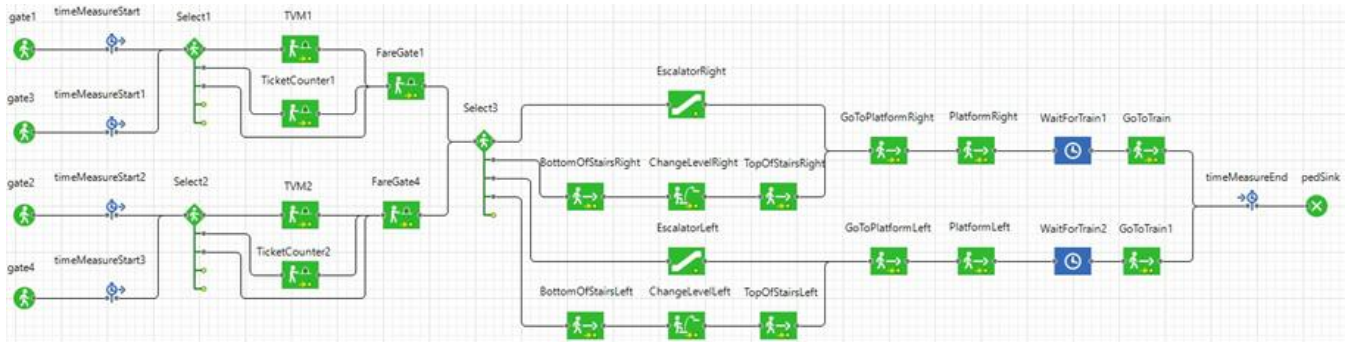


(c) Mặt bằng 3D trong mô phỏng

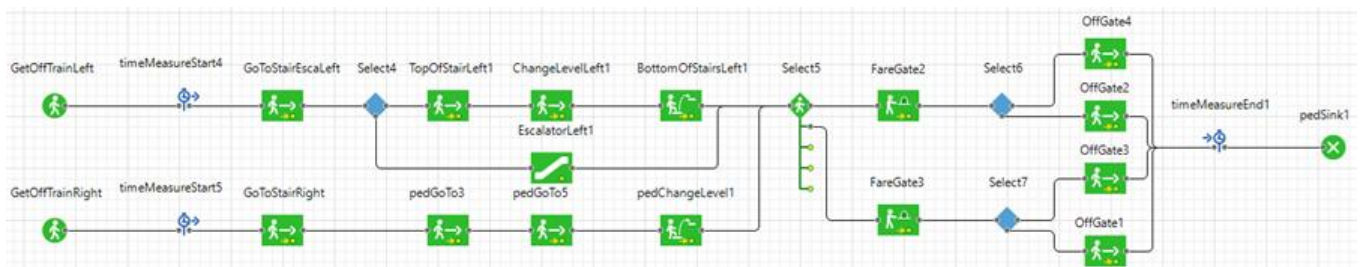
Hình 4. Cấu trúc cơ sở hạ tầng trong mô hình mô phỏng



(a) Sự kiện hoạt động của tàu



(b) Sự kiện hoạt động của hành khách vào ga



(c) Sự kiện hoạt động của hành khách xuống tàu

Hình 5. Cấu trúc logic các sự kiện trong mô hình mô phỏng

2.2. Xây dựng mô hình mô phỏng

Phần 1 là cấu trúc bố trí cơ sở hạ tầng với tỷ lệ 1 m (trên thực tế) bằng 10 pixel (trong mô hình). Các cấu trúc trong nhà ga được mô phỏng bao gồm: Quầy mua vé, máy bán vé tự động, cửa soát vé, cầu thang bộ, thang cuốn ke ga, tàu và hệ thống đường ray. Các cấu trúc này được thể hiện trong Hình 4. Phần 2 là các sự kiện logic để mô phỏng hành vi của hành khách (HK) và tàu trong không gian được xây dựng của phần 1. Các sự kiện được mô phỏng bao gồm: Tàu đến ga và rời ga, HK vào ga từ bốn lối tiếp cận, HK lựa chọn hình thức mua vé, HK qua cửa soát vé, HK đi qua các cầu thang/thang cuốn, HK lên ke ga, chờ tàu, lên tàu; đồng thời mô phỏng chiều ngược lại HK xuống tàu, rời ke ga, qua cổng ra và rời khỏi nhà ga. Phần 3 thể hiện bảng biểu và sơ đồ đầu ra phục vụ phân tích năng lực của nhà ga. Định dạng xuất kết quả của mô hình được thể hiện trong Hình 6, gồm: (i) biểu đồ thời gian di chuyển (giây) của từng HK lên

tàu và của từng HK xuống tàu theo thời gian mô phỏng (giây); (ii) các chỉ tiêu tổng hợp về thời gian: HKLtb, HKLmax, HKLmin lần lượt là thời gian di chuyển trung bình, lớn nhất và nhỏ nhất của HK lên tàu, tính từ khi HK vào ga qua các lối tiếp cận đến khi lên tàu (giây); HKXtb, HKXmax, HKXmin lần lượt là thời gian rời ga trung bình, lớn nhất và nhỏ nhất của HK xuống tàu, tính từ khi HK xuống tàu đến khi ra khỏi nhà ga (giây); (iii) biểu đồ số lượng HK hoàn thành hành trình (người), gồm tổng số HK, số HK lên tàu và số HK ra khỏi ga.

