■Ngày nhận bài: 27/5/2026 ■Ngày sửa bài: 09/6/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 25/6/2026

Xây dựng cơ sở dữ liệu và giải pháp số hóa quản lý hạ tầng đô thị tại khu vực đô thị Biên Hòa, TP Đồng Nai

Development of a GIS-BASED database and digital solutions for urban infrastructure management in the Bien Hoa urban area, Dong Nai City

> THS NGUYỄN THANH TRUNG
Khoa Kỹ thuật công trình, Trường Đại học Lạc Hồng, Đồng Nai
Email: thanhtrungpc@lhu.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu nhằm xây dựng cơ sở dữ liệu và giải pháp số hóa phục vụ quản lý hạ tầng đô thị tại Khu vực đô thị Biên Hòa, TP Đồng Nai. Ứng dụng công nghệ GIS, Mobile GIS và Cloud Computing, nhóm nghiên cứu đã khảo sát, thu thập, chuẩn hóa dữ liệu thực địa theo các tiêu chuẩn quốc tế và quốc gia. Các lớp dữ liệu như cây xanh, đèn tín hiệu, biển báo, hố ga được số hóa và quản lý trên hệ thống phần mềm đa nền tảng (Desktop, Mobile). Hệ thống hỗ trợ giám sát, vận hành, bảo trì tài sản hạ tầng hiệu quả, đồng thời cải thiện quy trình xử lý sự cố và báo cáo thống kê. Kết quả góp phần hiện đại hóa công tác quản lý đô thị, tạo tiền đề cho quá trình chuyển đổi số trong quản lý hạ tầng đô thị. Nghiên cứu cũng đề xuất các kiến nghị về cơ chế vận hành và bảo mật dữ liệu hạ tầng số.

Từ khóa: Hệ thống thông tin địa lý (GIS); quản lý hạ tầng đô thị; đô thị thông minh; chuyển đổi số; cơ sở dữ liệu không gian.

ABSTRACT

This study develops a standardized GIS database and proposes digital solutions for urban infrastructure management in the Bien Hoa urban area, Dong Nai City, Vietnam. Geographic Information Systems (GIS), mobile applications, and cloud computing were integrated to collect, standardize, and manage infrastructure data in accordance with national and international standards. Infrastructure assets, including green spaces, traffic signals, road signs, and drainage facilities, were digitized and integrated into a multi-platform management system comprising Desktop, WebGIS, and Mobile applications. The developed system supports asset monitoring, maintenance planning, incident reporting, and statistical analysis, thereby improving the efficiency and effectiveness of urban infrastructure management. The proposed framework provides a practical foundation for digital transformation, smart urban governance, and sustainable urban infrastructure management in Vietnam.

Từ khóa: Geographic information systems; urban infrastructure management; smart City; data digitalization; spatial database.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh đô thị hóa diễn ra nhanh chóng, công tác quản lý hạ tầng đô thị đang trở thành một trong những thách thức lớn đối với nhiều quốc gia, đặc biệt tại các đô thị có tốc độ phát triển cao. Sự gia tăng dân số, mở rộng không gian đô thị, áp lực lên hệ thống giao thông, cấp thoát nước, chiếu sáng, cây xanh và các công trình hạ tầng kỹ thuật đòi hỏi các cơ quan quản lý phải đổi mới phương thức quản lý theo hướng số hóa, tích hợp và dựa trên thông tin số. Việc quản lý bằng hồ sơ giấy hoặc các cơ sở dữ liệu phân tán không còn đáp ứng yêu cầu cập nhật theo thời gian thực, chia sẻ dữ liệu giữa các cơ quan và hỗ trợ ra quyết định trong quản lý đô thị hiện đại [4].

Trong hệ thống hạ tầng kỹ thuật đô thị, giao thông giữ vai trò đặc biệt quan trọng vì vừa là động lực phát triển kinh tế - xã hội, vừa quyết định khả năng kết nối không gian đô thị và chất lượng phục vụ người dân. Bên cạnh hệ thống đường bộ, cầu, nút giao, biển báo, đèn tín hiệu và bãi đỗ xe, hệ thống giao thông công cộng ngày càng được xem là cấu phần quan trọng của phát triển đô thị bền vững và chuyển đổi số đô thị. Nhiều nghiên cứu quốc tế đã khẳng định rằng việc quản lý tích hợp hạ tầng giao thông với dữ liệu không gian giúp tối ưu hóa vận hành giao thông, nâng cao hiệu quả khai thác tài sản công, giảm ùn tắc, giảm phát thải khí nhà kính và hỗ trợ xây dựng các mô hình giao thông xanh. Trong xu hướng chuyển đổi số hiện nay, các công nghệ như Geographic Information Systems (GIS), Internet of Things (IoT), trí tuệ nhân tạo (AI), điện toán đám mây (Cloud Computing) và Digital Twin đang được ứng dụng rộng rãi nhằm xây dựng cơ sở dữ liệu hạ tầng thống nhất, phục vụ giám sát, phân tích và hỗ trợ ra quyết định theo thời gian thực [10].

