



Mô hình dự báo và mô phỏng tổ chức vận tải theo mô hình TOD tại các nhà ga đường sắt tốc độ cao và đường sắt đô thị trên địa bàn Thành phố Hồ Chí Minh

Forecasting and simulation model for Transit-Oriented Transport Organization at high-speed rail and urban rail stations in Ho Chi Minh City

Trần Quang Phú¹, Nguyễn Hồng Thái², Bùi Quốc An^{1,*}

¹ Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

² Trường Đại học Giao thông vận tải

Từ khóa:

TÓM TẮT

Mô hình TOD
Tổ chức vận tải
Mô hình dự báo nhu cầu vận tải
Mô hình mô phỏng tổ chức vận tải

Bài báo nghiên cứu xây dựng và áp dụng mô hình dự báo – mô phỏng tổ chức vận tải theo mô hình TOD khu vực các nhà ga đường sắt. Trên cơ sở đánh giá thực trạng tổ chức vận tải, nghiên cứu sử dụng mô hình dự báo vĩ mô kết hợp mô phỏng vi mô nhằm đánh giá hiệu quả của các phương án tổ chức vận tải theo TOD tại khu vực nhà ga đường sắt đô thị và đường sắt tốc độ cao, trong đó ga Thảo Điền được chọn nghiên cứu điển hình. Nghiên cứu xây dựng ba kịch bản mô phỏng, gồm: (i) hiện trạng 2025; (ii) năm 2030 không áp dụng TOD; và (iii) năm 2030 có tổ chức TOD. Việc áp dụng TOD giúp cải thiện hệ thống giao thông khu vực, phân bổ lại lưu lượng phương tiện, tăng tỷ lệ sử dụng phương tiện công cộng và giảm số chuyến đi bằng xe cá nhân.

Keywords:

ABSTRACT

TOD Model
Transport organization
Travel demand forecasting model
Transport simulation model

This study develops and applies a forecasting–simulation model for transport organization based on the Transit-Oriented Development (TOD) approach in the vicinity of railway stations. Grounded in an assessment of the current state of transport organization, the research integrates a macro-level travel demand forecasting model with a micro-level simulation to evaluate the effectiveness of TOD-based transport planning scenarios at urban rail and high-speed rail stations, with Thao Dien Station selected as a representative case study. The study formulates three simulation scenarios: (i) the 2025 baseline (current conditions), (ii) the year 2030 without TOD implementation, and (iii) the year 2030 with TOD-based transport planning. The application of TOD demonstrates improvements in the overall transport system by redistributing traffic flows, increasing public transit usage, and reducing trips made by private vehicles.

* Bùi Quốc An. Trường Đại học giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

Email: an.bui@ut.edu.vn

<https://www.doi.org/10.55228/JTST140506>

Ngày nhận bài: 25/06/2025; Ngày nhận bài sửa: 14/08/2025; Ngày chấp nhận đăng: 03/09/2025

Ngày xuất bản trực tuyến: 15/9/2025

pISSN: 1859-4263; eISSN: 3030-4261

1. Đặt vấn đề

Thành phố Hồ Chí Minh (TPHCM) là trung tâm kinh tế lớn nhất cả nước, đang trải qua quá trình đô thị hóa mạnh mẽ, kéo theo nhu cầu đi lại ngày càng tăng của người dân. Dù đã có nhiều nỗ lực trong việc đầu tư phát triển hạ tầng giao thông vận tải (GTVT), đặc biệt là hệ thống giao thông công cộng (GTCC), tuy nhiên tỷ lệ người dân sử dụng phương tiện công cộng vẫn còn rất thấp, chỉ chiếm dưới 5% tổng số chuyến đi [1].

Hệ thống giao thông hiện hữu, với sự phụ thuộc lớn vào phương tiện cá nhân, đã và đang tạo ra nhiều hệ lụy như ùn tắc giao thông, ô nhiễm không khí và sự phân bố không hợp lý về không gian đô thị. Trong bối cảnh đó, việc triển khai hệ thống đường sắt tốc độ cao (ĐSTĐC) và đường sắt đô thị (ĐSĐT) được xem là giải pháp chiến lược nhằm nâng cao năng lực vận tải công cộng, cải thiện chất lượng sống đô thị và thúc đẩy phát triển bền vững. Một trong những mô hình được áp dụng hiệu quả tại nhiều đô thị lớn trên thế giới là mô hình phát triển đô thị định hướng giao thông công cộng – TOD [2].

Trong bối cảnh phát triển theo định hướng TOD, việc tổ chức vận tải không chỉ dừng lại ở xây dựng cơ sở hạ tầng mà còn đòi hỏi một quá trình hoạch định mang tính khoa học và dự báo dài hạn [3]. Các nhà ga đường sắt – đặc biệt là ĐSTĐC và ĐSĐT có ảnh hưởng lớn đến cấu trúc không gian đô thị, mật độ dân cư và dòng người di chuyển hằng ngày. Do đó, để bảo đảm tính khả thi và hiệu quả của mô hình TOD, cần có công cụ hỗ trợ ra quyết định nhằm đánh giá tác động, phân tích kịch bản phát triển và tối ưu hóa kết nối vận tải đa phương thức.

Mô hình dự báo và mô phỏng tổ chức vận tải giữ vai trò trung tâm trong việc cung cấp nền tảng định lượng và mô tả động lực tương tác giữa không gian đô thị, hành vi giao thông và năng lực vận tải [4]. Thông qua các công cụ mô phỏng, nhà nghiên cứu và nhà hoạch định có thể dự đoán lưu lượng hành khách trong tương lai, xác định mức độ phù hợp của các phương án kết nối (bus feeder, bãi đỗ xe, không gian đi bộ...), cũng như đo lường hiệu quả của các cấu hình tổ chức vận tải theo thời gian. Bên cạnh đó, mô hình còn hỗ trợ trong việc phát hiện các điểm nghẽn tiềm ẩn, từ đó đề xuất các điều chỉnh linh hoạt trong quy hoạch và đầu tư hạ tầng.

Trong điều kiện đô thị lớn như TP.HCM – nơi có sự phân mảnh về không gian, đa dạng về hành vi di chuyển và thách thức trong phối hợp các phương thức vận tải – mô hình dự báo và mô phỏng tổ chức vận tải giúp cụ thể hóa định hướng TOD thành các kịch bản vận hành có thể kiểm nghiệm, phân tích và cải tiến trước khi triển khai thực tế. Đây là công cụ để bảo đảm rằng các nhà ga TOD được kết nối hiệu quả với phần còn lại của hệ thống giao thông đô thị và khu vực phụ cận.

Với những lý do trên, nghiên cứu mô hình dự báo và mô phỏng tổ chức vận tải theo mô hình TOD tại các nhà ga ĐSTĐC và ĐSĐT trên địa bàn TP.HCM là rất cần thiết.

2. Phương pháp luận về mô hình dự báo và mô phỏng tổ chức vận tải khi phát triển TOD tại các nhà ga đường sắt

Tổ chức vận tải theo mô hình TOD khu vực nhà ga đường sắt bằng giải pháp mô hình hóa là một cách hiệu quả để nghiên cứu các luồng giao thông, giúp dự đoán tình trạng giao thông và từ đó đề xuất giải pháp tổ chức, quản lý phù hợp. Để mô hình hóa các kịch bản tổ chức vận tải, phục vụ đánh giá tác động giao thông khi phát triển mô hình TOD tại các nhà ga đường sắt, nghiên cứu sử dụng 2 mô hình:

1) Mô hình vĩ mô để xây dựng các kịch bản, kiểm định, dự báo nhu cầu vận tải, đánh giá khả năng thông hành của các tuyến đường, giao thông công cộng tiếp cận nhà ga;

2) Mô phỏng vi mô các kịch bản dựa trên phương án tổ chức vận tải, phát triển hạ tầng, hành vi của người sử dụng phương tiện giao thông.

Dữ liệu đầu ra của mô hình vĩ mô, sau khi dự báo nhu cầu giao thông và phân bổ lưu lượng trên mạng lưới theo loại phương tiện, lưu lượng trên từng đoạn đường và lưu lượng hướng rẽ tại các nút, tốc độ hành trình và hệ số sử dụng khả năng thông hành (V/C) để đánh giá khả năng thông hành, cùng với sản lượng hành khách sử dụng GTCC. Các dữ liệu này sẽ được chuẩn hóa và chuyển đổi thành đầu vào cho mô hình vi mô VISSIM, trong đó lưu lượng giao thông để tạo dòng dữ liệu vào các tuyến đường và sẽ rẽ hướng tại nút giao, phân chia phương thức để thiết lập thành phần phương tiện, tốc độ và V/C để kiểm tra tính nhất quán mô phỏng, sản lượng hành khách để thiết lập

lưu lượng GTCC và người đi bộ trong môi trường mô phỏng chi tiết nhằm đánh giá tác động lên mạng lưới giao thông quanh ga.

2.1. Mô hình dự báo và đánh giá nhu cầu giao thông

Tiến trình tổ chức vận tải tại nhà ga đường sắt là một quá trình phức tạp và đòi hỏi sự kết hợp của nhiều yếu tố liên quan. Căn cứ vào nội dung quy hoạch của khu vực nghiên cứu, nghiên cứu xác định phạm vi ảnh hưởng của nhà ga ĐSĐT và ĐSTĐC. Các thông tin đầu vào cần thiết khi đánh giá mức độ phục vụ của các tuyến đường; lưu lượng hành khách trên các tuyến GTCC; Mạng lưới giao thông khu vực xung quanh nhà ga ĐSĐT và ĐSTĐC sẽ được mô hình hóa tương ứng theo các phương án. Các thông tin đầu vào cần thiết khi thực hiện nghiên cứu đánh giá bao gồm:

Mạng lưới giao thông, mạng lưới vận tải hành khách công cộng khu vực;

Chức năng sử dụng đất của các khu vực, nhằm ước tính nhu cầu phát sinh và thu hút hành trình đến/đi.

Chất lượng giao thông sẽ được đánh giá bằng mức độ phục vụ – LOS (Level of Service). Qua sự thay đổi số lượng chuyển đi và các tuyến giao thông sẽ đánh giá mức độ phục vụ thay đổi như thế nào trong tương lai. Trong trường hợp mức độ phục vụ giảm đáng kể, tiến hành thiết lập các phương án giảm thiểu tác động và kiểm định mức độ cải thiện chất lượng giao thông [5].

Sử dụng mô hình đánh giá và mô phỏng tổ chức vận tải để ước tính lưu lượng giao thông trên các tuyến đường bộ và GTCC đến nhà ga cho năm tương lai cần đánh giá. Tiến trình mô hình hóa tổ chức vận tải được thực hiện theo các bước ở **Error! Reference source not found.**

Bảng 1. Tiến trình thực hiện dự báo và đánh giá tổ chức vận tải khu vực các nhà ga [6].