Trong phần 2 bao gồm nhiều khối khác nhau mô phỏng các hành động (sự kiện) xảy ra với các chủ thể như tàu, người đi bộ... Bảng 1 bao gồm các dữ liệu khảo sát đưa vào trong mô phỏng. Các khối được mô tả chi tiết trong Bảng 2. Trong đó, khối StoppingTime được thiết lập với giá trị thời gian dừng tàu 3 phút (180 giây), tương ứng với thông số giờ cao điểm trong Bảng 1 và phù hợp với kịch bản cao điểm được lựa chọn làm cấu hình mô

phòng cơ sở; khối WaitForTrain1/WaitForTrain2 được xác định theo tần suất tàu 6 phút/chuyến.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Nhiều công trình nghiên cứu vận hành ga Metro đã khẳng định vai trò của mô phỏng như một công cụ phân tích mang lại lợi thế rõ rệt so với các phương pháp phân tích tĩnh truyền thống, nhờ khả năng tái hiện đồng thời chuyển động của hành khách, tương tác giữa các luồng người đi lại, tác động của hình học không gian, và hệ quả của từng phương án khai thác lên mật độ, thời gian chờ đợi

cũng như mức độ ùn tắc tại từng khu vực chức năng riêng biệt.

Trong số các khung phân tích được sử dụng phổ biến, Transit Capacity and Quality of Service Manual (TCRP Report 165) [12] xem nhà ga như một chuỗi phần tử phục vụ nối tiếp nhau - gồm lối đi bộ, khu vực xếp hàng, cầu thang, cổng kiểm soát và ke ga - trong đó chất lượng vận hành của mỗi phần tử được lượng hóa qua các chỉ tiêu mật độ, diện tích bình quân trên mỗi hành khách, tốc độ di chuyển và mức độ tự do cơ động.

Bảng 1. Dữ liệu khảo sát

Thông tin		Số liệu	Đơn vị
Tốc độ hành khách		1,2-1,6	m/s
Tốc độ của thang cuốn		0,5	m/s
Chiều dài ga (*)		55	m
Chiều rộng ga (*)		24,8	m
Số lượng quầy bán vé		2	quầy
Số lượng máy bán vé tự động		4	máy
Số lượng cửa soát vé vào ga		5	cửa
Số lượng cửa soát vé ra khỏi ga		4	cửa
Cơ cấu hành khách theo hình thức vé và kênh mua vé (**)	Vé tháng	78	%
	Vé lượt	22	%
	Máy bán vé tự động	0	%
Số người vào cổng giờ cao điểm (**)	Cổng 1	199	người/giờ
	Cổng 2	306	người/giờ
	Cổng 3	182	người/giờ
	Cổng 4	330	người/giờ
Tần suất tàu đến ga (***)	Giờ cao điểm	6	phút/chuyến
	Giờ thấp điểm	10	phút/chuyến
Thời gian dừng tàu ở ga (**)	Giờ cao điểm	3	phút
	Giờ thấp điểm	7	phút
Số người xuống tàu (**)	Giờ cao điểm	96	người/chuyến
(*) Theo bản vẽ Hồ sơ trình duyệt phương án kiến trúc - Ga số 8 - Ga trung chuyển Cầu Giấy, ngày 24/05/2010			
(**) Theo kết quả khảo sát trung bình các ngày 11/11/2025, 22/11/2025, 08/12/2025, 25/12/2025, 30/12/2025, 16/01/2026, 26/01/2026, 03/02/2026, 05/02/2026, 06/02/2026, 13/03/2026			
(***) Theo Bảng thông tin vận hành tại Nhà ga Cầu Giấy			

Tại ga Shohada Square (Iran), Azadpeyma và Kashi (2019) [8] đã mô phỏng lưu lượng hành khách và đối chiếu kết quả với tiêu chuẩn TCRP để chấm điểm mức phục vụ cho từng không gian chức

năng, thông qua sáu kịch bản kiểm tra tác động của việc thay đổi tổ chức bán vé và điều chỉnh giãn cách chạy tàu. Kết quả cho thấy loại bỏ khu bán vé thủ công giúp khu kiểm soát vận hành hiệu quả

hơn tới 43%, trong khi rút ngắn giãn cách tàu từ 240 xuống 180 giây làm không gian tiếp cận bình quân trên ke ga tăng thêm khoảng 35%. Điểm mạnh của nghiên cứu này là gắn kết quả mô phỏng trực tiếp với thang đo LOS để lượng hóa năng lực phục vụ hành khách của từng khu vực chức năng trong nhà ga. Điểm hạn chế là phân tích dừng ở các đại lượng tổng hợp cấp không gian, chưa khai thác sâu hành vi vi mô của từng cá thể hành khách, đặc biệt là các xung đột cục bộ tại cửa tàu, chân cầu thang hoặc nút giao của dòng người đi bộ.

Theo một hướng tiếp cận khác, Ni và cộng sự [9] xây dựng mô hình AnyLogic cho ga Youfangqiao (Nam Kinh), đưa vào các tham số tốc độ phát sinh hành khách, diện tích chiếm dụng của mỗi cá thể, độ trễ của thiết bị AFC, độ trễ khâu kiểm tra an ninh và số cổng phục vụ, từ đó tối ưu hóa việc điều phối dòng người trong hai khung giờ cao điểm sáng và chiều. Hạn chế của nghiên cứu này là trọng tâm đặt vào tối ưu tổ chức dòng người và năng lực khai thác, chưa lượng hóa được cảm nhận tiện nghi hay mức độ an toàn của hành khách. Theo hướng đảm bảo an toàn, Zhang và cộng sự [10] đề xuất lựa chọn lộ trình sơ tán dựa trên mật độ hành khách như biến quyết định đường đi, so sánh hai chiến lược tổ chức thoát nạn qua bốn chỉ tiêu trung bình: mật độ, chiều dài thoát nạn, thời gian thoát nạn và năng lực thoát nạn. Kết quả khẳng định chiến lược dựa trên phân tích mật độ mang lại hiệu quả sơ tán vượt trội, đồng thời cũng cố luận điểm rằng mật độ là chỉ tiêu then chốt phản ánh trạng thái vận hành không gian ga Metro, do tác động trực tiếp và đồng thời đến tốc độ di chuyển, mức độ an toàn và khả năng cơ động của dòng người.