Tại Việt Nam, quá trình chuyển đổi số quốc gia, phát triển đô thị thông minh và hiện đại hóa công tác quản lý đô thị đã được xác định

là một trong những nhiệm vụ trọng tâm thông qua nhiều chủ trương, chính sách của Chính phủ [8]. GIS đã được triển khai tại một số địa phương như Cần Thơ, Huế, Đà Nẵng nhằm phục vụ quy hoạch, quản lý hạ tầng kỹ thuật và tài nguyên đô thị. Tuy nhiên, phần lớn các hệ thống hiện nay vẫn chủ yếu tập trung vào quản lý từng lĩnh vực riêng lẻ hoặc xây dựng bản đồ chuyên đề, trong khi dữ liệu chưa được chuẩn hóa, chưa hình thành cơ sở dữ liệu không gian thống nhất và chưa tích hợp đầy đủ các chức năng quản lý tài sản hạ tầng, giám sát sự cố, bảo trì và chia sẻ thông tin dùng chung. Đặc biệt, về hạ tầng giao thông và giao thông công cộng vẫn còn phân tán giữa nhiều cơ quan quản lý, gây khó khăn trong công tác điều hành và triển khai các ứng dụng quản lý đô thị số.

Sau khi thực hiện mô hình chính quyền địa phương hai cấp, thành phố Đồng Nai trở thành một đô thị có quy mô lớn với khu vực đô thị Biên Hòa giữ vai trò trung tâm phát triển kinh tế, công nghiệp, dịch vụ và logistics của vùng Đông Nam Bộ. Tốc độ đô thị hóa cao cùng sự phát triển của các khu công nghiệp, hệ thống cảng, sân bay và các tuyến giao thông liên vùng đã làm gia tăng đáng kể áp lực đối với hệ thống hạ tầng kỹ thuật đô thị. Trong đó, việc quản lý đồng bộ các đối tượng như cây xanh, hệ thống chiếu sáng, biển báo giao thông, đèn tín hiệu, hệ thống thoát nước, hố ga và các tài sản giao thông đòi hỏi phải có một cơ sở dữ liệu số thống nhất, cho phép cập nhật thường xuyên, chia sẻ giữa các đơn vị và hỗ trợ công tác quản lý theo thời gian thực.

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu về ứng dụng GIS trong quản lý hạ tầng đô thị, khoảng trống nghiên cứu vẫn còn khá rõ. Phần lớn các nghiên cứu mới dừng ở việc xây dựng cơ sở dữ liệu cho từng nhóm đối tượng hoặc ứng dụng GIS trong quy hoạch, chưa phát triển mô hình quản lý tích hợp kết hợp Desktop GIS, WebGIS, Mobile GIS và điện toán đám mây phục vụ quản lý nhiều loại tài sản hạ tầng đô thị. Các nghiên cứu trước đây cũng chưa quan tâm đầy đủ đến việc tích hợp dữ liệu hạ tầng giao thông, phục vụ quản lý giao thông công cộng trong cùng một hệ thống quản lý số nhằm hỗ trợ vận hành, bảo trì, xử lý sự cố và chia sẻ dữ liệu giữa các cơ quan quản lý. Đây chính là khoảng trống cần được nghiên cứu và hoàn thiện trong bối cảnh chuyển đổi số và phát triển đô thị thông minh hiện nay.

Xuất phát từ yêu cầu thực tiễn đó, nghiên cứu này tập trung xây dựng cơ sở dữ liệu không gian chuẩn hóa và đề xuất giải pháp số hóa quản lý hạ tầng đô thị cho khu vực đô thị Biên Hòa, TP Đồng Nai trên hệ thống GIS, WebGIS, Mobile GIS và Cloud Computing. Hệ thống được phát triển nhằm quản lý tập trung các nhóm tài sản hạ tầng như cây xanh, hệ thống giao thông, đèn tín hiệu, biển báo, chiếu sáng và thoát nước; đồng thời hỗ trợ giám sát hiện trạng, quản lý sự cố, lập kế hoạch bảo trì, thống kê và chia sẻ dữ liệu theo thời gian thực. Kết quả nghiên cứu không chỉ nâng cao hiệu quả quản lý hạ tầng đô thị tại địa phương mà còn tạo cơ sở dữ liệu dùng chung phục vụ chuyển đổi số và hướng tới quản lý tích hợp hệ thống giao thông công cộng trong tương lai.

2. TỔNG QUAN CƠ SỞ LÝ LUẬN VÀ QUY TRÌNH THU THẬP DỮ LIỆU HẠ TẦNG KỸ THUẬT TRÊN NỀN TẢNG GIS

2.1. Cơ sở lý luận về ứng dụng GIS trong công tác quản lý hạ tầng đô thị

Hệ thống thông tin địa lý (Geographic Information Systems - GIS) là công nghệ cho phép thu thập, lưu trữ, quản lý, phân tích và trực quan hóa dữ liệu không gian kết hợp với dữ liệu thuộc tính. Trong lĩnh vực quản lý hạ tầng đô thị, hệ thống này hỗ trợ tích hợp dữ liệu từ nhiều nguồn, tạo lập cơ sở dữ liệu thống nhất phục vụ quy hoạch, quản lý tài sản, giám sát hiện trạng và hỗ trợ ra quyết định [7].

Trên thế giới, GIS đã được ứng dụng rộng rãi trong quản lý giao thông, cấp thoát nước, cây xanh, chiếu sáng và các hệ thống hạ tầng kỹ thuật tại Nhật Bản, Hàn Quốc, Hoa Kỳ và nhiều quốc gia châu Âu. Xu hướng hiện nay là tích hợp công nghệ này với WebGIS, Mobile GIS, điện toán đám mây (Cloud Computing), Internet vạn vật (IoT) và trí tuệ nhân tạo (AI) nhằm cung cấp dữ liệu theo thời gian thực, nâng cao hiệu quả quản lý tài sản đô thị.