TT	Nội dung thực hiện
	Bước 1: Xác định phạm vi đánh giá và mô phỏng (Establish scope)
	Khung thời gian phân tích, đánh giá từ 2 – 5 năm; Mạng lưới đường xung quanh vị trí phát triển, trong phạm vi bán kính 1.0 – 1.5 km.
	Bước 2: Khảo sát, thu thập dữ liệu (Data collection)
	Dữ liệu giao thông hiện hữu trên mạng lưới xung quanh vị trí phát triển; Dữ liệu hình học của mạng lưới, tuyến đường, nút giao.
	Bước 3: Ước lượng phát sinh hành trình (Trip generation)
	Xác định các phân khu phân tích giao thông (Traffic Analysis Zones) → Zoning; Ước lượng hành trình phát sinh do phát triển.
	Bước 4: Phân phối hành trình (Trip distribution)
	Phân phối các hành trình đã phát sinh từ vị trí phát triển đến các khu vực lân cận; Sử dụng các mô hình phân phối (trong tiến trình dự báo giao thông 4 bước); hoặc Trường hợp qui mô phát triển nhỏ, các hành trình có thể được phân phối tỷ lệ với các hành trình hiện hữu theo khía cạnh xuất phát – đích đến (O – D).
	Bước 5: Ước lượng lưu lượng năm tương lai (Background traffic)
	Phát triển mới được đánh giá không có liên quan đến giao thông hiện tại, nhưng xem xét tỷ lệ gia tăng (tăng trưởng) lưu lượng trong bối cảnh giao thông địa phương, trong suốt thời gian phân tích (qui hoạch) từ 2 – 5 năm như đề cập ở Bước 1; Sử dụng tỷ lệ tăng trưởng lưu lượng giao do cơ quan quản lý giao thông (Sở Giao thông) tuyên bố, thông thường có giá trị trong khoảng từ (5 – 10%)/năm; Dùng công thức xác định lưu lượng năm tương lai (F) theo tỷ lệ tăng trưởng: $F = P(1+i)^n$, trong đó P = lưu lượng năm hiện tại, i = tỷ lệ tăng trưởng hàng năm, và n = số năm dự báo.
	Bước 6: Phân bổ lưu lượng giao thông (Traffic assignment)
	Các hành trình được gán (phân bổ) lên các tuyến đường trên mạng lưới xung quanh vị trí phát triển; Sử dụng nguyên lý hành trình nhanh nhất, ngắn nhất theo O – D, hoặc giải thuật cao cấp hơn tùy theo qui mô của vị trí phát triển;

Kết quả phân bố giao thông là một bộ dữ liệu lưu lượng đếm xe và lưu lượng rẽ tại tất cả các nút giao trong khu vực nghiên cứu đã được xác định ở Bước 1.

Bước 7: Tác động của bối cảnh giao thông (Background impacts)

Sử dụng các phương pháp trong Highway Capacity Manual (HCM) [7] để xác định mức độ phục vụ (LOS) tại một số vị trí quan trọng trên mạng lưới đường xung quanh vị trí phát triển;

Kết quả này sẽ dùng làm tham chiếu cho kết quả phân tích tác động do phát triển.

Bước 8: Tác động giao thông do phát triển (Development impacts)

Tính toán mức độ phục vụ (LOS) tại một số vị trí quan trọng trong năm tương lai dự báo của bối cảnh giao thông địa phương cộng với lưu lượng phát sinh từ vị trí mới phát triển;

Tác động do phát triển mới này sẽ được so sánh với tác động do bối cảnh giao thông địa phương để thấy rõ những thay đổi LOS khi có phát triển mới.

Bước 9: Kiểm toán lại công đoạn phân bố lưu lượng giao thông (Re-examine assignment)

Tùy thuộc vào kết quả ở Bước 8, phân bố lưu lượng (ở Bước 6) có thể được tính toán, kiểm tra lại nhằm tránh khả năng tạo ra các vị trí thắt cổ chai và ùn tắc.

Bước 10: Chiến lược giảm thiểu tác động (Mitigation strategies)

Tùy thuộc vào kết quả đánh giá của năm tương lai, có thể đề xuất các chiến lược giảm thiểu tác động để đảm bảo rằng mức độ phục vụ (LOS) được duy trì ngay cả khi vị trí mới phát triển được thêm vào mạng lưới;

Tính toán LOS của các chiến lược giảm thiểu, và thể hiện sự thỏa mãn về năng lực và điều kiện vận hành của mạng lưới;

Đưa ra một số lựa chọn chiến lược giảm thiểu với sự xem xét cả về góc độ giao thông lẫn chi phí.

Nhu cầu giao thông khu vực nhà ga ĐSTĐC và ĐSĐT và các vùng phụ cận được phản ánh qua lưu lượng giao thông, mức phục vụ các tuyến đường và năng lực hệ thống vận tải công cộng [8]. Trong trường hợp kết quả đánh giá cho thấy mức độ phục vụ giảm, sẽ tiến hành nghiên cứu các giải pháp tổ chức giao thông làm giảm hệ số sử dụng khả năng thông hành nhằm cải thiện mức độ phục vụ của dòng giao thông. Nếu các giải pháp tổ chức không giải quyết được, khi đó sẽ nghiên cứu các phương án nâng cấp cải tạo, mở rộng hệ thống giao thông tiếp cận.

2.2. Mô hình mô phỏng và đánh giá tác động giao thông khi phát triển mô hình TOD

Nghiên cứu sử dụng mô phỏng vi mô đánh giá nhu cầu vận tải từ các dự án lên hệ thống giao thông khu vực phát triển mô hình TOD. Phương pháp mô phỏng được biết đến như là phương pháp đơn giản hóa toán học, gần đúng hóa những hiện tượng xảy ra trong thực tế [9]. Mô hình mô phỏng thể hiện lại hành vi của các phương tiện giao thông, thông qua một môi trường ảo trên máy tính rồi từ đó mới đưa ra các phân tích đánh giá dựa trên hoạt động giao thông ảo đó.

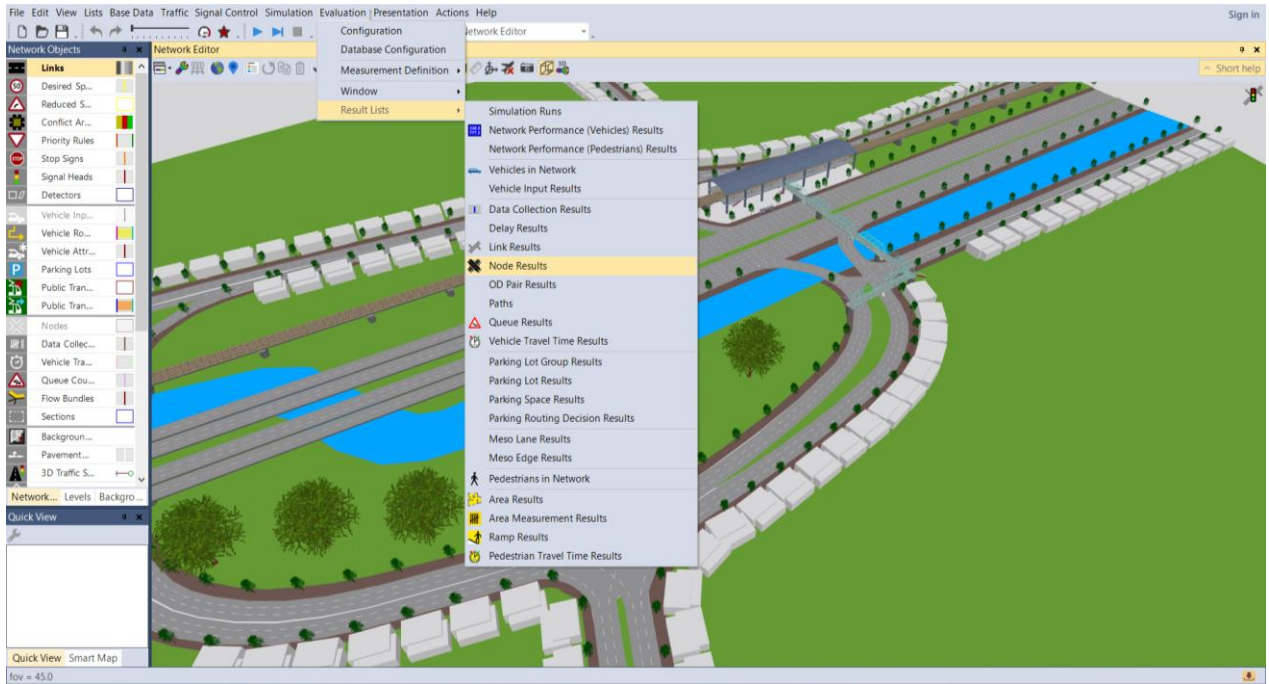
Mô hình mô phỏng vi mô dòng giao thông và các phương thức vận tải đi đến các nhà ga ĐSTĐC và ĐSĐT được xây dựng bằng phần mềm VISSIM. Phần mềm được lựa chọn bởi vì khả năng mô phỏng có thể hiệu chỉnh tương đối phù hợp với điều kiện giao thông Việt Nam, trong đó dòng giao thông hỗn hợp được mô phỏng khá chính xác [10]. Phần mềm VISSIM có khả năng mô phỏng cho từng loại phương tiện đặc biệt là có khả năng mô phỏng xe máy vốn là phương tiện đi lại chủ yếu. Quá trình mô phỏng được thực hiện trong nghiên cứu này được áp dụng nhằm mục đích mô phỏng và xuất các dữ liệu đánh giá mức độ phục vụ, độ trễ, vận tốc, chiều dài hàng chờ... giữa các phương án khác nhau làm cơ sở cho việc so sánh lựa chọn phương án phù hợp.

Xây dựng mô hình mô phỏng vi mô bằng phần mềm VISSIM còn nhằm mục đích trình diễn hoạt động giao thông bằng đồ họa 3D tạo cách nhìn trực quan cho nghiên cứu. Dựa vào số liệu đầu vào của các phương án đánh giá, hình dạng nút, tiến hành mô phỏng quá trình lưu thông và kết quả đầu ra của mô hình sẽ cung cấp các thông số cần thiết cho việc đánh giá mức độ phục vụ của nút theo các phương án. Phương pháp này hỗ trợ việc trình bày và phân tích hiệu quả, giúp các bên liên quan hiểu rõ hơn về tính

khả thi và hiệu quả của các giải pháp đề xuất. Mô hình đồ họa trực quan cũng đóng vai trò quan trọng trong việc trình diễn và so sánh các kịch bản để lựa chọn phương án tối ưu, minh họa ở hình 1.

Các số liệu đầu vào bao gồm tỉ lệ các loại xe trong dòng xe hỗn hợp, lưu lượng xe đến nút từ các nhánh

nút, lưu lượng xe thoát ra theo các hướng rẽ tại nút giao. Các thông số về kích thước hình học, vận tốc, gia tốc của từng loại xe trong dòng xe hỗn hợp gồm xe ô tô con, xe buýt, xe khách, xe tải, xe máy, xe đạp cũng được thiết lập tại bước này.



Hình 1. Mô hình mô phỏng đánh giá tác động giao thông.

Việc thiết lập cho các loại phương tiện được thực hiện qua các chức năng, bao gồm: (i) vehicle inputs: khai báo đầu vào, (ii) vehicle routes: phân bổ lưu lượng theo các hướng [11].

Quá trình mô phỏng người đi bộ khu vực nhà ga: thông số về lưu lượng, tốc độ, hành vi của người đi bộ được khai báo. Trong đó, bao gồm: (i) area: nơi người đi bộ được phát sinh và thu hút, (ii) obstacles: mô phỏng những vật cản trở người đi bộ, (iii) ramps & stairs: khai báo đường đi lên cho người đi bộ tại cầu vượt bộ hành, (iv) elevators: thang máy cho người đi bộ, (v) pedestrian inputs: khai báo đầu số lượng người đi bộ, (vi) phân bổ lưu lượng người đi bộ, (vii) pedestrian travel times: thời gian di chuyển của người đi bộ [3].