Nhìn chung, các công trình mô phỏng ga Metro nêu trên có thể quy về ba nhóm mục tiêu: (i) đo lường năng lực và mức độ ùn tắc không gian nhà ga; (ii) tối ưu tổ chức dòng hành khách cùng thiết bị phục vụ; (iii) đảm bảo an toàn và kiểm soát đám đông trong điều kiện quá tải hoặc khẩn cấp. Dù khác nhau về mục tiêu cụ thể, điểm chung của các nghiên cứu này là đều coi mật độ và thời gian

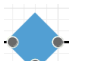
di chuyển là hai chỉ tiêu nền tảng phản ánh chất lượng vận hành của không gian ga Metro.

Trên cơ sở tổng quan các nghiên cứu trước, nhóm nghiên cứu lựa chọn LOS làm khung đánh giá chính cho mô hình ga Cầu Giấy. Các đầu ra của mô hình, gồm mật độ hành khách, thời gian di chuyển và mức độ tập trung dòng tại các vị trí nút thắt, được quy đổi thành các mức đánh giá phục vụ nhằm phản ánh khả năng vận hành của không gian ga dưới các phương án tổ chức khác nhau. Trong nghiên cứu này, trọng tâm đánh giá được đặt tại khu vực chuyển tiếp từ ke ga đến đầu cầu thang xuống tầng trung chuyển, do đây là vị trí có nguy cơ hình thành nút thắt cổ chai rõ nhất trong điều kiện khai thác hiện tại.

Kết quả khảo sát thực tế tại ga cho thấy, trong các thời điểm tàu đến, dòng hành khách xuống tàu tập trung nhanh về khu vực tiếp cận cầu thang từ tầng ke ga (tầng 3) xuống tầng trung chuyển (tầng 2). Do số lượng lối tiếp cận hạn chế và sự hội tụ dòng trong thời gian ngắn, khu vực đầu cầu thang thường xuyên xuất hiện hiện tượng tăng mật độ cục bộ, hình thành nút thắt cổ chai và gây suy giảm khả năng di chuyển. Vì vậy, trong nghiên cứu này, khu vực từ ke ga đến cửa vào cầu thang được xác định là vị trí trọng điểm, và việc đánh giá năng lực phục vụ sẽ tập trung vào nút thắt này thông qua các chỉ tiêu đặc trưng của dòng hành khách. Xét theo đặc điểm tổ chức dòng hành khách, khu vực từ ke ga đến cửa vào cầu thang xuống tầng 2 thuộc loại không gian di chuyển liên tục. Tuy nhiên, do hành khách xuống tàu tập trung trong thời gian ngắn, đầu cầu thang là vị trí có nguy cơ xuất hiện mật độ cục bộ cao và hình thành nút thắt cổ chai. Vì vậy, nghiên cứu sử dụng thang đo LOS cho không gian di chuyển liên tục để đánh giá mức độ phục vụ của khu vực này, như trình bày trong Bảng 3.

Quy trình nghiên cứu được tổ chức theo chuỗi như Hình 7. Cách tổ chức này giúp tách bạch nguồn số liệu, giả định mô hình và đầu ra đánh giá, đồng thời bảo đảm rằng các chỉ tiêu báo cáo có thể truy nguyên trở lại từ dữ liệu khảo sát.

Bảng 2. Mô tả các khối trong mô phỏng

STT	Khối	Tên của khối mặc định	Tên của khối trong mô hình	Mô tả
1		trainSource	TrainAppear	Sự xuất hiện của tàu
2		pedSource	gate1, gate2, gate3, gate4; GetOffTrainLeft, GetOffTrainRight	Sự xuất hiện của HK
3		trainMoveTo	TrainArrive, TrainDepart	Sự di chuyển của tàu
4		pedGoTo	GoToPlatformRight, GoToPlatformLeft, GoToTrain, GoToTrain1, GoToStairEscaLeft, GoToStairRight, OffGate1, OffGate2, OffGate3, OffGate4	Sự di chuyển của HK
5		delay	StoppingTime, WaitForTrain1, WaitForTrain2	Tàu dừng đón trả khách; HK chờ tàu
6		pedSelectOutput	Select1, Select2, Select3, Select4, Select6, Select7	Phân phối các luồng HK theo tuyến đi
7		SelectOutput	Select5	Phân phối các luồng HK theo tuyến đi
8		pedService	TVM1, TVM2, TicketCounter1, TicketCounter2, FareGate1, FareGate4, FareGate2, FareGate3	HK mua vé tại máy hoặc quầy
9		pedEscalator	EscalatorRight, EscalatorLeft, EscalatorLeft1	HK đi qua thang cuốn
10		pedChangeLevel	ChangeLevelRight, ChangeLevelLeft, ChangeLevelLeft1, pedChangeLevel1	HK thay đổi cao độ giữa các tầng
11		timeMeasureStart	timeMeasureStart, timeMeasureStart1, timeMeasureStart2, timeMeasureStart3, timeMeasureStart4, timeMeasureStart5	Ghi nhận thời gian tham gia mô hình
12		timeMeasureEnd	timeMeasureEnd, timeMeasureEnd1	Ghi nhận thời gian rời khỏi mô hình
13		pedSink	pedSink, pedSink1	Đối tượng HK rời mô hình
14		TrainDispose	TrainDispose	Đối tượng tàu rời mô hình