Tại Việt Nam, GIS đã được triển khai trong nhiều nghiên cứu và dự án quản lý đô thị như CTGIS (Cần Thơ) [2], HUEGIS (Huế) [3] và nhiều nghiên cứu ứng dụng công nghệ này trong quản lý quy hoạch, hạ tầng kỹ thuật đô thị [1]. Ngoài ra, Luật Xây dựng, Luật Quy hoạch đô thị cùng Chương trình Chuyển đổi số quốc gia và Đề án phát triển đô thị thông minh đã tạo hành lang pháp lý cho việc xây dựng và khai thác cơ sở dữ liệu không gian [9]. Tuy nhiên, việc chuẩn hóa dữ liệu, chia sẻ thông tin và tích hợp giữa các lĩnh vực hạ tầng vẫn còn nhiều hạn chế, đặc biệt đối với hạ tầng giao thông và giao thông công cộng.

Như vậy, GIS không chỉ là công cụ số hóa dữ liệu mà còn là giải pháp xây dựng hệ thống quản lý hạ tầng đô thị tích hợp, nâng cao hiệu quả quản lý tài sản công, hỗ trợ chuyển đổi số và phát triển đô thị thông minh.

2.2. Khu vực nghiên cứu và nhu cầu ứng dụng GIS trong quản lý hạ tầng đô thị khu vực đô thị Biên Hòa

Khu vực đô thị Biên Hòa thuộc TP Đồng Nai, được hình thành trên cơ sở địa giới hành chính của TP Biên Hòa trước khi thực hiện sắp xếp đơn vị hành chính. Đây là khu vực đô thị trung tâm của TP Đồng Nai, giữ vai trò là hạt nhân phát triển kinh tế, công nghiệp, thương mại, dịch vụ và đầu mối giao thông của vùng Đông Nam Bộ.

Khu vực nghiên cứu gồm 25 phường của thành phố Biên Hòa trước đây, với diện tích tự nhiên khoảng 264 km^2 và quy mô dân số trên 1,2 triệu người, là một trong những khu vực đô thị có mật độ dân cư cao của Việt Nam. Với vị trí nằm trên các hành lang giao thông chiến lược như Quốc lộ 1, Quốc lộ 51, tuyến cao tốc TP.HCM - Long Thành - Dầu Giây, tuyến đường Vành đai 3 TP.HCM và tuyến đường sắt Bắc - Nam, khu vực Biên Hòa có vai trò quan trọng trong kết nối vùng kinh tế trọng điểm phía Nam, Cảng hàng không quốc tế Long Thành, hệ thống cảng biển và các khu công nghiệp trọng điểm.

Hình 1. Khu vực đô thị Biên Hòa thuộc TP Đồng Nai *(Nguồn: Tác giả 2025)*

Hệ thống hạ tầng kỹ thuật đô thị tại khu vực đô thị trung tâm này phát triển tương đối đồng bộ, bao gồm mạng lưới giao thông đô thị, hệ thống chiếu sáng công cộng, cây xanh, biển báo giao thông, đèn tín hiệu, hệ thống thoát nước và nhiều công trình hạ tầng kỹ thuật

khác. Tuy nhiên, quá trình đô thị hóa nhanh cùng với sự gia tăng quy mô dân số và phương tiện giao thông đã tạo áp lực lớn đối với công tác quản lý, vận hành và bảo trì hạ tầng đô thị. Trong khi đó, dữ liệu quản lý hiện vẫn còn phân tán giữa nhiều đơn vị, chưa được chuẩn hóa và chưa hình thành cơ sở dữ liệu không gian thống nhất phục vụ quản lý tổng hợp. Việc thiết lập cơ chế quản trị dữ liệu, chia sẻ thông tin và chuẩn hóa cơ sở dữ liệu dùng chung được xem là một trong những điều kiện tiên quyết để triển khai hiệu quả các mô hình đô thị thông minh và quản lý hạ tầng số [5].

Đặc biệt, hạ tầng giao thông và hệ thống giao thông công cộng đang giữ vai trò ngày càng quan trọng trong chiến lược phát triển đô thị bền vững của TP Đồng Nai. Việc xây dựng cơ sở dữ liệu GIS tích hợp cho các đối tượng như mạng lưới đường giao thông, biển báo, đèn tín hiệu, cây xanh, hệ thống chiếu sáng và thoát nước không chỉ phục vụ quản lý tài sản hạ tầng mà còn tạo ra cơ sở dữ liệu để kết nối với các hệ thống quản lý giao thông thông minh (ITS), quản lý giao thông công cộng và các ứng dụng điều hành đô thị số trong tương lai. Trên cơ sở đặc điểm đó, khu vực đô thị Biên Hòa được lựa chọn làm địa bàn nghiên cứu nhằm xây dựng cơ sở dữ liệu không gian và đề xuất giải pháp số hóa quản lý hạ tầng đô thị theo hướng đồng bộ, tích hợp và phục vụ quá trình chuyển đổi số của TP Đồng Nai.