3. Tổ chức vận tải theo mô hình TOD tại các nhà ga ĐSTĐC và ĐSĐT trên địa bàn TP.HCM

Để có cơ sở xây dựng mô hình dự báo mô phỏng hệ thống vận tải, nghiên cứu thống kê và đánh giá

thực trạng tổ chức vận tải theo mô hình TOD tại các nhà ga ĐSTĐC và ĐSĐT trên địa bàn TP.HCM. TP.HCM đã và đang lên kế hoạch áp dụng mô hình TOD và tạo nên hệ thống giao thông tích hợp, ưu tiên phương tiện công cộng và hạn chế sử dụng xe cá nhân [12] [13]. Tuy nhiên quá trình triển khai mô hình TOD cho thấy nhiều hạn chế và thách thức. Nhiều dự án trọng điểm như ĐSĐT, đường trên cao, xe buýt nhanh đang gặp khó khăn về trong cơ chế thực hiện và hạn chế nguồn vốn đầu tư. Hệ thống giao thông hiện hữu quanh các nhà ga cũng chưa được trang bị đầy đủ các tiện ích phụ trợ như bến xe và bãi đỗ [1].

3.1. Tổ chức vận tải kết nối nhà ga đường sắt đô thị

Việc đánh giá công tác tổ chức vận tải tại các nhà ga Metro nhằm xác định các điểm mạnh, điểm yếu và những vấn đề cần cải thiện trong quá trình triển khai TOD. Bảng 2 tổng hợp và phân tích hiện trạng kết nối vận tải tại các nhà ga Metro số 1 đã đi vào vận hành

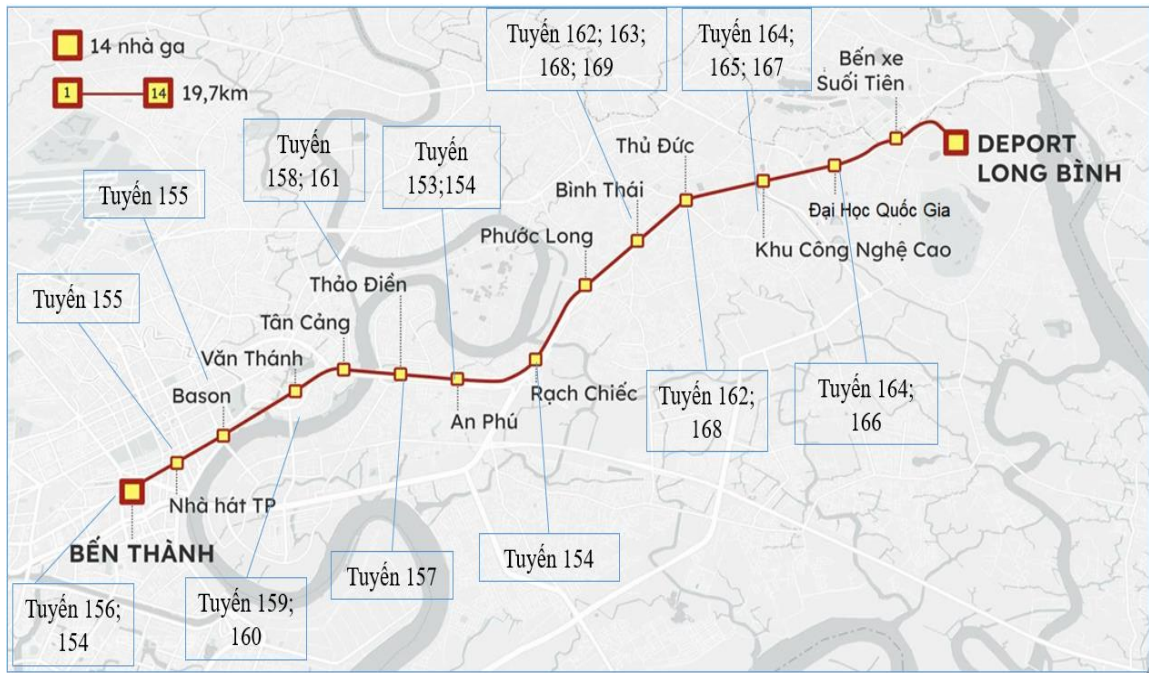
Bảng 2. Tổ chức vận tải kết nối nhà ga ĐSĐT số 1

Nội dung	Hiện trạng	Thuận lợi	Hạn chế
1. Kết nối với xe buýt	Đã có 17 tuyến buýt kết nối với 14 nhà ga tuyến Metro số 1, tần suất cao, trợ giá hợp lý.	<ul style="list-style-type: none"> - Đã triển khai kết nối buýt trung chuyển đa phương thức. - Tần suất buýt vào giờ cao điểm 10–15 phút/chuyến. - Giá vé rẻ, phù hợp với người dân. 	<ul style="list-style-type: none"> - Trạm chờ buýt chưa thuận tiện, cách xa ga. - Thiếu mái che, biển báo, thông tin tuyến. - Thiếu hạ tầng liên kết trực tiếp giữa trạm buýt và ga. - Một số ga thiếu không gian dừng đỗ cho taxi/ô tô.
2. Kết nối với phương tiện cá nhân (xe máy, ô tô)	Có các bãi giữ xe máy tại một số nhà ga tuyến Metro số 1.	<ul style="list-style-type: none"> - Bãi giữ xe máy hỗ trợ kết nối cá nhân–công cộng. - Xe máy vẫn là phương tiện phổ biến. 	<ul style="list-style-type: none"> - Thiếu tổ chức luồng di chuyển, giao thông tiếp cận không thuận tiện. - Không có bãi giữ xe cho ô tô ở nhiều ga. - Thiếu hạ tầng: làn xe đạp, bãi đỗ xe đạp.
3. Kết nối với giao thông xanh (xe đạp, đi bộ)	Chưa được phát triển đồng bộ. Vĩa hè hẹp, không an toàn; thiếu bãi giữ xe đạp.	<ul style="list-style-type: none"> - Có tiềm năng phát triển bền vững. - Giao thông xanh phù hợp kết nối tầm ngắn trong TOD. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vĩa hè không liên tục, nhiều vật cản. - Không có kết nối an toàn, liên tục giữa nhà ở–ga. - Thiếu chính sách TOD tổng thể.
4. Tính tích hợp trong quy hoạch không gian đô thị	Mới dừng lại ở thiết kế giao thông, chưa đồng bộ với quy hoạch sử dụng đất xung quanh.	<ul style="list-style-type: none"> - Một số khu vực quanh ga có tiềm năng phát triển hỗn hợp (mixed-use). 	<ul style="list-style-type: none"> - Quy hoạch phân mảnh, thiếu cơ chế đầu tư tích hợp giữa hạ tầng và không gian sử dụng đất.

Hệ thống ĐSĐT tại TP.HCM được kỳ vọng sẽ trở thành trục GTCC chủ đạo, giúp giảm tải áp lực giao thông và nâng cao hiệu quả di chuyển trong đô thị. Hệ thống kết nối Metro với các phương tiện công cộng và cá nhân vẫn còn nhiều hạn chế, chưa đảm bảo tính liên thông và thuận tiện cho hành khách.

Kết quả đánh giá cho thấy TP.HCM đã có những bước đi đầu tiên trong việc tổ chức vận tải theo định

hướng TOD, đặc biệt là với hệ thống xe buýt trung chuyển được trợ giá và kết nối trực tiếp đến nhiều nhà ga. Hệ thống xe buýt trên địa bàn TP.HCM bao gồm 144 tuyến, trong đó 107 tuyến được trợ giá, với chiều dài bình quân mỗi tuyến là 20,4 km và hoạt động trung bình 14 giờ mỗi ngày [14]. TP.HCM đã triển khai 17 tuyến xe buýt trợ giá nhằm tăng cường kết nối đa phương thức với tuyến ĐSĐT số 1 (Hình 2), góp phần thúc đẩy hiệu quả vận hành hệ thống GTCC.



Hình 2. Sơ đồ kết nối hệ thống xe buýt với nhà ga tuyến ĐSTĐC số 1 [14].

Tuy nhiên, các kết nối này vẫn mang tính đơn lẻ, thiếu đồng bộ và chưa tạo ra trải nghiệm “liền mạch” cho người sử dụng. Hệ thống cơ sở hạ tầng hỗ trợ kết nối, như trạm chờ buýt, bãi giữ xe và lối đi bộ an toàn, còn thiếu hoặc chưa phù hợp với đặc điểm vận hành của mô hình TOD. Những hạn chế trên đang ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng khai thác hiệu quả hệ thống Metro tại TP.HCM. Nếu không có các biện pháp khắc phục, việc sử dụng phương tiện cá nhân sẽ tiếp tục chiếm ưu thế, làm giảm hiệu quả của đầu tư vào GTCC.

Tuyến ĐSTĐC Bắc - Nam khi đi qua địa bàn TP.HCM có tổng chiều dài khoảng 13km, với hướng tuyến dự kiến từ Đồng Nai đi qua các khu vực quan trọng như nút giao Vành đai 3, đường Nguyễn Duy Trinh, đường Vành đai 2, đường Đỗ Xuân Hợp, nút giao An Phú và kết thúc tại ga Thủ Thiêm. Các dự án này được tích hợp với quá trình lập các đồ án quy hoạch với mục tiêu kết hợp phát triển các khu vực đô thị xung quanh nhà ga theo mô hình TOD [15] [13] [16]. Tổ chức vận tải kết nối nhà ga ĐSTĐC Thủ Thiêm được thể hiện ở 03.

3.2. Tổ chức vận tải kết nối nhà ga đường sắt tốc độ cao

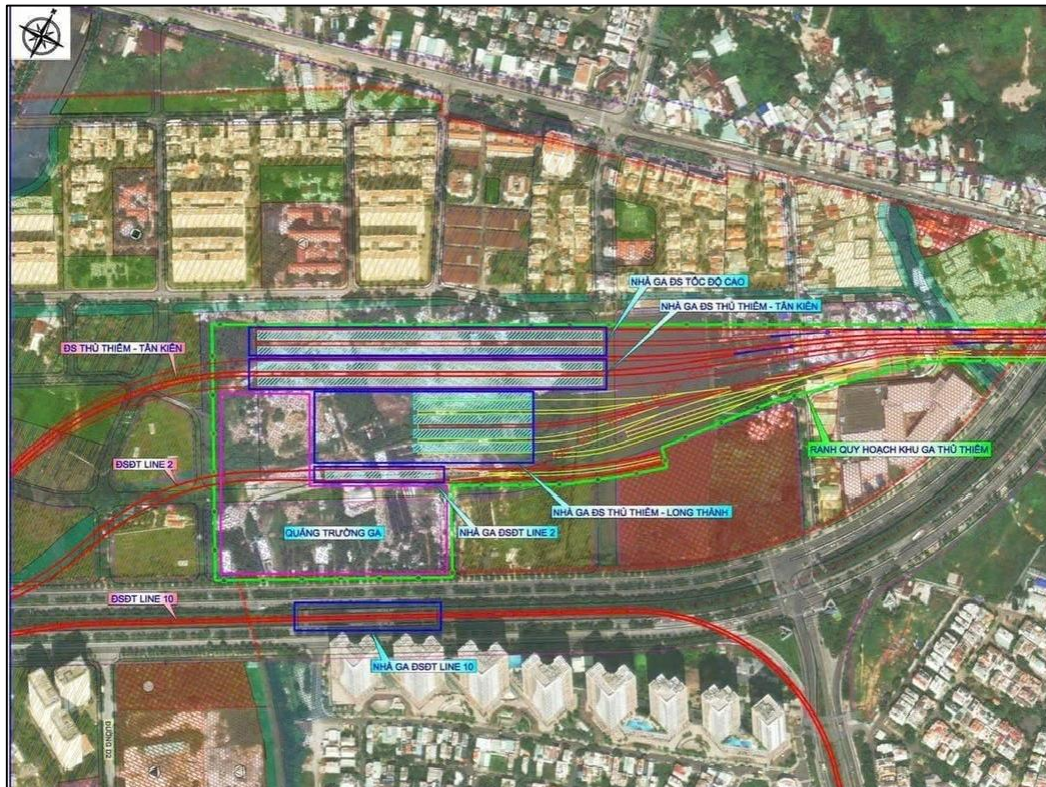
Bảng 3. Tổ chức vận tải kết nối nhà ga ĐSTĐC Thủ Thiêm.