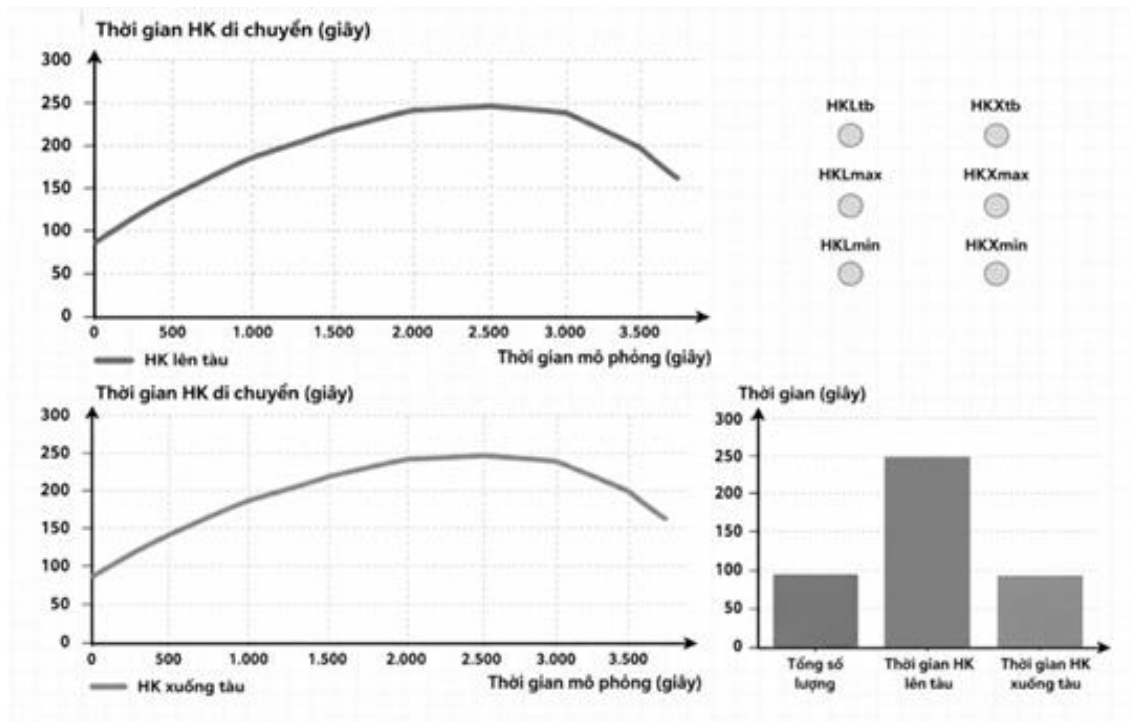
Dữ liệu đầu vào được thiết lập dựa trên kết quả khảo sát tổng thể trong 11 ngày. Trong đó, lưu lượng tại các cổng vào được tổng hợp từ dữ liệu đếm thực tế (6 ngày khảo sát) với chu kỳ 10 phút/lần; dữ liệu hành khách xuống tàu được thu

thập thông qua 7 ngày quan sát với tần suất 2 - 3 chuyến/ngày. Toàn bộ số liệu sau đó được rà soát về tính đầy đủ, chuẩn hóa đơn vị và kiểm chứng tính đồng nhất giữa các thời điểm khảo sát. Cụ thể, các lưu lượng qua cổng được quy đổi về đơn vị

người/giờ; lượng hành khách xuống tàu được thống kê theo chuyến và rút ra trị số đại diện là 96 người/chuyến. Các tham số thời gian phục vụ được mô hình hóa bằng khoảng giá trị Uniform [5s, 10s] cho quầy bán vé và Uniform [2s, 3s] cho cổng soát vé tự động.

Trong bước hiệu chỉnh, chỉ các tham số có ảnh hưởng trực tiếp đến thời gian phục vụ được điều chỉnh, còn vận tốc đi bộ, vận tốc thang cuốn, nền tải hành khách, số hành khách xuống tàu theo chuyến và nhịp tàu được giữ cố định. Mô hình được chạy ba lần để khóa tham số hiệu chỉnh; sau đó, mỗi kịch bản được chạy năm lần với các hạt giống ngẫu nhiên 101, 203, 307, 401 và 509. Giá trị báo cáo được lấy theo giá trị trung bình đối với

chỉ tiêu lưu lượng/số đếm và theo trung bình đối với chỉ tiêu thời gian. Sau hiệu chỉnh, sai lệch lưu lượng theo cổng nhỏ hơn 3%, tải xuống tàu đạt khoảng 95 người/chuyến so với mức khảo sát 96 người/chuyến, điểm nóng ùn tắc chính vẫn xuất hiện tại khu vực ke ga - đầu cầu thang, và thời gian rời ga của cấu hình cơ sở đạt xấp xỉ 162,3 giây (Hình 9). Bài báo chỉ giữ hai kịch bản có chủ đích: Kịch bản hiện trạng và kịch bản cải tiến phân bố dòng hành khách xuống tàu về cả hai phía ke ga. Cách lựa chọn này phù hợp với mục tiêu nghiên cứu là đánh giá hiện trạng và kiểm tra hiệu quả của một phương án cải tiến cụ thể; nghiên cứu không đặt mục tiêu tối ưu hóa toàn bộ không gian phương án hay thực hiện phân tích độ nhạy toàn diện.



Hình 6. Định dạng xuất kết quả (thời gian di chuyển của hành khách, số lượng hành khách)



Hình 7. Quy trình nghiên cứu

Bảng 3. Phân loại mức độ phục vụ (LOS) cho khu vực di chuyển liên tục từ ke ga đến cầu thang [13]