Bảng 1. Phân tích SWOT về ứng dụng GIS tại khu vực đô thị Biên Hoà

Yếu tố	Nội dung
Strengths (Điểm mạnh)	• Khu vực đô thị Biên Hòa là trung tâm kinh tế, công nghiệp và đầu mối giao thông của TP Đồng Nai, có nhu cầu cao về hiện đại hóa quản lý hạ tầng và giao thông đô thị. • Hệ thống hạ tầng kỹ thuật tương đối đồng bộ, bao gồm mạng lưới giao thông đô thị, biển báo, đèn tín hiệu, hệ thống chiếu sáng, cây xanh và thoát nước, tạo điều kiện thuận lợi để xây dựng cơ sở dữ liệu GIS tích hợp.
Weaknesses (Điểm yếu)	• Dữ liệu hạ tầng còn phân tán giữa nhiều đơn vị quản lý, thiếu chuẩn hóa và chưa có cơ sở dữ liệu không gian dùng chung. • Hạ tầng công nghệ thông tin và nguồn nhân lực khai thác GIS chưa đáp ứng yêu cầu quản lý dữ liệu lớn và cập nhật theo thời gian thực. • Việc quản lý tài sản, bảo trì công trình và xử lý sự cố vẫn còn phụ thuộc nhiều vào quy trình thủ công.
Opportunities (Cơ hội)	• Chương trình chuyển đổi số quốc gia và xây dựng hạ tầng số tạo điều kiện thuận lợi cho việc triển khai hệ thống GIS trong quản lý hạ tầng đô thị. • Các công nghệ WebGIS, Mobile GIS, IoT, AI, Digital Twin và điện toán đám mây cho phép quản lý trực tuyến tài sản hạ tầng, giám sát giao thông, hỗ trợ điều hành giao thông công cộng và cung cấp dữ liệu theo thời gian thực. • Khả năng tích hợp dữ liệu giao thông, giao thông công cộng, cấp thoát nước, cây xanh và các hệ thống hạ tầng khác trên GIS sẽ nâng cao hiệu quả quản lý đô thị và hỗ trợ ra quyết định dựa trên dữ liệu.
Threats (Thách thức)	• Tốc độ đô thị hóa nhanh làm gia tăng áp lực cập nhật và duy trì tính chính xác của cơ sở dữ liệu hạ tầng. • Nguy cơ phân mảnh dữ liệu và thiếu cơ chế chia sẻ giữa các cơ quan quản lý nếu chưa có quy chuẩn thống nhất về dữ liệu không gian. • Các yêu cầu về an toàn, bảo mật và quản trị dữ liệu ngày càng cao khi mở rộng kết nối và chia sẻ dữ liệu hạ tầng đô thị.

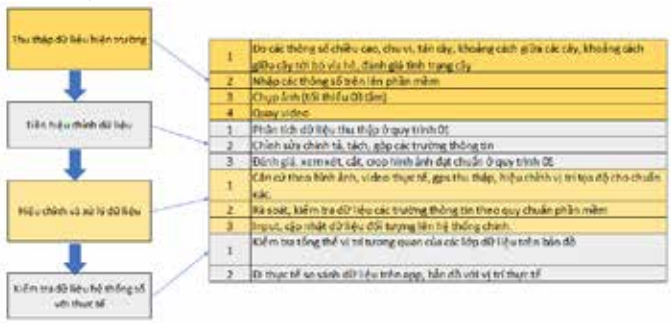
Kết quả phân tích SWOT cho thấy khu vực đô thị Biên Hòa có nhiều lợi thế để triển khai hệ thống quản lý hạ tầng đô thị trên GIS nhờ quy mô đô thị lớn, mạng lưới hạ tầng kỹ thuật tương đối hoàn chỉnh và định hướng mạnh mẽ về chuyển đổi số của TP Đồng Nai. Đặc biệt, việc tích hợp các lớp dữ liệu hạ tầng giao thông như mạng lưới đường, biển báo, đèn tín hiệu, bến bãi và từng bước kết nối với dữ liệu giao thông công cộng sẽ góp phần nâng cao hiệu quả quản lý hạ tầng theo hướng đồng bộ, liên thông và thông minh. Tuy nhiên, những hạn chế về chuẩn hóa dữ liệu, cơ chế chia sẻ thông tin và năng lực vận hành hệ thống GIS vẫn là những thách thức cần được giải quyết. Đây cũng là cơ sở để nghiên cứu đề xuất mô hình cơ sở dữ liệu không gian tích hợp và giải pháp số hóa quản lý hạ tầng đô thị nhằm nâng cao hiệu quả quản lý, khai thác và vận hành hệ thống hạ tầng trong bối cảnh chuyển đổi số.

2.3. Quy trình xây dựng cơ sở dữ liệu và số hóa hạ tầng đô thị trên GIS

Nhằm xây dựng cơ sở dữ liệu không gian phục vụ quản lý hạ tầng đô thị, nghiên cứu đề xuất quy trình số hóa tích hợp trên hệ thống GIS gồm ba nhóm quy trình chính: (i) thu thập và chuẩn hóa dữ liệu hiện trường; (ii) quản lý, cập nhật và xử lý sự cố hạ tầng; và (iii) khai thác dữ liệu phục vụ công tác thống kê, báo cáo và hỗ trợ ra quyết định. Quy trình được xây dựng theo hướng đồng bộ giữa dữ liệu không gian và dữ liệu thuộc tính, bảo đảm khả năng cập nhật thường xuyên, chia sẻ thông tin và quản lý tập trung trên hệ thống cơ sở dữ liệu GIS.

a) Thu thập và chuẩn hóa dữ liệu hiện trường

Quy trình thu thập dữ liệu được thực hiện thông qua khảo sát thực địa kết hợp thiết bị định vị GPS và ứng dụng Mobile GIS nhằm ghi nhận đầy đủ thông tin về vị trí, hình ảnh, hiện trạng và các thuộc tính kỹ thuật của từng đối tượng hạ tầng. Các nhóm tài sản được khảo sát bao gồm hệ thống giao thông, biển báo, đèn tín hiệu, cây xanh, chiếu sáng công cộng, hệ thống thoát nước và các công trình hạ tầng kỹ thuật khác.