TT	Loại hình giao thông	Tuyến/Đường kết nối chính	Vai trò/Nội dung kết nối
1	Đường sắt tốc độ cao	Tuyến ĐSTĐC Bắc – Nam (đoạn qua TP.HCM dài ~13 km, từ Đồng Nai đến Ga Thủ Thiêm)	Ga Thủ Thiêm là ga cuối tuyến, kết nối TP.HCM với Hà Nội và các tỉnh qua 20 địa phương.
2	Đường sắt đô thị (Metro)	- Tuyến ĐSTĐC số 2 (Thủ Thiêm – Củ Chi) - Tuyến ĐSTĐC số 10 (vành đai) - Tuyến ĐSTĐC Thủ Thiêm Long Thành	Tuyến xuyên tâm Bắc – Nam. Tuyến vành đai liên kết các khu đô thị vệ tinh. Kết nối sân bay quốc tế Long Thành.
3	Đường bộ chính khu vực	- Cao tốc TP.HCM – Long Thành - Dầu Giây - Mai Chí Thọ - Đồng Văn Cống	Kết nối trực tiếp đến các tỉnh lân cận. Giúp hành khách và hàng hóa tiếp cận nhanh ga Thủ Thiêm. Tăng cường khả năng kết nối vùng – đô thị. Kết nối đa hướng, giúp giảm tải cho khu vực cửa ngõ phía Đông.

TT	Loại hình giao thông	Tuyến/Đường kết nối chính	Vai trò/Nội dung kết nối
		- Lương Định Của - Vành đai 2	
		- Vành đai 3 - Nút giao An Phú	
4	Xe buýt	Các tuyến gom khách từ khu dân cư, đô thị mới, TTTM đến Ga Thủ Thiêm	Vai trò “hút khách” từ vùng lân cận, tăng cường kết nối cự ly ngắn với tuyến ĐSTĐC. Cần bố trí bến – trạm hợp lý để phát huy hiệu quả.
5	Xe buýt nhanh (BRT)	- Đại lộ Mai Chí Thọ	Giảm áp lực giao thông cá nhân, tăng tốc độ vận tải công cộng. Cần làn riêng, trạm đón chuẩn hóa, tích hợp vé điện tử.
6	Đường thủy nội đô	Tuyến ven Sông Sài Gòn	Phát triển vận tải thủy du lịch và logistic, kết nối các cảng cạn, điểm du lịch ven sông; đồng thời hỗ trợ giảm tải đường bộ.
7	Giao thông thân thiện môi trường	- Hệ thống vỉa hè, cầu vượt đi bộ, lối đi xe đạp nội khu	Hỗ trợ kết nối cuối – đầu chuyển (first/last mile), đặc biệt quan trọng trong khu đô thị Thủ Thiêm với mật độ cao và định hướng phát triển xanh.

Ga Thủ Thiêm được quy hoạch là nhà ga cuối cùng của tuyến ĐSTĐC Bắc - Nam, đóng vai trò quan trọng trong hệ thống giao thông đô thị và liên vùng của TP.HCM [17]. Với vị trí chiến lược, ga Thủ Thiêm không chỉ là điểm kết nối của tuyến đường sắt cao tốc mà còn là đầu mối giao thông quan trọng, hỗ trợ việc

liên kết giữa khu vực trung tâm TP.HCM với các tỉnh thành lân cận (03). Vị trí thể hiện tầm nhìn chiến lược trong quy hoạch giao thông, tận dụng tối đa lợi thế của hạ tầng hiện hữu và tiềm năng phát triển của khu vực [18].



Hình 3. Bố trí chung ga Thủ Thiêm [18].

Ga Thủ Thiêm được xem là điểm trung chuyển quan trọng thúc đẩy quá trình đô thị hóa và phát triển kinh tế – xã hội. Để hiện thực hóa vai trò này, cần tập trung hoàn thiện hạ tầng đường bộ, ĐSĐT, xe buýt, BRT, giao thông đường thủy, cũng như phát triển các không gian dành cho người đi bộ và xe đạp. Việc xây dựng cơ chế điều hành thống nhất, ứng dụng công nghệ thông minh và kêu gọi đầu tư phù hợp sẽ bảo đảm tính đồng bộ trong toàn bộ chuỗi vận hành.

3.3. Tổ chức kết nối hệ thống ĐSĐT và ĐSTĐC

Việc kết nối giữa các tuyến ĐSĐT với ga ĐSTĐC Thủ Thiêm không chỉ tạo nên mạng lưới giao thông công cộng liên hoàn, mà còn góp phần nâng cao năng lực vận chuyển hành khách, giảm áp lực giao thông đường bộ và thúc đẩy liên kết vùng hiệu quả. Các tuyến metro số 2 và số 10, với điểm kết nối hoặc điểm đầu – cuối tại Thủ Thiêm đóng vai trò kết nối luồng hành khách từ các khu vực trung tâm và ngoại vi về ga đường sắt cao tốc, từ đó mở rộng khả năng tiếp cận của người dân đối với mạng lưới giao thông quốc gia và quốc tế [19] [20] (Bảng 4).

Bảng 4. Tổng hợp tổ chức kết nối hệ thống ĐSĐT và ĐSTĐC

Tuyến ĐSĐT	Chiều dài (km)	Khu vực đi qua chính	Chức năng chính của tuyến	Vai trò kết nối với ga Thủ Thiêm
Tuyến số 2	62,2 km	Thủ Thiêm – Củ Chi	Tuyến xuyên tâm Bắc – Nam, kết nối trung tâm với vùng ngoại thành	Tạo điều kiện trung chuyển hành khách từ khu Tây Bắc (Củ Chi, An Sương) đến ga Thủ Thiêm để tiếp cận tuyến ĐSTĐC Bắc – Nam; hỗ trợ giảm tải đường bộ liên tỉnh
Tuyến số 10	83,9 km	TP Thủ Đức, Nhà Bè, Bình Chánh, Hóc Môn	Tuyến vành đai liên kết các khu đô thị vệ tinh	Củng cố kết nối vùng ven đô với ga Thủ Thiêm, hỗ trợ luồng chuyển tiếp từ khu vực ngoại vi đến tuyến đường sắt cao tốc; phát triển đô thị tích hợp GTCC
Đường sắt Thủ Thiêm – Long Thành	48,2 km (11,7 km qua TP.HCM)	TP Thủ Đức, Đồng Nai	Kết nối sân bay quốc tế Long Thành với TP.HCM	Là trục kết nối chiến lược của vùng kinh tế trọng điểm phía Nam với hệ thống đường sắt quốc gia; tăng hiệu quả kết nối hàng không – đô thị – cao tốc

Trong bối cảnh quy hoạch tổng thể giao thông của TP.HCM, khu vực Thủ Thiêm được định hướng phát triển các tuyến ĐSĐT hoặc đường sắt nhẹ. Việc tích hợp nhà ga Thủ Thiêm với mạng lưới ĐSĐT sẽ mở rộng thêm lựa chọn đi lại cho hành khách, đồng thời khuyến khích giảm thiểu sử dụng xe cá nhân. Tuy nhiên, quá trình xây dựng và triển khai các tuyến metro tại TP.HCM vẫn còn nhiều thách thức về vốn đầu tư, tiến độ thi công và cơ chế điều hành. Vì vậy, để đảm bảo tính liên thông và hiệu quả khai thác, cần có sự thống nhất cao về quy hoạch, huy động nguồn lực và lộ trình phát triển, giúp nhà ga Thủ Thiêm kết nối liền mạch với tuyến ĐSTĐC Bắc – Nam.

3.4. Đánh giá thực trạng tổ chức vận tải theo mô hình TOD tại khu vực nhà ga đường sắt

Mạng lưới giao thông của TP.HCM hiện nay chủ yếu dựa vào hệ thống đường bộ, vốn đã quá tải với tình trạng ùn tắc nghiêm trọng. Đặc biệt, xe máy vẫn là phương tiện chiếm ưu thế, chiếm khoảng 80% tổng số phương tiện giao thông [21]. Việc phát triển ĐSĐT không chỉ đơn thuần là xây dựng hệ thống metro, mà còn đòi hỏi sự đầu tư đồng bộ vào cơ sở hạ tầng hỗ trợ để tối ưu hóa hiệu quả vận hành; đánh giá thực trạng tổ chức vận tải theo mô hình TOD tại các khu vực nhằm tạo cơ sở để xác định các hạn chế, tiềm năng và định hướng cải thiện trong tương lai. Ở trình bày các tiêu chí đánh giá theo mô hình TOD tại khu vực nhà ga đường sắt TP.HCM theo từng nhóm tiêu chí và mức độ đáp ứng thực tế.

Bảng 5. Đánh giá thực trạng tổ chức vận tải theo mô hình TOD tại khu vực nhà ga đường sắt.

Nội dung	Thực trạng	Nội dung cụ thể	Điểm đánh
Mạng lưới xe buýt gom khách	Thiếu mạng lưới trung chuyển đến các nhà ga	Tổ chức mạng xe buýt gom khách từ khu dân cư đến ga metro chưa hiệu quả	●●●○○
Không gian trung chuyển quanh nhà ga	Nhiều nhà ga thiếu bến bãi, điểm dừng, không gian cho phương tiện gom khách	Việc tiếp cận và chuyển tiếp giữa các phương tiện gặp nhiều trở ngại	●●○○○
Hạ tầng hỗ trợ kết nối đa phương tiện	Chưa đầu tư đồng bộ cho kết nối xe buýt - metro - xe đạp công cộng	Thiếu bãi đỗ, vỉa hè cho người đi bộ, điểm đón trả khách thuận tiện quanh nhà ga	●●○○○
Mức độ tích hợp giữa các loại hình GTCC	Các hệ thống vận tải còn tách rời	Chưa có chiến lược tổng thể kết nối metro, buýt, taxi, xe cá nhân... theo mô hình TOD	●●○○○
Ứng dụng công nghệ thông tin	Đã triển khai GPS, camera, bảng đèn tại điểm dừng buýt	Tăng khả năng điều hành, cung cấp thông tin lộ trình, thời gian thực	●●●○○
Thanh toán vé điện tử liên thông	Đang thử nghiệm hệ thống ABT (vé điện tử)	Mục tiêu liên thông vé metro – buýt – phương tiện công cộng khác	●●●○○

Qua đánh giá các nhóm tiêu chí liên quan đến tổ chức vận tải, quản lý và kết nối giao thông trong mô hình TOD tại khu vực nhà ga đường sắt TP.HCM, có thể nhận thấy rằng mô hình này tuy đã bước đầu được quan tâm và định hướng triển khai, nhưng vẫn còn nhiều bất cập về kết nối liên phương tiện, cơ sở hạ tầng hỗ trợ, thể chế quản lý và khai thác nguồn lực. Điểm đánh giá trung bình ở hầu hết tiêu chí đều ở mức trung bình thấp, cho thấy cần có sự đầu tư đồng bộ hơn cả về quy hoạch, chính sách và cơ chế thực thi. Đây là cơ sở quan trọng để đề xuất các giải pháp nâng cao hiệu quả tổ chức vận tải theo mô hình TOD, góp phần hình thành hệ thống giao thông đô thị tích hợp, bền vững và thân thiện với người dân. Phát triển các trung tâm đô thị nén xung quanh các tuyến GTCC sẽ

góp phần thúc đẩy sự dịch chuyển bền vững, giảm thiểu ùn tắc giao thông và ô nhiễm môi trường [15].