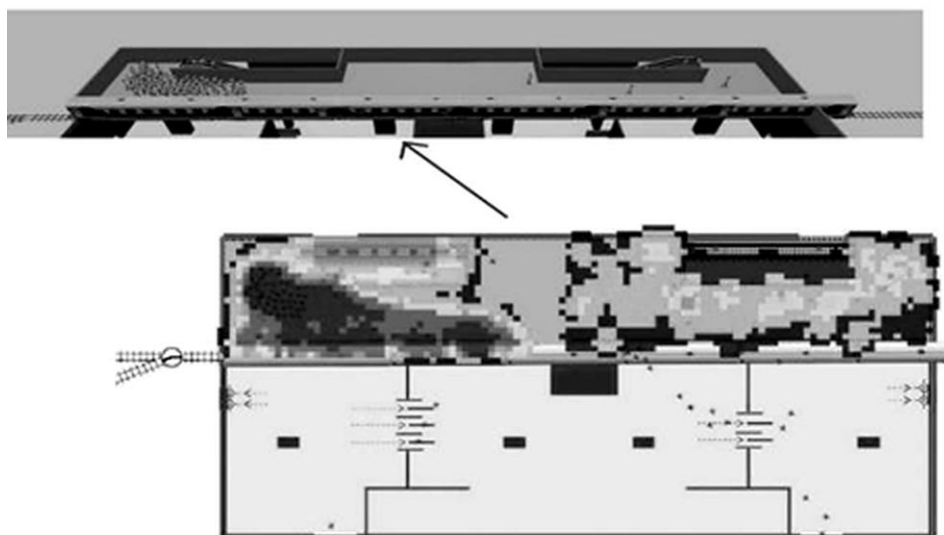
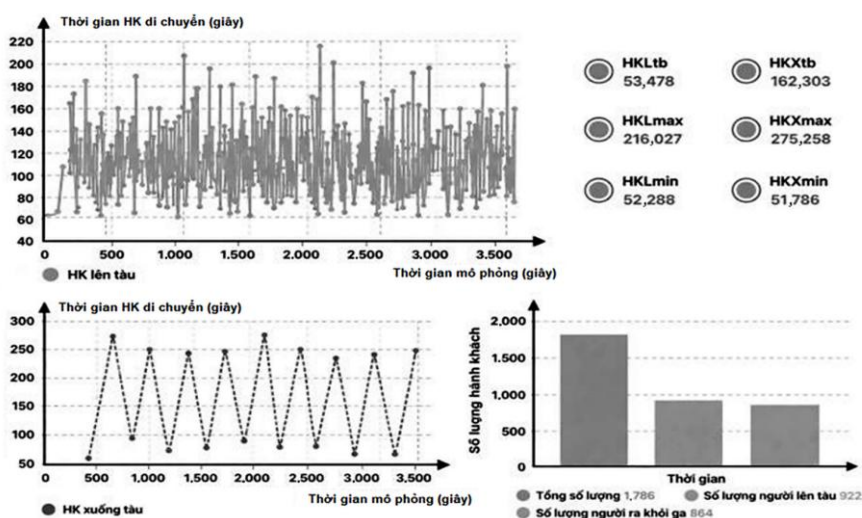
LOS	Thanh thang đo (trong mô hình)	Màu	Mật độ hành khách (HK/m ²)	Đặc trưng vận hành
F	2,15	Đỏ	$\geq 2,15$	Quá tải, nguy cơ ùn tắc cao
E	1,79	Cam	1,08 - 2,15	Di chuyển khó khăn
D	1,43	Vàng	0,72 - 1,08	Xuất hiện xung đột cục bộ
C	1,07	Xanh lá	0,43 - 0,72	Bắt đầu có ảnh hưởng lẫn nhau
B	0,72	Xanh nhạt	0,31 - 0,43	Dòng ổn định, ít tương tác
A	0,36	Xanh lam	$\leq 0,31$	Di chuyển rất thoải mái, không bị cản trở

3. Kết quả và thảo luận

Các thí nghiệm mô phỏng được thực hiện với hai kịch bản tổ chức dòng hành khách trên ke ga. Kết quả của từng kịch bản được trình bày thông qua bản đồ nhiệt và các chỉ tiêu đầu ra như số

lượng hành khách hoàn thành hành trình, thời gian di chuyển trung bình và phân bố mật độ tại các khu vực trọng điểm.

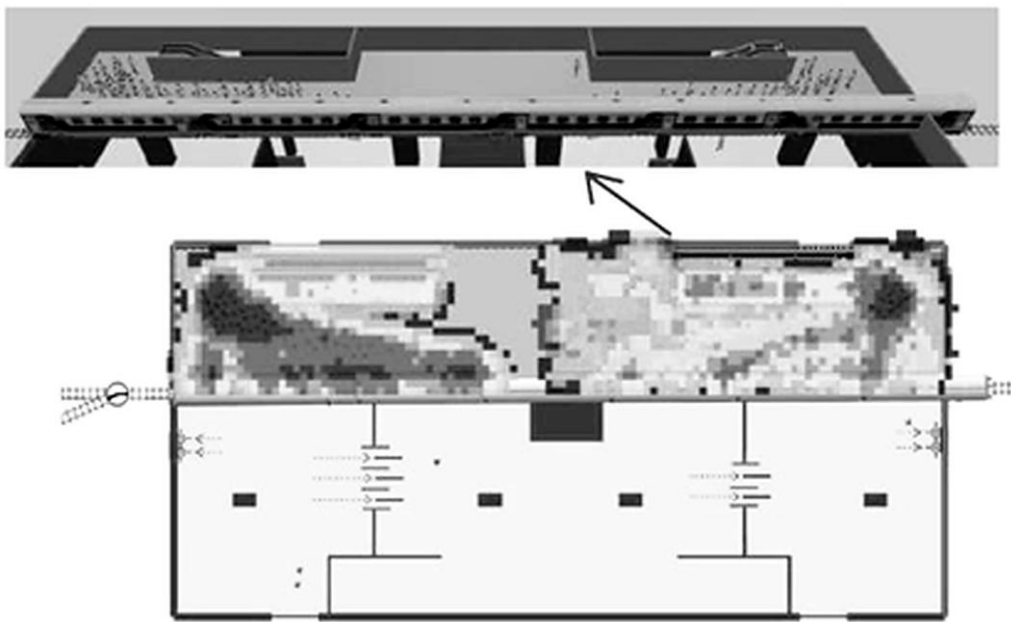
Kết quả chi tiết được thể hiện trong Hình 8 đến Hình 11.