Hình 2. Quy trình thu thập và chuẩn hóa dữ liệu hiện trường

Sau khi thu thập, dữ liệu được kiểm tra, chuẩn hóa và đồng bộ vào cơ sở dữ liệu không gian để phục vụ quản lý tập trung. Quy trình thu thập dữ liệu được thể hiện tại (Hình 2).

b) Quản lý, cập nhật và xử lý sự cố hạ tầng

Sau khi dữ liệu được tích hợp vào hệ thống GIS, các thông tin về tài sản hạ tầng được quản lý tập trung và cập nhật thường xuyên trong suốt vòng đời khai thác. Hệ thống cho phép tiếp nhận phản ánh sự cố từ nhiều nguồn như đơn vị quản lý, lực lượng tuần tra hoặc người dân thông qua ứng dụng di động. Các sự cố được phân loại theo nhóm tài sản và mức độ ưu tiên để điều phối xử lý, bên cạnh đó toàn bộ quá trình xử lý được cập nhật trực tiếp lên hệ thống kèm

theo vị trí, hình ảnh và thời gian hoàn thành. Quy trình này giúp nâng cao khả năng giám sát, rút ngắn thời gian xử lý và tạo lập cơ sở dữ liệu lịch sử phục vụ công tác quản lý, bảo trì và đánh giá chất lượng vận hành hạ tầng (Hình 3).

Hình 3. Quy trình quản lý và xử lý sự cố hạ tầng đô thị

c) Khai thác dữ liệu phục vụ quản lý và hỗ trợ ra quyết định

Cơ sở dữ liệu GIS sau khi được xây dựng sẽ phục vụ công tác thống kê, phân tích và báo cáo hạ tầng đô thị. Hệ thống hỗ trợ truy xuất nhanh thông tin về số lượng, hiện trạng và phân bố của các nhóm tài sản; tự động tổng hợp các chỉ tiêu về bảo trì, sửa chữa, tình trạng xuống cấp và tiến độ xử lý sự cố. Các báo cáo chuyên đề được trực quan hóa dưới dạng bản đồ, bảng biểu và biểu đồ, giúp cơ quan quản lý dễ dàng theo dõi hiện trạng, lập kế hoạch đầu tư, phân bổ nguồn lực và hỗ trợ ra quyết định trong quản lý hạ tầng đô thị, đồng thời từng bước tích hợp với hệ thống quản lý giao thông thông minh và các nền tảng điều hành đô thị.

3. KẾT QUẢ XÂY DỰNG CƠ SỞ DỮ LIỆU VÀ GIẢI PHÁP SỐ HOÁ QUẢN LÝ HẠ TẦNG ĐÔ THỊ CHO KHU VỰC ĐÔ THỊ BIÊN HOÀ

Trên cơ sở quy trình xây dựng cơ sở dữ liệu và số hóa hạ tầng đô thị đã đề xuất, nghiên cứu đã phát triển thành công hệ thống quản lý hạ tầng đô thị trên GIS phục vụ khu vực đô thị Biên Hòa, TP Đồng Nai. Hệ thống được thiết kế theo mô hình đa dụng, bảo đảm khả năng thu thập, cập nhật, quản lý và khai thác dữ liệu hạ tầng một cách thống nhất, hỗ trợ chia sẻ thông tin giữa các đơn vị quản lý theo thời gian thực.

Hệ thống quản lý được phát triển gồm ba thành phần chính:

(1) Hệ thống quản trị cơ sở dữ liệu (Desktop GIS): Phục vụ quản trị cơ sở dữ liệu, biên tập dữ liệu không gian, cập nhật thông tin và quản lý các lớp dữ liệu hạ tầng.

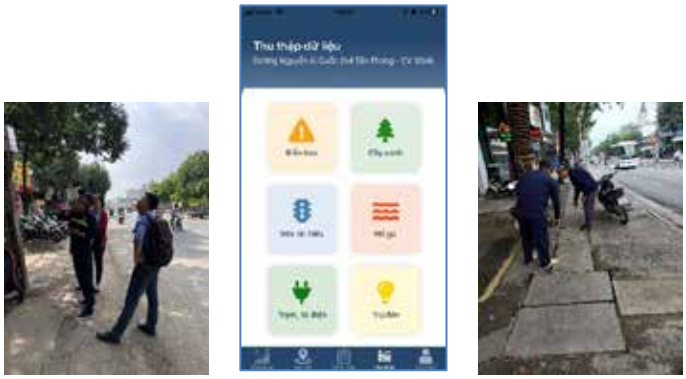
(2) Hệ thống khai thác dữ liệu trực tuyến (WebGIS): Hỗ trợ tra cứu, trực quan hóa, khai thác và chia sẻ dữ liệu hạ tầng trên nền bản đồ số thông qua môi trường Internet.

(3) Ứng dụng quản lý hiện trường (Mobile GIS): Hỗ trợ khảo sát hiện trường, cập nhật dữ liệu, phản ánh và xử lý sự cố, quản lý tài sản hạ tầng cũng như đồng bộ dữ liệu trực tiếp với hệ thống trung tâm.