3.5. Đánh giá chính sách quản lý hoạt động vận tải tại khu vực nhà ga đường sắt

Trong bối cảnh đô thị hóa nhanh chóng và nhu cầu di chuyển ngày càng gia tăng tại TP.HCM, chính sách quản lý hoạt động vận tải quanh khu vực nhà ga đường sắt đóng vai trò nền tảng cho hoạt động vận tải. Tuy nhiên, hệ thống chính sách quản lý hoạt động vận tải quanh khu vực nhà ga đường sắt vẫn chưa được xây dựng một cách đồng bộ, thiếu cơ chế điều phối tích hợp và còn phụ thuộc lớn vào nguồn vốn ngân sách cũng như các dự án ODA. Bảng 6 tổng hợp các nội dung chính sách và thực trạng quản lý vận tải tại khu vực nhà ga.

Bảng 6. Chính sách Quản lý hoạt động vận tải tại khu vực nhà ga đường sắt TP.HCM.

Chính sách	Thực trạng	Nội dung cụ thể	Đánh giá
Chính sách phát triển TOD	TOD mới đang ở giai đoạn định hướng	Nghị quyết 98/2023/QH15 [22]. Nghị quyết số 188/2025/QH15 [13].	●●●○○
Phối hợp giữa giao thông và quy hoạch đô thị	Các cơ quan quản lý hoạt động rời rạc	Thiếu liên kết giữa quy hoạch hạ tầng giao thông và phát triển đô thị	●●○○○
Quy hoạch sử dụng đất quanh nhà ga	Chưa có quy hoạch đất đai phù hợp TOD	Thiếu chính sách sử dụng đất để bố trí không gian TOD hợp lý	●●○○○

Chính sách	Thực trạng	Nội dung cụ thể	Đánh giá
Cơ chế thu hút đầu tư tư nhân	Chưa có chính sách hấp dẫn cho tư nhân	Hạ tầng trung chuyển, thương mại tích hợp chưa được đầu tư do thiếu ưu đãi	●●○○○
Mô hình quản lý nhà ga	Ban Quản lý ĐSDT chỉ quản lý hạ tầng đường sắt	Thiếu tích hợp quản lý đa phương thức, thiếu kết nối giữa các đơn vị	●●○○○
Quản lý các dự án ODA	Mỗi tuyến sử dụng tiêu chuẩn nước tài trợ ODA	Thiếu đồng bộ kỹ thuật, gây khó vận hành và kết nối hệ thống GTCC	●●○○○
Chiến lược huy động vốn	Phụ thuộc nhiều vào ngân sách, ODA	Chưa huy động tốt nguồn lực tư nhân, mô hình PPP	●●○○○

Chính sách quản lý hoạt động vận tải tại khu vực nhà ga đường sắt tại TP.HCM hiện còn thiếu sự phối hợp đồng bộ giữa quy hoạch giao thông và quy hoạch đô thị, do các cơ quan quản lý vận hành độc lập, dẫn đến hệ thống hạ tầng hỗ trợ mô hình TOD chưa được phát triển đồng bộ. Ban Quản lý ĐSDT chủ yếu tập trung vào khai thác hạ tầng đường sắt, trong khi chưa tích hợp hiệu quả với các phương thức vận tải khác như xe buýt, taxi, xe đạp công cộng hay bãi đỗ xe trung chuyển. Việc các dự án sử dụng vốn ODA từ nhiều quốc gia khác nhau cũng tạo ra sự không đồng nhất về tiêu chuẩn kỹ thuật giữa các tuyến metro, gây khó khăn trong vận hành và kết nối hệ thống. Mặc dù vậy, TP.HCM đã bắt đầu ứng dụng công nghệ thông tin vào quản lý vận tải như hệ thống cung cấp thông tin thời gian thực, GPS và bảng điện tử tại trạm xe buýt và nhà ga, nhằm nâng cao trải nghiệm hành khách và hỗ trợ chuyển tuyến. Việc mở rộng các trung tâm giao thông tích hợp quanh nhà ga đã được quan tâm, hướng đến mục tiêu phát triển đô thị thông minh, giảm ùn tắc và nâng cao chất lượng sống.

4. Ứng dụng dự báo và mô phỏng tổ chức vận tải khu vực nhà ga Thảo Điền

Để ứng dụng mô hình dự báo nhu cầu giao thông và mô hình mô phỏng đánh giá các giải pháp tổ chức vận tải khu vực vào năm 2030, nghiên cứu đề xuất nghiên cứu cụ thể nhà ga điển hình là ga Thảo Điền, thuộc tuyến Metro số 1 (Bến Thành – Suối Tiên). Ga Thảo Điền không chỉ kết nối trực tiếp với tuyến Metro số 1 mà còn có tiềm năng tích hợp với hệ thống xe buýt, buýt đường sông và các phương tiện cá nhân, nhờ vị trí chiến lược gần các trục đường chính như Xa lộ Hà Nội, đường Trần Nãi và cầu Sài Gòn. Việc mô

phỏng các kịch bản không chỉ giúp đánh giá hiệu quả tổ chức vận tải trong điều kiện hiện tại mà còn làm rõ tiềm năng cải thiện khi áp dụng các giải pháp phát triển đô thị định hướng giao thông công cộng (TOD).

4.1. Kịch bản dự báo và đánh giá nhu cầu giao thông tiếp cận khu vực các nhà ga

Nhằm ứng dụng các mô hình dự báo nhu cầu giao thông, mô phỏng các kịch bản hiện trạng và tương lai. Các kịch bản được xây dựng dựa trên cơ sở phân tích hiện trạng tổ chức giao thông, điều kiện cơ sở hạ tầng giao thông vận tải, đặc điểm phát sinh – thu hút chuyển đi, cùng với kết quả khảo sát lưu lượng thực tế trên các trục giao thông chính trong khu vực.

Kịch bản 1: Đánh giá hiện trạng giao thông khu vực (năm 2025) để kiểm định mô hình dự báo, mô phỏng và đánh giá tác động giao thông.

Từ các số liệu khảo sát giao thông và kinh tế - xã hội sẽ xây dựng các phương trình xác định tổng số chuyến đi phát sinh từ các vùng và tổng số chuyến đi thu hút đến một vùng. Đánh giá tình hình giao thông khu vực thông qua các chỉ tiêu vận tốc đi lại trung bình, thời gian trễ, chiều dài hàng chờ, số lượng phương tiện dừng.....

Kịch bản 2: Dự báo nhu cầu giao thông và đánh giá tổ chức vận tải hiện trạng vào năm 2030 (không tổ chức lại vận tải theo mô hình TOD).

Trong kịch bản này, phương án tổ chức vận tải và phát triển kết cấu hạ tầng giao thông khu vực được giả định duy trì như hiện tại, tức là không có sự can thiệp mới về đầu tư hạ tầng, cải tiến mạng lưới hay tái cấu trúc hệ thống vận tải công cộng. Kịch bản được xây dựng nhằm đánh giá tính bền vững của hệ thống

giao thông hiện tại trong bối cảnh tăng trưởng đô thị và nhu cầu đi lại ngày càng cao và trường hợp không tái cấu trúc lại tổ chức vận tải theo mô hình TOD khu vực nhà ga.

Kịch bản 3: Dự báo nhu cầu giao thông và đánh giá các giải pháp tổ chức vận tải khu vực vào năm 2030.

Dự báo nhu cầu giao thông và đánh giá mức độ phục vụ mạng lưới giao thông khu vực vào năm 2030 – trường hợp thực hiện giải pháp tổ chức vận tải theo mô hình TOD khu vực nhà ga. Đánh giá tình hình giao thông khu vực thông qua các chỉ tiêu lưu lượng trên tuyến đường, hệ số V/C, mức độ phục vụ của tuyến đường. Các giải pháp tổ chức vận tải bao gồm:

- Quy hoạch đô thị mật độ cao và đa chức năng;
- Tối ưu hóa kết nối và liên kết GTCC;
- Khuyến khích giao thông xanh và giao thông phi cơ giới;
- Đầu tư vào hạ tầng giao và dịch vụ GTCC hiện đại;
- Quản lý và điều hành giao thông hiệu quả.

Nghiên cứu xác định nhu cầu phát sinh/thu hút chuyển đi theo mô hình TOD tại Ga Thảo Điền gồm: khoanh vùng phục vụ theo mạng (đi bộ 0–400/400–800 m, xe đạp 2–3 km, bus gom 5–10 phút) [23] và thu thập dữ liệu đầu vào về dân số, việc làm, hệ số sử dụng đất, mạng lưới và dịch vụ (đường, bus, metro); sau đó áp dụng khung 4 bước (phát sinh, thu hút, phân bổ theo mô hình trọng lực với chi phí tổng quát, lựa chọn phương thức logit nhảy với thời gian đi bộ, chờ, chuyển tuyến, giá vé) [16]. Các chỉ số báo cáo gồm cơ cấu tiếp cận ga, độ trễ và LOS nút, cùng khả năng tiếp cận việc làm trong 30 phút. Kết quả kỳ vọng cho kịch bản TOD là tăng tỷ lệ sử dụng GTCC, nâng lượt khách, đồng thời giảm độ trễ tại các giao lộ quanh ga, giúp duy trì hoặc cải thiện LOS ngay cả khi nhu cầu di chuyển tăng.

4.2. Dự báo và đánh giá nhu cầu giao thông tiếp cận khu vực nhà ga

Xây dựng mô hình dự báo theo phương pháp bốn bước hướng đến mục tiêu dự báo và đánh giá nhu cầu giao thông tiếp cận các nhà ga, điều chỉnh phù hợp với đặc điểm không gian và hành trình của hàng hóa và hành khách.