**Hình 8.** Biểu đồ nhiệt kịch bản 1**Hình 9.** Thông số kết quả thí nghiệm kịch bản 1

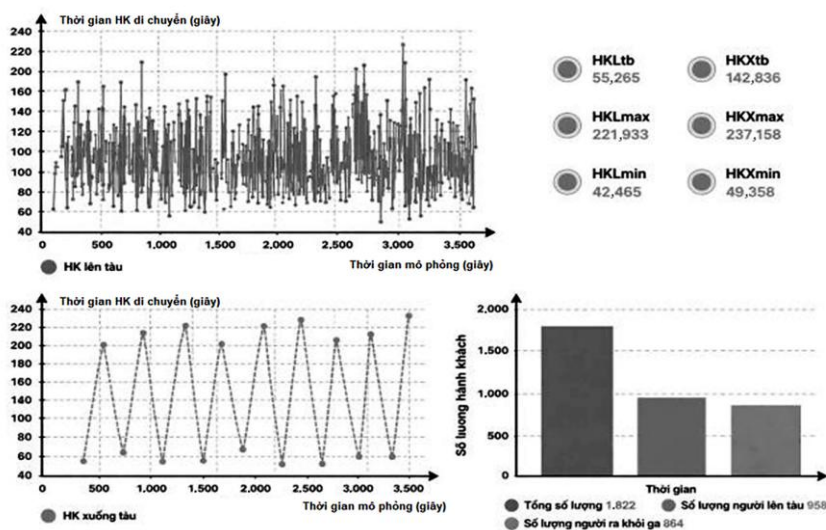
Kết quả thí nghiệm thứ nhất cho thấy phương án tổ chức hiện tại tạo ra phân bố dòng hành khách phù hợp với xu hướng quan sát được tại hiện trường, trong đó dòng hành khách xuống tàu tập trung tại khu vực cầu thang từ tầng ke ga xuống tầng trung chuyển.

Trong thời gian mô phỏng (Hình 9), tổng số hành khách hoàn thành hành trình đạt 1.786 người, gồm 922 hành khách lên tàu và 864 hành khách rời ga. Thời gian di chuyển trung bình của hành khách lên tàu khoảng 53,5 giây (HKLtb),

trong khi thời gian rời ga trung bình đạt khoảng 162,3 giây (HKXtb). Sự chênh lệch này phản ánh đặc trưng vận hành của ga cuối tạm thời trong điều kiện khai thác hiện tại. Bản đồ nhiệt cho thấy khu vực đầu cầu thang phía thoát dòng là nút thắt cổ chai chính của hệ thống, trong khi phía còn lại vẫn còn dư địa năng lực. Kết quả này cho thấy phương án tổ chức hiện tại có ưu điểm là giảm xung đột trực diện giữa dòng lên và dòng xuống, nhưng đồng thời tạo ra sự mất cân bằng trong khai thác không gian ke ga.



Hình 10. Biểu đồ nhiệt kịch bản 2



Hình 11. Thông số kết quả thí nghiệm kịch bản 2

Kết quả thí nghiệm kịch bản 2 cho thấy phương án phân bố dòng hành khách xuống tàu

về cả hai phía ke ga cải thiện đáng kể hiệu quả vận hành của nhà ga. Tổng số hành khách hoàn thành

hành trình đạt 1.822 người (Hình 11), gồm 958 hành khách lên tàu và 864 hành khách rời ga, cao hơn so với kịch bản một, cho thấy năng lực thông qua tổng thể của hệ thống được nâng lên. Thời gian di chuyển trung bình của hành khách lên tàu đạt khoảng 55,3 giây (HKLTb), gần tương đương với kịch bản một, trong khi thời gian rời ga trung bình giảm còn khoảng 142,8 giây (HKXtb). Điều này cho thấy tác động cải thiện chủ yếu xuất hiện ở quá trình giải phóng hành khách khỏi ke ga, thay vì ở quá trình tiếp cận tàu của hành khách lên ga.

Bảng 4. So sánh định lượng hai kịch bản tổ chức dòng hành khách

Chỉ tiêu	Kịch bản 1 (hiện trạng)	Kịch bản 2 (cải tiến)	Chênh lệch
Tổng số HK hoàn thành hành trình (người)	1.786	1.822	+2,0%
Thời gian trung bình lên tàu (giây)	53,5	55,3	+3,3%
Thời gian trung bình rời ga (giây)	162,3	142,8	-12,0%

Ghi chú: Số liệu lấy từ đầu ra của mô hình (Hình 9, Hình 11), làm tròn đến một chữ số thập phân; chênh lệch (%) = $(\text{Kịch bản 2} - \text{Kịch bản 1}) / \text{Kịch bản 1} \times 100$, tính theo giá trị chưa làm tròn.

Về mức độ tin cậy của sự khác biệt giữa hai kịch bản, cần lưu ý rằng mô hình đã được hiệu chỉnh với sai lệch lưu lượng theo cổng nhỏ hơn 3% so với số liệu khảo sát thực địa (Mục 2.3), và mỗi kịch bản được chạy lặp lại độc lập năm lần với các hạt giống ngẫu nhiên khác nhau (101, 203, 307, 401, 509) để hạn chế ảnh hưởng của dao động ngẫu nhiên. Mức giảm 12,0% thời gian rời ga trung bình (từ 162,3 xuống 142,8 giây) vượt đáng kể biên độ sai số hiệu chỉnh nêu trên, đồng thời đi kèm xu hướng nhất quán trên bản đồ nhiệt (Hình 8, Hình 10), trong đó mật độ tại khu vực đầu cầu thang được phân tán rõ rệt hơn ở kịch bản 2. Trên cơ sở đó, nhóm tác giả cho rằng cải thiện quan sát được phản ánh một hiệu ứng thực chất của phương án tổ chức, chứ không đơn thuần nằm trong biên độ dao động ngẫu nhiên của mô phỏng. Việc trích xuất mật độ định lượng tại điểm nút và thực hiện kiểm định thống kê hình thức (t-test) là hướng hoàn thiện tiếp theo mà nhóm tác giả sẽ bổ sung trong các công bố mở rộng.