Hệ thống cho phép tích hợp dữ liệu không gian và dữ liệu thuộc tính của các nhóm tài sản như cây xanh, hệ thống giao thông, biển báo, đèn tín hiệu, chiếu sáng công cộng, hệ thống thoát nước và các công trình hạ tầng kỹ thuật khác.

3.1. Xây dựng cơ sở dữ liệu không gian và số hóa hạ tầng đô thị

Trên cơ sở quy trình thu thập và chuẩn hóa dữ liệu đã đề xuất, nghiên cứu đã xây dựng cơ sở dữ liệu không gian (Geodatabase) phục vụ quản lý hạ tầng đô thị khu vực Biên Hòa, TP Đồng Nai. Hoạt động khảo sát thực địa được thực hiện bằng thiết bị di động tích hợp GPS kết hợp ứng dụng Mobile GIS nhằm thu thập thông tin không gian và các thuộc tính của các đối tượng hạ tầng. Các lớp dữ liệu này được số hóa bao gồm cây xanh, hệ thống chiếu sáng, biển báo, hệ thống giao thông, đèn tín hiệu, trạm điện, thoát nước và hố ga.



Hình 4. Thu thập thực địa và số hóa dữ liệu hạ tầng

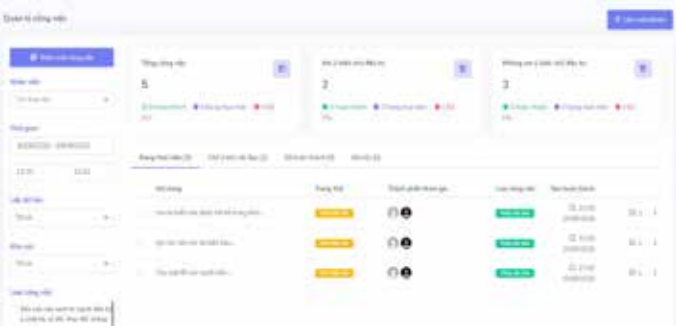
Trong quá trình khảo sát, mỗi đối tượng hạ tầng được ghi nhận đầy đủ thông tin về vị trí địa lý, hình ảnh hiện trạng, đặc điểm kỹ thuật và tình trạng khai thác. Dữ liệu sau khi thu thập được kiểm tra, hiệu chỉnh, chuẩn hóa theo cấu trúc Geodatabase và đồng bộ lên hệ thống quản lý GIS thông qua điện toán đám mây. Việc chuẩn hóa dữ liệu giúp bảo đảm tính thống nhất, hạn chế trùng lặp thông tin và tạo điều kiện thuận lợi cho việc cập nhật, khai thác và chia sẻ dữ liệu giữa các đơn vị quản lý.

Hình 5. Số hóa các đối tượng hạ tầng đô thị trên hệ thống

Kết quả xây dựng cơ sở dữ liệu không gian cho phép hình thành các lớp dữ liệu hạ tầng đô thị được quản lý tập trung trên cùng một nền tảng. Các đối tượng hạ tầng được định vị chính xác trên bản đồ số và liên kết với dữ liệu thuộc tính, hình ảnh hiện trường và lịch sử quản lý, hỗ trợ hiệu quả công tác quản lý tài sản, bảo trì, xử lý sự cố và quy hoạch phát triển hạ tầng đô thị.

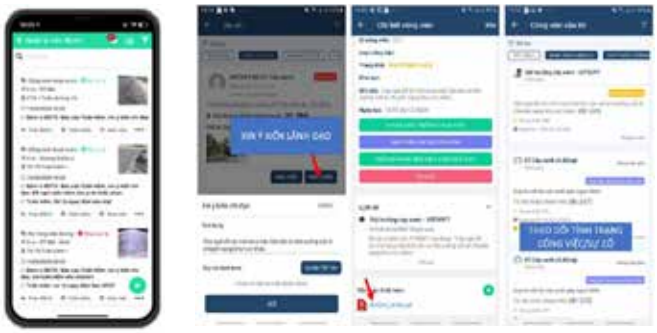
3.2. Triển khai hệ thống quản lý dữ liệu hạ tầng đô thị

Sau khi các lớp dữ liệu hạ tầng được thu thập, chuẩn hóa và tích hợp vào cơ sở dữ liệu không gian (Geodatabase), toàn bộ thông tin được quản lý tập trung trên hệ thống và phân quyền truy cập theo chức năng của từng nhóm người dùng.



Hình 6. Dashboard quản lý dữ liệu hạ tầng đô thị

Hệ thống hỗ trợ đồng bộ dữ liệu giữa Desktop GIS, WebGIS và Mobile GIS, bảo đảm khả năng cập nhật, khai thác và chia sẻ thông tin theo thời gian thực.



Hình 7. Quy trình tiếp nhận và xử lý sự cố trên Mobile GIS

Hình 8. Thống kê, phân tích và truy xuất dữ liệu trên hệ thống GIS

Thông qua việc quản lý tích hợp, các nghiệp vụ như tuần tra hiện trường, cập nhật hiện trạng, tiếp nhận và xử lý sự cố, theo dõi lịch sử bảo trì, thống kê và báo cáo được thực hiện trên cùng một hệ thống. Việc liên kết giữa dữ liệu không gian, dữ liệu thuộc tính và hình ảnh hiện trường giúp nâng cao khả năng theo dõi vòng đời của từng tài sản hạ tầng, đồng thời hỗ trợ cơ quan quản lý nhanh chóng xác định vị trí, đánh giá hiện trạng và đưa ra phương án xử lý phù hợp. Trong quá trình kiểm tra hiện trường, phần mềm cho phép đội tuần tra gửi phản ánh trực tiếp trên di động đến các bộ phận để phối hợp và có hướng chỉ đạo khắc phục, xử lý kịp thời.