4.2.1. Quá trình thực hiện dự báo nhu cầu giao thông vận tải khu vực

Bước 1: dự báo nhu cầu đi lại phát sinh và thu hút. Mô hình hấp dẫn được sử dụng phổ biến, trong đó số lượng chuyển đi giữa hai điểm được xác định dựa trên khả năng phát sinh, khả năng thu hút và chi phí đi lại giữa hai điểm. Nhu cầu phát sinh và thu hút của khu vực nghiên cứu được tính theo hàm số hồi quy theo các biến dân số, lao động và học sinh, sinh viên. Khu vực nhà ga Thảo Điền đã phát triển thành một trung tâm phục vụ vận tải với các khu dân cư, văn phòng, trung tâm thương mại và địa điểm giải trí. Sự phát triển này thu hút một lượng lớn cư dân và du khách, tạo ra nhu cầu cao về giao thông và vận tải công cộng. Tuy nhiên hiện tại lưu lượng hành khách sử dụng Metro tại ga chỉ đạt 2.500 – 3.500 lượt/ngày, vì vậy cần có các chính sách giải pháp quy hoạch nhằm thu hút hành khách sử dụng [14]. Phương trình phát sinh (P_i) và thu hút (A_j) chuyển đi là các hàm hồi quy tuyến tính được tham khảo từ “Quy hoạch Thành phố Hồ Chí Minh thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050” [15] với 3 biến lần lượt là dân số, lao động và học sinh sinh viên. Cụ thể như sau:

- Mô hình phát sinh chuyển đi:

$$G_i = (1,006536 * \text{Population}) + (2,63507 * \text{Workers}) + (1,76379 * \text{Students}) \quad (1)$$

- Mô hình thu hút chuyển đi:

$$A_j = (0,966569 * \text{Population}) + (2,73488 * \text{Workers}) + (1,713429 * \text{Students}) \quad (2)$$

Bước 2: Dự báo phân bổ chuyển đi. Trong bối cảnh TOD, khoảng cách tiếp cận ưu tiên thường nằm trong bán kính đi bộ 400–800 mét hoặc di chuyển bằng xe đạp và phương tiện kết nối trong phạm vi 2–5 km [23]. Xác định số chuyển đi giữa mỗi cặp vùng giao thông. Số chuyển đi phân bổ của mỗi cặp vùng phụ thuộc vào mức độ hấp dẫn của các vùng thu hút, chi phí, tính tiện lợi và hạn chế của việc đi lại. Sau khi ước tính chuyển đi nội vùng, các chuyển đi liên vùng được ước tính bằng cách sử dụng mô hình chính thức. Mô hình được phát triển có các dạng thức sau:

$$T_{ij} = \frac{G_i^\alpha * A_j^\beta}{d_{ij}^\gamma} \quad (i \neq j) \quad (3)$$

Trong đó:

T_{ij} : số chuyến đi liên vùng giữa vùng i và j

G_i : Tổng số hành trình phát sinh từ vùng i

A_j : Tổng số hành trình thu hút đến vùng j

d_{ij} : Khoảng cách liên vùng giữa vùng i và j

Bước 3: Dự báo phân chia phương thức vận tải. Lựa chọn phương tiện, nhằm xác định tỷ lệ người sử dụng các phương thức tiếp cận khác nhau để đến nhà ga. Mô hình logit đa lựa chọn được áp dụng để tính xác suất lựa chọn phương tiện dựa trên tiện ích cảm nhận của người dùng đối với từng lựa chọn. Các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định lựa chọn phương tiện bao gồm thời gian, chi phí, sự thoải mái, khả năng tiếp cận, cùng với các yếu tố cá nhân như thu nhập, tuổi tác và phương tiện sở hữu. Xác định số chuyến đi giữa mỗi cặp vùng theo từng phương thức vận tải (xe máy, xe hơi, xe buýt, ĐSĐT,...).

Mô hình phân chia phương thức kiểu nhị nguyên, mô đun phân chia phương thức lựa chọn mô hình thay đổi chuyến đi dạng hàm đường cong tăng trưởng.

$$y = 1/(1 + e^{b+\sum ax}) \quad (4)$$

Trong đó:

y: Xác suất lựa chọn một phương thức giao thông cụ thể;

e: Cơ số của logarit tự nhiên, $e \approx 2.718$;

b: Hằng số, phản ánh ảnh hưởng của các yếu tố không quan sát được hoặc chưa được đưa vào mô hình;

$\sum ax$: Đây là tổng của tích giữa các hệ số (a) và các biến độc lập (x), đại diện cho các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định lựa chọn phương thức.

Bảng 7. Phân bố chuyến đi hiệu chỉnh dựa theo mô hình cơ sở.

Phương thức	Số lượng chuyến đi		Tỉ lệ %		
	Chuyến đi/ngày	2019	2025	2019	2025
Xe đạp		1.712.601	527.172	6,6%	1,8%
GTCC		1.122.654	1.444.126	4,4%	5,0%
Ô tô		1.151.730	2.145.272	4,5%	7,4%
Xe máy		21.779.472	24.919.913	84,5%	85,8%
Tổng		25.766.457	29.036.483	100%	100%

Mô hình cơ sở được xây dựng năm 2019 [24] dựa trên dữ liệu khảo sát về lượng nhu cầu lưu lượng trên các tuyến đường khu vực để phản ánh đúng thực tế, mô hình mô phỏng năm 2025 đã hiệu chỉnh lại mô hình phân chia phương thức để phản ánh đúng hơn hiện trạng giao thông và các tác động khác nhau sụt giảm mức sử dụng xe đạp, tăng trưởng sở hữu ô tô cá nhân, xe máy (bảng 7) theo kịch bản 2. Đối với kịch bản 3, nghiên cứu xác định nhu cầu phát sinh/thu hút chuyến đi theo mô hình TOD tại Ga Thảo Điền với trọng tâm là thu thập dữ liệu đầu vào về dân số, việc làm, hệ số sử dụng đất, mạng lưới và dịch vụ (đường, bus, metro).

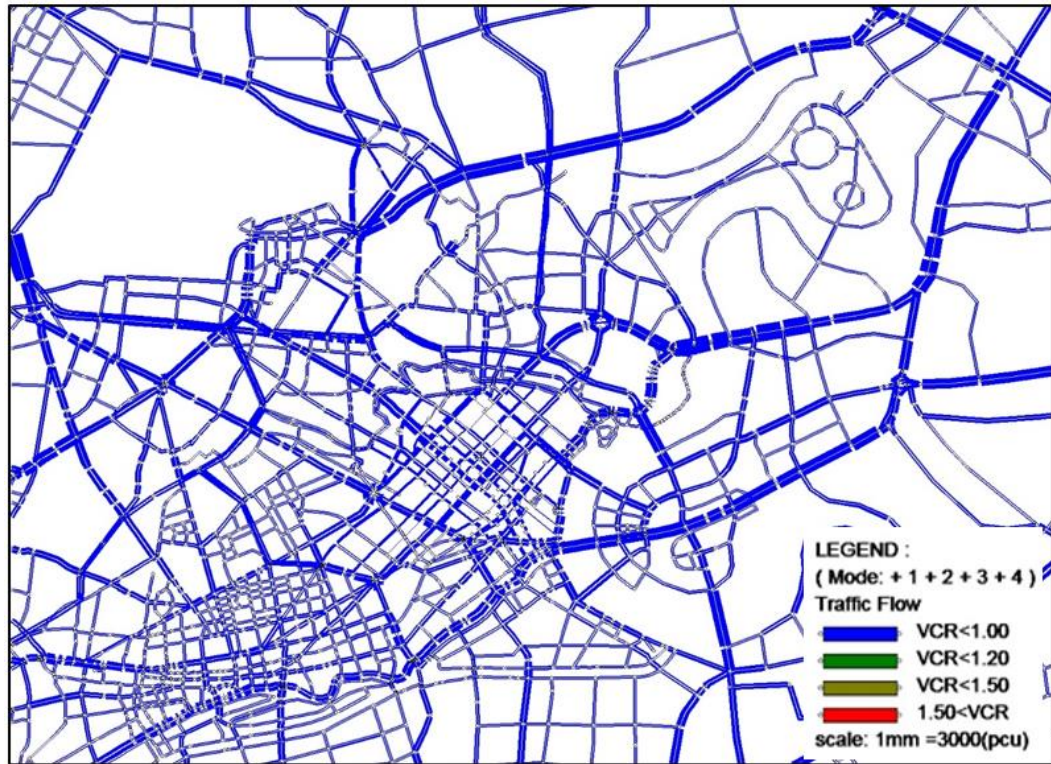
Bước 4: Dự báo phân bố lưu lượng giao thông trên mạng lưới đường. Phân bố lưu lượng giao thông trên

tuyến đường nhằm xác định tuyến đường hoặc hành lang giao thông mà người dân sẽ sử dụng để tiếp cận nhà ga. Mô hình cân bằng lưu lượng được sử dụng để phân bố lưu lượng giao thông trên mạng lưới theo nguyên tắc người dùng sẽ lựa chọn tuyến đường tối ưu nhất. Từ ma trận OD theo các phương thức vận tải, các chuyến đi bằng các loại phương tiện sẽ được quy đổi về xe tiêu chuẩn (PCU). Sau đó tiến hành phân bố lên mạng lưới đường bộ dựa trên cơ sở mối quan hệ giữa thời gian đi lại, lưu lượng giao thông và năng lực thông hành của đường.

4.2.2. Kết quả đánh giá hệ thống giao thông vận tải khu vực

Xây dựng mô hình hiện trạng và quy hoạch mạng lưới giao thông đô thị trên địa bàn thành phố Hồ Chí Minh và các tỉnh lân cận, thông tin về báo cáo đầu tư các dự án đầu tư phát triển đô thị xung quanh các nhà ga: vị trí, diện tích xây dựng, diện tích sàn, chức năng

sử dụng đất [25]...từ đó xây dựng mô hình mô phỏng dòng giao thông trên bằng phần mềm JICA STRADA đánh giá việc phát triển mô hình TOD ảnh hưởng đến nhu cầu vận tải.



Hình 4. Kết quả mô phỏng dự báo nhu cầu vận tải khu vực nghiên cứu.

Trong giai đoạn phân bổ lưu lượng, mô hình được phân bổ cân bằng để dự báo nhu cầu đi lại sát với thực tế hơn [26]. Các kịch bản tương lai sẽ giúp thiết kế các

giải pháp cho việc sử dụng phương tiện giao thông phù hợp, cải thiện và tối ưu hóa mạng lưới giao thông (hình 4).

Bảng 8. Kết quả dự báo lưu lượng và đánh giá MPV các tuyến đường kết nối nhà ga Thảo Điền năm 2030.

TT	Tuyến	Hướng tuyến	Kịch bản 2			Kịch bản 3		
			Lưu lượng (XCQĐ/h) (*)	V/C (**)	MPV (***)	Lưu lượng (XCQĐ/h)	V/C	MPV
1	Cầu Sài Gòn	Quận Bình Thạnh - Quận 2	5.284	0,65	C	5.190	0,64	C
		Quận 2 - Quận Bình Thạnh	5.217	0,64	C	5.124	0,63	C
2	Võ Nguyên Giáp	Cầu Sài Gòn - Cầu Rạch Chiếc	5.704	0,59	C	5.603	0,58	C
		Cầu Rạch Chiếc - Cầu Sài Gòn	5.666	0,58	C	5.565	0,57	C
3	Song hành Võ Nguyên Giáp	Cầu Sài Gòn - Cầu Rạch Chiếc	1.106	0,68	C	1.041	0,64	C
		Cầu Rạch Chiếc - Cầu Sài Gòn	1.041	0,64	C	981	0,61	C
4	Trần Nãi	Trần Nãi - Võ Nguyên Giáp	1.853	0,38	B	1.763	0,36	B

TT	Tuyến	Hướng tuyến	Kịch bản 2			Kịch bản 3		
			Lưu lượng (XCQĐ/h) (*)	V/C (**)	MPV (***)	Lưu lượng (XCQĐ/h)	V/C	MPV
5	(Song hành -Võ Nguyên Giáp)	Võ Nguyên Giáp - Trần Nãi	1.962	0,40	B	1.886	0,39	B
	Trần Nãi (Vòng xoay đi Thảo Điền)	Võ Nguyên Giáp - Phường Thảo Điền	2.215	0,68	C	2.086	0,64	C
	Phường Thảo Điền)	Phường Thảo Điền - Võ Nguyên Giáp	1.544	0,48	B	1.454	0,45	B
6	Trần Nãi 2 (Vòng xoay đi Lương Định Cửa)	Lương Định Cửa - Võ Nguyên Giáp	2.294	0,61	C	2.077	0,55	C
	Phường Thảo Điền - Lương Định Cửa)	Phường Thảo Điền - Lương Định Cửa	2.318	0,61	C	2.090	0,55	C
7	Quốc Hương	Xuân Thủy - Võ Nguyên Giáp	1.096	0,47	B	918	0,39	B
	Võ Nguyên Giáp - Xuân Thủy	Võ Nguyên Giáp - Xuân Thủy	1.122	0,48	B	940	0,40	B
8	Song hành Võ Nguyên Giáp (Phường Thảo Điền)	Cầu Sài Gòn - Cầu Rạch Chiếc	1.217	0,41	B	1.146	0,39	B
	Cầu Rạch Chiếc - Cầu Sài Gòn	Cầu Rạch Chiếc - Cầu Sài Gòn	1.406	0,48	B	1.325	0,45	B
9	Thảo Điền	Xuân Thủy - Võ Nguyên Giáp	2.332	0,48	B	2.197	0,45	B
	Võ Nguyên Giáp - Xuân Thủy	Võ Nguyên Giáp - Xuân Thủy	2.219	0,46	B	2.090	0,43	B
10	Trần Ngọc Diện	Trần Ngọc Diện - Thảo Điền	388	0,27	A	365	0,25	A
	Thảo Điền - Trần Ngọc Diện	Thảo Điền - Trần Ngọc Diện	369	0,26	A	348	0,24	A

(*) XCQĐ: xe con quy đổi; (**)V/C: hệ số lưu lượng/khả năng thông hành; (***) MPV: mức phục vụ.