Kết quả mô phỏng cho thấy điểm nóng ùn tắc xuất hiện ổn định tại khu vực chuyển tiếp từ ke ga xuống đầu cầu thang vì đây là vị trí mà tải hành

Bản đồ nhiệt cho thấy mật độ tại khu vực đầu cầu thang được phân tán tốt hơn, mức độ tập trung dòng giảm và không gian ke ga được khai thác cân bằng hơn giữa hai phía.

Như vậy, trong điều kiện khai thác hiện tại của ga Cầu Giấy, phương án tổ chức dòng xuống trên cả hai phía ke ga là hợp lý hơn so với phương án phân tách cứng một phía lên và một phía xuống. Bảng 4 tổng hợp so sánh định lượng giữa hai kịch bản theo các chỉ tiêu thời gian và năng lực thông qua.

khách xuống tàu đến theo đợt ngắn gắn với nhịp tàu, số lối tiếp cận theo phương đứng đang hạn chế, và dòng chờ lên tàu vẫn hiện diện trong cùng một phạm vi không gian. Do đó, vấn đề của ga Cầu Giấy không nằm ở toàn bộ hệ thống bán vé hay cổng soát vé, mà nằm ở sự mất cân bằng cục bộ giữa tốc độ dỡ tải trên ke ga và năng lực giải tỏa của vùng chuyển tiếp.

Ở kịch bản cải tiến, việc phân bố lại dòng xuống tàu sang cả hai phía ke ga không làm thay đổi lớn thời gian lên tàu nhưng làm giảm rõ thời gian rời ga trung bình và thu hẹp vùng mật độ cao trên bản đồ nhiệt. Điều này cho thấy hiệu quả vận hành được cải thiện chủ yếu nhờ giảm giao cắt và giảm hội tụ cục bộ tại một điểm nút, tức là cải thiện cách sử dụng không gian hiện có thay vì dựa vào mở rộng hạ tầng. Xét theo khung LOS, thay đổi này có ý nghĩa trực tiếp vì nó làm giảm thời gian hành khách phải di chuyển trong điều kiện mật độ cao và làm quá trình giải tỏa sau mỗi đợt tàu đến trở nên ổn định hơn.

Xu hướng này phù hợp với các nghiên cứu trước, trong đó các khu vực chuyển tiếp theo phương đứng và cấu hình platform - connector

(khu vực kết nối giữa ke ga và cầu thang/thang cuốn) thường là nơi quyết định hiệu quả của ga Metro [8, 9, 10, 14]. Trong khi các nghiên cứu tại Shohada Square và Youfangqiao nhấn mạnh tác động của tổ chức thiết bị phục vụ và phân luồng hành khách [8, 9], kết quả tại Cầu Giấy bổ sung bằng chứng rằng đối với ga trên cao đóng vai trò ga cuối tạm thời, chỉ một điều chỉnh tổ chức dòng tại ke ga cũng có thể tạo ra cải thiện đáng kể mà chưa cần can thiệp lớn vào kết cấu. Nhận định này cũng tương thích với cách tiếp cận LOS của Fruin, theo đó chất lượng phục vụ suy giảm trước hết ở các vùng mật độ cao và khả năng cơ động bị hạn chế [15].

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã xây dựng và vận hành một mô hình mô phỏng dòng hành khách cho ga Cầu Giấy trên nền tảng AnyLogic, từ đó lượng hóa năng lực vận hành của nhà ga trong điều kiện khai thác thực tế thông qua bộ chỉ tiêu thời gian di chuyển, phân bố mật độ và mức độ phục vụ. Các kết quả cho thấy trong phương án tổ chức hiện tại, nút thắt hình thành chủ yếu ở khu vực chuyển tiếp từ ke ga xuống tầng trung chuyển - nơi dòng khách xuống tàu dồn về theo từng đợt ngắn và bị nghẽn bởi số lối tiếp cận đang khai thác. So sánh các kịch bản cho thấy phương án phân bổ dòng hành khách xuống tàu sang cả hai phía ke ga giúp giảm mức độ tập trung mật độ, rút ngắn thời gian rời ga và nâng cao năng lực thông qua tổng thể của hệ thống. Điểm quan trọng là hiệu quả này không chỉ xuất phát từ việc mở rộng phạm vi không gian sử dụng, mà còn từ sự phù hợp của phương án với đặc điểm khai thác hiện nay của ga Cầu Giấy trong vai trò ga cuối tạm thời của đoạn tuyến trên cao. Trong điều kiện hiện tại, việc khai thác một bên ke và tổ chức linh hoạt dòng xuống không làm phát sinh xung đột đối kháng đáng kể với dòng lên tàu, mà ngược lại còn góp phần giảm áp lực cục bộ tại khu vực đầu cầu thang và nâng cao hiệu quả sử dụng không gian ke ga.

Bên cạnh những đóng góp nêu trên, nghiên cứu cũng bộc lộ một số giới hạn cần lưu ý. Trước hết, mô hình chỉ đại diện cho một nhà ga cụ thể ở

giai đoạn khai thác quá độ, nên các kết luận gắn chặt với điều kiện vận hành hiện hành của ga Cầu Giấy và chưa bao quát được trạng thái khai thác hoàn chỉnh của tuyến trong tương lai. Thứ hai, dù dữ liệu đầu vào đã qua khảo sát thực địa, phạm vi quan sát còn giới hạn và một số hành vi di chuyển của hành khách vẫn phải xấp xỉ bằng giả định. Hướng nghiên cứu tiếp theo nên mở rộng mô hình sang giai đoạn tuyến vận hành hoàn chỉnh - khi ga Cầu Giấy chuyển từ vai trò ga cuối sang ga trung gian - để kiểm định lại cách tổ chức dòng hành khách trong bối cảnh mới, đồng thời bổ sung dữ liệu khảo sát chi tiết hơn và xem xét thêm hành vi lựa chọn lối đi, an toàn đám đông và khả năng vận hành linh hoạt theo thời gian thực.