Kết quả triển khai cho thấy giải pháp không chỉ chuẩn hóa, tập trung hóa dữ liệu hạ tầng đô thị mà còn nâng cao hiệu quả phối hợp giữa các đơn vị quản lý, rút ngắn thời gian xử lý sự cố, tăng tính minh bạch trong quản lý tài sản.

3.3. Đánh giá hiệu quả của hệ thống quản lý hạ tầng đô thị sau số hóa

Để đánh giá hiệu quả của giải pháp đề xuất, nghiên cứu tiến hành so sánh quy trình quản lý hạ tầng đô thị trước và sau khi triển khai hệ thống GIS tích hợp gồm Desktop GIS, WebGIS và Mobile GIS. Việc đánh giá được thực hiện dựa trên các tiêu chí về quản lý dữ liệu, khai thác thông tin, xử lý sự cố, thống kê báo cáo và hỗ trợ ra quyết định. Kết quả cho thấy hệ thống đã chuẩn hóa dữ liệu, nâng cao hiệu quả quản lý tài sản hạ tầng và tăng cường khả năng phối hợp giữa các đơn vị quản lý.

Bảng 2. So sánh hiệu quả quản lý hạ tầng trước và sau khi áp dụng hệ thống GIS

Tiêu chí	Trước khi số hóa	Sau khi số hóa	Hiệu quả đạt được
Quản lý dữ liệu	Hồ sơ giấy, Excel, dữ liệu phân tán	Cơ sở dữ liệu GIS tập trung	Dữ liệu thống nhất, dễ cập nhật
Tra cứu tài sản hạ tầng	Tìm kiếm thủ công theo hồ sơ	Tra cứu trực tiếp trên bản đồ GIS	Rút ngắn đáng kể thời gian tìm kiếm
Báo cáo sự cố	Điện thoại, văn bản hoặc nhóm trao đổi	Mobile GIS kèm vị trí GPS và hình ảnh	Tiếp nhận và xử lý nhanh hơn
Theo dõi xử lý sự cố	Khó theo dõi tiến độ	Theo dõi trạng thái theo thời gian thực	Minh bạch quá trình xử lý
Cập nhật dữ liệu	Cập nhật định kỳ, dễ sai lệch	Đồng bộ trực tuyến qua Cloud	Dữ liệu luôn được cập nhật
Thống kê, báo cáo	Tổng hợp thủ công bằng Excel	Báo cáo tự động, biểu đồ và bản đồ chuyên đề	Giảm thời gian lập báo cáo
Quản lý tài sản	Theo từng đơn vị	Quản lý tập trung trên GIS	Hạn chế trùng lặp dữ liệu
Hỗ trợ ra quyết định	Phụ thuộc kinh nghiệm	Phân tích không gian trên GIS	Nâng cao chất lượng quyết định

Kết quả so sánh trong Bảng 2 cho thấy việc ứng dụng GIS đã chuyển đổi phương thức quản lý hạ tầng từ mô hình quản lý phân tán sang quản lý tập trung trên dữ liệu không gian. Các chức năng tra cứu tài sản, cập nhật dữ liệu, xử lý sự cố và thống kê báo cáo đều được thực hiện trực tuyến trên cùng một hệ thống, giúp giảm thời gian xử lý công việc, hạn chế sai sót trong quá trình cập nhật và nâng cao tính minh bạch trong quản lý. Đây là cơ sở quan trọng để triển khai các hoạt động quản lý tài sản hạ tầng theo thời gian thực và hỗ trợ quá trình chuyển đổi số trong quản lý đô thị.

Bảng 3. Khả năng hỗ trợ quản lý của hệ thống GIS đối với các nhóm hạ tầng đô thị

Đối tượng hạ tầng	Chức năng quản lý trên GIS	Lợi ích đạt được
Cây xanh	Quản lý vị trí, chủng loại, tình trạng	Hỗ trợ bảo trì, cắt tỉa
Đèn tín hiệu	Theo dõi thiết bị, sự cố	Giảm thời gian xử lý
Biển báo giao thông	Quản lý vị trí và hiện trạng	Thuận lợi kiểm kê, thay thế
Hệ thống chiếu sáng	Theo dõi tài sản, lịch bảo trì	Nâng cao hiệu quả vận hành
Thoát nước, hố ga	Quản lý vị trí và hiện trạng	Hỗ trợ phòng chống ngập
Hạ tầng giao thông	Quản lý mạng lưới đường và các công trình phụ trợ	Cơ sở tích hợp với hệ thống ITS và quản lý giao thông công cộng trong tương lai

Kết quả trong Bảng 3 cho thấy hệ thống GIS có khả năng quản lý cùng lúc nhiều nhóm tài sản hạ tầng trên cùng một cơ sở thống nhất. Việc tích hợp dữ liệu không gian với thông tin thuộc tính giúp nâng cao hiệu quả quản lý vòng đời tài sản, hỗ trợ lập kế hoạch bảo trì, kiểm kê và xử lý sự cố. Đặc biệt, đối với hạ tầng giao thông, cơ sở dữ liệu GIS tạo thuận lợi để kết nối với các hệ thống giao thông thông minh (ITS), quản lý giao thông công cộng và điều hành đô thị số trong tương lai.