Kết quả dự báo lưu lượng và đánh giá được thể hiện ở bảng 8. Trong kịch bản 2, không có giải pháp mới nào được bổ sung ngoài hạ tầng và tổ chức vận tải hiện tại. Theo mô phỏng, các tuyến đường quanh ga Thảo Điền trong kịch bản này có lưu lượng xe lớn (hàng nghìn xe mỗi giờ), dẫn đến tỷ lệ V/C khoảng 0.6–0.7 và MPV chủ yếu ở mức C [27]. Điều này cho thấy các tuyến chính đang vận hành ở ngưỡng tải cao: tốc độ xe bị giảm do mật độ lưu thông lớn. Thiếu sự tái cấu trúc tổ chức vận tải theo hướng công cộng sẽ dẫn đến phát triển đô thị lan toả.

Kịch bản 3 đề xuất tổ chức vận tải theo mô hình TOD khu vực ga Thảo Điền và vùng phụ cận được phát triển thành khu đô thị mật độ cao, đa chức năng.

Hệ thống giao thông được liên kết đa phương tiện: hành khách dễ dàng chuyển đổi giữa tàu điện, xe buýt, xe đạp, đi bộ và các phương tiện khác. Xây dựng các cầu bộ hành, lối đi bộ, làn đường xe đạp kết nối trực tiếp đến các nhà ga và bãi đậu xe đạp, đồng thời áp dụng vé điện tử và quản lý giao thông thông minh. Kết quả mô hình tổ chức vận tải theo mô hình TOD đến năm 2030 cho thấy các phương tiện có thể di chuyển ổn định, giao thông thông suốt, giảm số lượng chuyển đi, tránh số chuyển đi không cần thiết.

4.3. Mô hình mô phỏng tổ chức vận tải tại nhà ga

Thực hiện mô phỏng đánh giá tác động giao thông và tổ chức vận tải theo trình tự: (1) Mô phỏng vi mô dòng giao thông cá nhân, hệ thống GTCC và sự di

chuyển của khách bộ hành; (2) Mô phỏng dòng giao thông hỗn hợp bao gồm xe hơi, xe tải, xe đạp, xe buýt, đường sắt và người đi bộ.

Ga Thảo Điền có tiềm năng trở thành một trung tâm giao thông quan trọng trong mô hình TOD tại TP.HCM. Trong đó, các giải pháp quan trọng bao gồm cải thiện hệ thống chỉ dẫn, phát triển kết nối cho người đi bộ, tích hợp với các phương thức giao thông khác và áp dụng công nghệ để quản lý vận hành hiệu quả.

Các thông số hình học của khu vực Nhà ga Thảo Điền đưa vào mô hình VISSIM để phân tích hệ thống ĐSDT, xe buýt, hệ thống giao thông đường bộ gồm hình dạng, kích thước hình học từng nhánh nút, số làn xe, bề rộng làn xe, bán kính bó vỉa, vị trí vạch dừng xe, vạch người đi bộ, vị trí đèn tín hiệu giao thông, vv... được mô hình hóa trong chương trình mô phỏng VISSIM (hình 5).



Hình 5. Mô phỏng khu vực Nhà ga Thảo Điền.

Nghiên cứu đánh giá các giải pháp tổ chức vận tải tại Ga Thảo Điền và khu vực phát triển mạnh theo mô hình TOD xung quanh ga, đề xuất một số giải pháp ứng dụng tổ chức vận tải cho nhà ga, bao gồm:

Tạo tuyến đường đi bộ có mái che để tăng trải nghiệm thoải mái cho hành khách, đặc biệt trong điều kiện thời tiết nóng ẩm của TP.HCM;

Xây dựng cầu đi bộ hoặc đường hầm dành riêng cho người đi bộ, kết nối ga với các khu dân cư, trung tâm thương mại và trạm xe buýt;

Bố trí không gian dành cho xe đạp và phương tiện cá nhân nhỏ để khuyến khích di chuyển bền vững;

Phân loại các lối vào/ra theo khu vực để giảm ùn tắc;

Phát triển ứng dụng di động hoặc bản đồ số để hướng dẫn hành khách di chuyển trong ga và kết nối với các phương tiện công cộng khác (xe buýt, taxi, xe đạp công cộng);

Khuyến khích phát triển các khu trung tâm thương mại, văn phòng, dịch vụ tiện ích ngay gần ga để hành khách có thể kết hợp nhiều hoạt động (mua sắm, làm việc, giải trí) mà không cần di chuyển xa;

Thiết kế không gian mở với nhiều tiện ích như công viên, khu vui chơi, quán cà phê tích hợp trong khu vực ga để tạo trải nghiệm tốt hơn;

Xây dựng các bãi đậu xe buýt gần ga để đảm bảo hành khách có thể tiếp tục hành trình bằng xe buýt một cách thuận tiện;

Phát triển bãi đậu xe đạp thông minh hoặc dịch vụ xe đạp công cộng, giúp hành khách có thể di chuyển linh hoạt trong khu vực Thảo Điền;

Bố trí làn đường riêng cho taxi và xe công nghệ để giảm tình trạng lộn xộn trước cổng ga.

Do mô hình có xem xét cả dòng phương tiện cơ giới do vậy, việc hiệu chỉnh mô hình cũng được áp dụng. Tác giả sử dụng kết quả điều chỉnh mô hình của Văn Hồng Tấn và cộng sự [28] kết hợp với quan sát thực địa, bao gồm các thông số ở bảng 9:

Bảng 9. Các thông số hiệu chỉnh hành vi lái xe trong mô hình VISSIM.

Đặc tính	Giá trị	Ghi chú
Lateral		
Minimum lateral distance		
+ At 0km/h	0.15	Khảo sát
+ At 50km/h	0.8m	thực địa
Desired position at free flow		
	Free	
Lane change		
General behavior		
	Free lane section	
Maximum deceleration (own)	-2.28 m/s ²	Tan (2009)
Maximum deceleration (trailing)	-1.72 m/s ²	Tan (2009)
1m/s ² per distance (own)	5 m	Giả định
1m/s ² per distance (trailing)	5 m	Giả định
Accepted deceleration (own) (mean value)	-1.15 m/s ²	Tan (2009)
Accepted deceleration (trailing) (mean value)	-0.8 m/s ²	Tan (2009)
Maximum deceleration for cooperative braking	-1.72 m/s ²	Tan (2009)
Car following model (Wiedemann 74)		
Looking ahead distance	20-30m	Giả định
Number of observed vehicles	3-4	Giả định
Average satndstill distance	0.25 m	Khảo sát thực địa
Additive part of safety distance	0.5 m	Giả định
	0.75 m	Giả định

Đặc tính	Giá trị	Ghi chú
Multiplic part of safety distance		Giả định

• Kết quả đánh giá các chỉ tiêu trên mạng lưới giao thông khu vực nhà ga Thảo Điền

Mô hình VISSIM đánh giá hiệu quả của hệ thống giao thông hiện tại, xác định các điểm nghẽn và đề xuất giải pháp tối ưu hóa luồng di chuyển của hành khách và phương tiện. Kết quả từ mô hình này có thể được áp dụng để cải thiện tổ chức giao thông tại các nhà ga khác trong hệ thống metro của thành phố [7].

Bảng 10. Kết quả đánh giá cho các tham số trên mạng lưới giao thông khu vực.

Stt	Tham số	Kịch bản 2	Kịch bản 3
1	Vận tốc đi lại trung bình [km/h]	20,67	21,50
2	Thời gian trễ trung bình [s/veh]	19,24	18,50
3	Tổng quãng đường di chuyển [km]	20.327	19.747
4	Tổng thời gian di chuyển [h]	983	918
5	Tổng thời gian trễ [h]	187	175
6	Số lượng dừng	3.184	3.061

Kết quả đánh giá ở bảng 10 cho thấy hệ thống giao thông đã được tổ chức tương đối phù hợp nhưng sự kết nối giữa các phương thức vận tải còn chưa thuận lợi. Ở nhiều tuyến đường và nút giao còn bất cập, phân làn, phân luồng và chu kỳ đèn tín hiệu nhiều chỗ chưa hợp lý, không phù hợp với lưu lượng giao thông khác nhau theo các khung giờ trong ngày, dẫn đến dòng giao thông nhiều nút giao và tuyến đường dễ xảy ra hỗn loạn vào giờ cao điểm, các điểm xung đột không được giải quyết tốt, kể cả khi có cảnh sát giao thông hỗ trợ điều khiển thì ùn tắc và rối loạn giao thông vẫn xảy ra.

• Kết quả đánh giá phát sinh/thu hút người đi bộ tại nhà ga Thảo Điền

Sau khi mô hình được thiết lập và chạy thì kết quả mô hình mô phỏng cho những kết quả sau đây. Từ kết quả cho thấy tổng quan về tác động của người đi bộ đối với tổ chức giao thông khu vực ở bảng 11.

Bảng 11. Thời gian chờ của dòng người đi bộ.

Phương án	Thời gian chờ (s)			
	100 người	200 người	300 người	500 người
Đường song hành Võ Nguyên Giáp	71.68	97.99	127.43	226.29
Đường Trần Nãi (bộ hành qua Võ Nguyên Giáp)	140.94	177.51	214.08	250.65

Kết quả cho thấy, người đi bộ sẽ chờ lâu hơn nếu số lượng phương tiện tăng lên và số lượng người đi bộ nhiều hơn, thêm vào đó việc kết hợp với đèn tín hiệu cũng sẽ giảm thời gian chờ đợi của người đi bộ. Tuy nhiên trường hợp theo xu hướng phân tích thì người đi bộ với lưu lượng càng lớn thì người đi bộ đều bị ảnh hưởng gần như là như nhau.