Tuyên bố về việc sử dụng AI tạo sinh

Trong quá trình chuẩn bị bài báo này, các tác giả đã sử dụng Claude (Anthropic) nhằm kiểm tra lỗi chính tả và lỗi soạn thảo văn bản của bản thảo. Sau khi sử dụng công cụ này, các tác giả đã rà soát và chỉnh sửa nội dung khi cần thiết, đồng thời chịu hoàn toàn trách nhiệm về nội dung của bài báo được công bố.

Tài liệu tham khảo

- [1] P. Long. (2024). Người dân Thủ đô háo hức trải nghiệm miễn phí Metro Nhổn - Ga Hà Nội. *Đài Tiếng nói Việt Nam*. <https://vov.vn/xa-hoi/nguoi-dan-thu-do-hao-huc-trai-nghiem-mien-phi-metro-nhon-ga-ha-noi-post1113081.vov>. (truy cập ngày 01/10/2026)
- [2] Trang TTĐT phường Giảng Võ. (2025). Bản đồ địa giới hành chính phường Giảng Võ. <https://giangvo.hanoi.gov.vn/ban-do-dia-gioi-hanh-chinh-phuong-giang-vo-2808250701094557434.htm>. (truy cập ngày 30/03/2026)
- [3] V. An, N. Thành. (2023). Nhà ga S8 của metro Nhổn - ga Hà Nội. *Báo điện tử VnExpress*. <https://vnexpress.net/nha-ga-s8-cua-metro-nhon-ga-ha-noi-4646933.html>. (truy cập ngày 01/10/2026)
- [4] Trang TTĐT phường Láng. (2025). Giới thiệu chung phường Láng, thành phố Hà Nội. <https://lang.hanoi.gov.vn/gioi-thieu/gioi-thieu->

- chung-phuong-lang-thanh-pho-ha-noi-283025070409584615.htm. (truy cập ngày 30/03/2026)
- [5] Trang TTĐT phường Giảng Võ. (2025). Phường Giảng Võ. <https://giangvo.hanoi.gov.vn/gioi-thieu-chung/phuong-giang-vo-2808250629132835487.htm>. (truy cập ngày 30/03/2026)
- [6] M. Nguyệt. (2025). Sau 1 năm vận hành, Metro Nhổn - Ga Hà Nội phục vụ trên 6,4 triệu lượt khách. *Cổng Thông tin điện tử Thành phố Hà Nội*. <https://hanoi.gov.vn/tin-so-nganh/sau-1-nam-van-hanh-metro-nhon-ga-ha-noi-phuc-vu-tren-64-trieu-luat-khach-4250808215021297.htm>. (truy cập ngày 01/10/2026)
- [7] H. Điệp. (2025). Hệ thống đường sắt đô thị, xe buýt phát huy tối đa hiệu quả giải tỏa hành khách sau sơ duyệt A80. *Cổng thông tin điện tử Ủy ban nhân dân Thành phố Hà Nội*. <https://sovhth.hanoi.gov.vn/he-thong-duong-sat-do-thi-xe-buyt-phat-huy-toi-da-hieu-qua-giai-toa-hanh-khach-sau-so-duyet-a80/>. (truy cập ngày 01/10/2026)
- [8] A. Azadpeyma, E. Kashi. (2019). Level of Service Analysis for Metro Station with Transit Cooperative Research Program (TCRP) Manual: A Case Study-Shohada Station in Iran. *Urban Rail Transit*, 5(1), 39-47. <https://doi.org/10.1007/s40864-018-0098-0>
- [9] W. Ni, J. Yu, H. Cai, M. Bai, B. Wu. (2021). Study on Optimization of Passenger Flow at a Metro Station Based on AnyLogic-Case Study of Youfangqiao Station of Nanjing Metro Line 2. *Complex System Modeling and Simulation*, 1(3), 242-252. <https://doi.org/10.23919/CSMS.2021.0009>
- [10] L. Zhang, M. Liu, X. Wu, S. M. AbouRizk. (2016). Simulation-based route planning for pedestrian evacuation in Metro stations: A case study. *Automation in Construction*, 71, 430-442. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.031>
- [11] The AnyLogic Company, AnyLogic: Multimethod Simulation Software. <https://www.anylogic.com> (Truy cập ngày 12/06/2026)
- [12] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2013). Transit Capacity and Quality of Service Manual, Third Edition. *The National Academies Press*. Washington, DC. <https://doi.org/10.17226/24766>
- [13] N.M. Chiến, N.T. Tâm, V. Quang, C.P. Nhung. (2025). Đánh giá năng lực phục vụ hành khách của ga trên cao dạng ke ga hai bên thuộc tuyến Metro số 1 Bến Thành - Suối Tiên. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Giao thông Vận tải*, 14(5), 38-49. <https://doi.org/10.55228/JTST140504>
- [14] A. Lopez, S. Seriani, A. Peña, V. Aprigliano, B. Arredondo. (2025). Infrastructure Typology of Metro Stations: A Passenger Simulation Approach Based on Efficiency and Capacity. *Applied Sciences*, 15(6), 2889. <https://doi.org/10.3390/app15062889>
- [15] J.J. Fruin. (1971). Designing for pedestrians: A level-of-service concept. *Highway Research Record*, 355, 1-15. <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrr/1971/355/355-001.pdf> (Truy cập ngày 30/03/2026)