3.4. Thảo luận

Kết quả nghiên cứu phù hợp với xu hướng ứng dụng GIS trong quản lý hạ tầng đô thị tại Nhật Bản, Hàn Quốc và một số đô thị của Việt Nam, nơi dữ liệu không gian được sử dụng làm cơ sở cho quản lý tài sản và hỗ trợ ra quyết định [7]. Tuy nhiên, điểm mới của nghiên cứu là phát triển hệ thống quản lý tích hợp trên Desktop GIS, WebGIS và Mobile GIS, đáp ứng yêu cầu quản lý nhiều nhóm hạ tầng tại khu vực đô thị Biên Hòa. Mặc dù hệ thống đã đáp ứng tốt yêu cầu quản lý hiện tại, việc tích hợp dữ liệu cảm biến IoT, Digital Twin và trí tuệ nhân tạo để dự báo tình trạng hạ tầng, tối ưu hóa công tác bảo trì và hỗ trợ điều hành giao thông theo thời gian thực sẽ là hướng phát triển trong các nghiên cứu tiếp theo.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu đã xây dựng thành công cơ sở dữ liệu không gian (Geodatabase) và phát triển hệ thống quản lý hạ tầng đô thị GIS cho khu vực Biên Hòa, TP Đồng Nai. Hệ thống tích hợp Desktop GIS, WebGIS và Mobile GIS, cho phép quản lý tập trung các nhóm tài sản hạ tầng như cây xanh, hệ thống giao thông, biển báo, đèn tín hiệu, chiếu sáng và thoát nước; hỗ trợ thu thập dữ liệu hiện trường, giám sát hiện trạng, xử lý sự cố, thống kê và khai thác dữ liệu theo thời gian thực. Kết quả nghiên cứu giúp nâng cao hiệu quả quản lý tài sản hạ tầng, hỗ trợ quá trình chuyển đổi số và tạo cơ sở cho phát triển đô thị trong tương lai.

Bên cạnh đó, cơ sở dữ liệu không gian được xây dựng trong nghiên cứu còn tạo tiền đề quan trọng để tích hợp và quản lý hạ tầng giao thông, từng bước kết nối với hệ thống giao thông công cộng theo định hướng phát triển đô thị xanh. Việc số hóa các lớp dữ liệu như mạng lưới đường, biển báo, đèn tín hiệu, bến bãi và các công trình hạ tầng giao thông sẽ hỗ trợ hiệu quả cho công tác quy hoạch, tổ chức vận hành, giám sát và tối ưu hóa mạng lưới giao thông công cộng. Trong tương lai, khi được tích hợp với các công nghệ như ITS, IoT, AI và Digital Twin, hệ thống GIS sẽ hỗ trợ việc quản lý giao thông, giảm ùn tắc, giảm phát thải khí nhà kính và thúc đẩy phát triển đô thị thông minh, xanh và bền vững tại TP Đồng Nai [6].

Để phát huy hiệu quả của hệ thống trong thực tiễn, cần tiếp tục hoàn thiện cơ chế quản lý, chia sẻ và cập nhật dữ liệu giữa các cơ quan quản lý nhà nước; từ đó xây dựng các tiêu chuẩn kỹ thuật thống nhất về cơ sở dữ liệu không gian, bảo đảm an toàn, an ninh thông tin và khả năng kết nối với các hệ thống quản lý chuyên ngành. Trong các nghiên cứu tiếp theo, cần mở rộng tích hợp dữ liệu cảm biến IoT, Digital Twin và trí tuệ nhân tạo nhằm nâng cao khả năng dự báo, hỗ trợ ra quyết định và quản lý hạ tầng đô thị theo hướng chủ động, thông minh và bền vững.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Nguyễn Thị Thúy Hiên và Đinh Việt Hùng. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ GIS trong công tác quản lý quy hoạch xây dựng đô thị. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, số 16, tr. 65-71, 2013.

[2] Nguyễn Hiếu Trung và Lê Đức Toàn. Xây dựng hệ thống thông tin địa lý (CTGIS) phục vụ quản lý và quy hoạch đô thị TP Cần Thơ. Trường Đại học Cần Thơ, 2014.

[3] Nguyễn Hồng Sơn. Ứng dụng GIS trong quản lý hạ tầng hệ thống thoát nước và phương tiện vận chuyển rác thải trên địa bàn TP Huế. Sở Xây dựng Thừa Thiên Huế, 2014.

[4] United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities. Nairobi, Kenya: UN-Habitat, 2022.

[5] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Smart City Data Governance: Challenges and the Way Forward. Paris, France: OECD Publishing, 2023.

[6] World Bank. Thriving: Making Cities Green, Resilient and Inclusive in a Changing Climate. Washington, DC: World Bank, 2024.

[7] R. Ugarelli et al. Infrastructure Asset Management: Historic and Future Perspectives. Water, vol. 14, no. 8, article 1236, 2022.

[8] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 950/QĐ-TTg ngày 01/8/2018 phê duyệt Đề án phát triển đô thị thông minh bền vững Việt Nam giai đoạn 2018 - 2025 và định hướng đến năm 2030, Hà Nội, 2018.

[9] Quốc hội nước Cộng hòa Xã hội chủ nghĩa Việt Nam. Luật Xây dựng số 50/2014/QH13 và Luật số 62/2020/QH14 sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Xây dựng, Hà Nội, 2014, 2020.

[10] International Telecommunication Union (ITU). Best Practices for Graphical Digital Twins of Smart Cities. Geneva, Switzerland: ITU, 2023.