4.4. So sánh các kịch bản

Khi so sánh, kịch bản 3 tốt hơn kịch bản 2 trên hầu hết các tiêu chí đánh giá (bảng 12). Về kỹ thuật vận tải, kịch bản 3 cho thấy lưu lượng xe đường bộ giảm nhẹ và khả năng thông hành cải thiện: V/C các tuyến chính thấp hơn hoặc tương đương kịch bản 2, cho phép hệ thống hoạt động ổn định hơn. Mức độ phục vụ (LOS) trên các trục chính trong kịch bản 3 duy trì ở mức C hoặc B, tương đương hoặc cao hơn so với kịch bản 2. Về giao thông công cộng, kịch bản 3 cho hiệu quả cao hơn rõ rệt: mạng lưới Metro, xe buýt được khai thác tối ưu, thu hút thêm hành khách (lộ trình công cộng thuận tiện sẽ kéo giảm số chuyến xe máy). Nhờ kết nối đa phương tiện và chính sách ưu tiên, tỷ trọng khách đi bằng GTCC gia tăng, giảm bớt áp lực cho mạng đường bộ.

Bảng 12. So sánh hai kịch bản.

Tiêu chí	Kịch bản 2	Kịch bản 3
Mức độ can thiệp	Không có	Mạnh, toàn diện
V/C trung bình	~0,58-0,68	~0,55-0,64
Mức độ phục vụ (LOS)	Chủ yếu B và C	B phổ biến, có A
Vận tốc đi lại trung bình [km/h]	20,67	21,50 (giảm xung đột và phân làn)
Thời gian trễ trung bình [s/phương tiện]	19,24	18,50 (tổ chức luồng giao thông)

Hiệu quả vận tải công cộng	Thấp	Cao, nhờ kết nối và tổ chức lại
Nguy cơ ùn tắc	Trung bình – Cao	Giảm đáng kể
Tính bền vững	Thấp	Cao

Về tính bền vững, kịch bản 3 cũng cho kết quả tốt hơn: đô thị hóa định hướng giao thông công cộng giảm hiện tượng phát triển lan toả, nhờ đó giảm tiêu thụ năng lượng và khí thải. Trong khi đó, kịch bản 2 tiếp tục định hình đô thị theo hướng xe cá nhân, dễ dẫn đến ô nhiễm không khí và chi phí hạ tầng lớn. Tóm lại, kết quả so sánh cho thấy kịch bản 3 (tổ chức vận tải theo TOD) tối ưu hơn kịch bản 2 về cả hiệu suất vận tải và sự bền vững của hệ thống.

5. Kết luận

Kết quả phân tích cho thấy hệ thống giao thông quanh các nhà ga còn thiếu đồng bộ, chưa hỗ trợ đầy đủ cho các hình thức giao thông bền vững như đi bộ, xe đạp, buýt trung chuyển. Trong khi đó, chính sách tổ chức và quản lý vận tải khu vực nhà ga vẫn chủ yếu phục vụ phương tiện cơ giới cá nhân, chưa tương thích với định hướng phát triển TOD. Do đó, cần sớm có điều chỉnh chính sách, quy hoạch và thiết kế kỹ thuật để thúc đẩy mô hình TOD phát huy hiệu quả.

Các mô hình dự báo và mô phỏng tại khu vực ga điển hình cho thấy rằng tổ chức lại mạng lưới giao thông theo TOD giúp giảm tỷ lệ sử dụng hạ tầng (V/C), cải thiện mức độ phục vụ (LOS), độ trễ và nâng cao hiệu quả tiếp cận bằng các phương tiện phi cơ giới. Đây là những chỉ số quan trọng để đánh giá hiệu quả của quy hoạch và tổ chức vận tải trong khu vực đô thị hóa nhanh.

Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng mô hình tổ chức vận tải theo định hướng TOD mang lại nhiều lợi ích cho hệ thống giao thông đô thị, đặc biệt tại các khu vực xung quanh nhà ga ĐSTĐC và ĐSĐT. Việc triển khai TOD góp phần thúc đẩy tính liên kết đa phương

tiện, giảm áp lực lên mạng lưới đường bộ, đồng thời cải thiện đáng kể các chỉ số vận hành như vận tốc di chuyển, thời gian trễ và mức độ phục vụ. Mô phỏng hệ thống giao thông tại khu vực ga Thảo Điền cho thấy khả năng vận hành ổn định và hiệu quả của hệ thống khi được tổ chức hợp lý theo mô hình TOD.

Trên cơ sở đó, nghiên cứu kiến nghị cần áp dụng mô hình TOD không chỉ ở tầm quy hoạch tổng thể mà còn trong thiết kế chi tiết hạ tầng giao thông, tổ chức lưu thông và quản lý vận hành. Sự phối hợp đồng bộ giữa các cơ quan quy hoạch, giao thông và quản lý đô thị là điều kiện tiên quyết để phát triển thành công các không gian đô thị tích hợp, lấy giao thông công cộng làm trung tâm, phù hợp với định hướng phát triển bền vững của TP.HCM trong tương lai.

Đóng góp của các tác giả trong bài báo

Trần Quang Phú: Phương pháp, Định hướng nghiên cứu, Trực quan hóa, Viết – bản thảo gốc, Chính sửa bản thảo, Đề xuất giải pháp. **Nguyễn Hồng Thái:** Định hướng nghiên cứu, Trực quan hóa, Chính sửa bản thảo, Đề xuất giải pháp. **Bùi Quốc An:** Biên soạn dữ liệu, Phân tích chính thức, Xây dựng mô hình mô phỏng, Viết – bản thảo gốc, Đề xuất giải pháp, Chính sửa bản thảo, dữ liệu, Phản hồi ý kiến phản biện.

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.

1st Tran Quang Phu. *University of Transport Ho Chi Minh City*

2nd Nguyen Hong Thai. *University of Transport*

3rd Bui Quoc An. *University of Transport Ho Chi Minh City*

*Corresponding author: an.bui@ut.edu.vn

Tài liệu tham khảo

- [1] Sở Giao thông Vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, *Báo cáo tình hình hạ tầng giao thông TP HCM*, tr. 1-3, tháng 10 năm 2025.
- [2] Weiyao Yang et al., "Enhancing transit-oriented development sustainability through the integrated node-place-ecology (NPE)

model," *Transport and Environment*, Volume 136, November 2024, 104456, 2024. doi: 10.1016/j.trd.2024.104456.

- [3] W. Chen, et al., "Evaluating Transit-Oriented Development Performance: An Integrated Approach Using Multisource Big Data and Interpretable Machine Learning," *J. Adv. Transportation*, 2024, Art. ID 7450495, doi: 10.1155/atr/7450495.
- [4] J. Zhang, F. Chen, Z. Cui, Y. Guo, Y. Zhu, "Deep-learning Architecture for Short-term Passenger Flow Forecasting in Urban Rail Transit," 2019. DOI: 10.48550/arXiv.1912.12563.
- [5] S. G. Kim and D. H. Kim, "Development and Application of LOS (Level of Service) for Accessibility to Railway Stations," *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, vol. 36, no. 1, pp. 115–120, 2016, doi: 10.12652/KSCE.2016.36.1.0115.
- [6] Institute of Transport Engineering, ITE, Trip Generation Manual Institute of Transport Engineering, 2016.
- [7] Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual, Seventh Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis*, Washington, D.C: National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2022.
- [8] M. G. McNally, "The four step model," Institute of Transportation Studies, Univ. of California, Irvine, Working Paper UCI-ITS-AS-WP-00-5, Dec. 2000.
- [9] J. Barceló và E. Codina, "Microscopic traffic simulation: A tool for the design, analysis and evaluation of intelligent transport systems," *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, pp. 173-203, 2005, doi: 10.1007/s10846-005-3808-2.
- [10] Y. Tan và Z. Juan, "Microscopic Traffic Simulation Model of Public Transport Vehicle Operation and Its Application," in "*Logistics the emerging frontiers of transportation and development in China, proceedings of the Eighth International Conference of Chinese Logistics and Transportation Professionals, October 8-10, 2008, Chengdu, China*", China, 2008, pp. 3908–3913, doi: 10.1061/40996(330)572.
- [11] PTV Group, *VISSIM 2024: User Manual for Traffic Simulation Software*, PTV Group, 2024.

- [12] Quốc hội, *Nghị quyết số 98/2023/QH15 ngày 24 tháng 6 năm 2023 về thí điểm một số cơ chế, chính sách đặc thù phát triển Thành phố Hồ Chí Minh*, 2023.
- [13] Quốc hội, *Nghị quyết số 188/2025/QH15 về việc thí điểm một số cơ chế, chính sách đặc thù, đặc biệt để phát triển hệ thống mạng lưới đường sắt đô thị tại Thành phố Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh*, 2025.
- [14] Trung tâm Quản lý giao thông công cộng Thành phố Hồ Chí Minh, *Báo cáo kết quả hoạt động giai đoạn 2020-2024*, 2025.
- [15] UBND TP.HCM, *Quy hoạch Thành phố Hồ Chí Minh thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050*, 2025.
- [16] UBND TP. HCM, *Quy hoạch chung thành phố Hồ Chí Minh đến năm 2040, tầm nhìn đến năm 2060*, 2024.
- [17] Liên danh Tư vấn TEDI - TRICC - TEDIS, *Báo cáo nghiên cứu tiền khả thi dự án Đường sắt tốc độ cao Bắc Nam*, 2025.
- [18] UBND TP.Hà Nội và UBND TP.Hồ Chí Minh, *Hội thảo Phát triển hệ thống đường sắt đô thị Hà Nội và TP Hồ Chí Minh*, PC Group, 2024.
- [19] Cơ quan Hợp tác Quốc tế Nhật Bản (JICA) và UBND Thành phố Hà Nội, *Nghiên cứu thực hiện phát triển đường sắt đô thị (ĐSĐT) gắn kết với phát triển đô thị ở Hà Nội, Việt Nam*, 2016.
- [20] Ban Quản lý dự án đường sắt (Bộ Xây dựng), *Báo cáo nghiên cứu tiền khả thi dự án đường sắt Thủ Thiêm - Long Thành*, 2025.
- [21] Liên hiệp các Hội Khoa học và Kỹ thuật TP.HCM, *Phát triển đô thị theo mô hình giao thông công cộng (TOD) tại TP.HCM*, Liên hiệp các Hội Khoa học và Kỹ thuật TP.HCM, Jul. 2024.
- [22] Quốc hội, *Nghị quyết số 98/2023/QH15 về thí điểm cơ chế, chính sách đặc thù phát triển TPHCM*, 2023.
- [23] Jacobs, *Transit-Oriented Development White Paper*, 2023. [Online]. Available: <https://www.jacobs.com/sites/default/files/2023-08/wp--transit-oriented-development--July23.pdf>. [Accessed: Aug. 14, 2025].
- [24] Trung tâm quản lý hạ tầng giao thông, *Số liệu mô hình dự báo nhu cầu giao thông trên địa bàn thành phố Hồ Chí Minh*, 2020.
- [25] G. Emberger, "Urban Transport in Ho Chi Minh City, Vietnam," in *Sustainable Ho Chi Minh City: Climate Policies for Emerging Mega Cities*, editors Antje Katschner, Michael Waibel, Dirk Schwede, Lutz Katschner, Michael Schmidt, Harry Storch; Springer, Cham, 2016, pp. 175-191, doi: 10.1007/978-3-319-04615-0_10.
- [26] J. -X. Zhu, Q. -Y. Luo, X. -Y. Guan, J. -L. Yang and X. Bing, "A Traffic Assignment Approach for Multi-Modal Transportation Networks Considering Capacity Constraints and Route Correlations," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 158862-158874, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3019301.
- [27] Bộ Khoa học và công nghệ, *TCVN 13592:2022, Đường đô thị - yêu cầu thiết kế*, 2022.
- [28] Hong Tan Van et al, "Upgrading from motorbikes to cars: simulation of current and future traffic conditions in Ho Chi Minh City," *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation*, 2009.