Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, ĐHXDHN, 2026, 20 (5V): 125–141

# TÍCH HỢP GIS VÀ BIM TRONG QUẢN LÝ HẠ TẦNG GIAO THÔNG ĐÔ THỊ HƯỚNG ĐẾN PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG VÀ ĐÔ THỊ THÔNG MINH: NGHIÊN CỨU TẠI THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

Trần Trung Đức[a], Tạ Quỳnh Hoa[b,*]

[a]*Trung tâm Khu vực 4, Viện Quy hoạch Đô thị và Nông thôn Quốc gia, số 10 phố Hoa Lư, phường Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*
[b]*Khoa Kiến trúc & Quy hoạch, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, số 55 đường Giải Phóng, phường Bạch Mai, Hà Nội, Việt Nam*

*Nhận ngày 14/9/2026, Sửa xong 30/10/2026, Chấp nhận đăng 02/11/2026*

**Tóm tắt**

Hệ thống thông tin địa lý (GIS) và Mô hình thông tin công trình (BIM) là hai nền tảng số quan trọng trong quản lý hạ tầng giao thông đô thị, song hiện vẫn vận hành tách biệt tại Việt Nam, tạo ra các "đảo thông tin" gây kém hiệu quả trong toàn vòng đời công trình. Nghiên cứu này đối sánh cấu trúc dữ liệu của hai nền tảng nhằm xác định cơ sở kỹ thuật cho việc tích hợp, từ đó đề xuất khung tích hợp GIS–BIM cho quản lý hạ tầng giao thông đô thị tại Thành phố Hồ Chí Minh. Phương pháp nghiên cứu kết hợp tổng quan tài liệu, đối sánh cấu trúc dữ liệu và nghiên cứu trường hợp. Thành phần ánh xạ thuộc tính của khung được kiểm thử trên mô hình mô phỏng dự án: hai mô hình dữ liệu IFC 4.3 được dựng theo cấu hình kỹ thuật điển hình của tuyến đường sắt đô thị và tuyến đường bộ vành đai, sau đó chạy ánh xạ tự động với dữ liệu thuộc tính lấy từ cơ sở dữ liệu quy hoạch thực tế của thành phố. Kết quả xác định bốn điểm chung nền tảng giữa GIS và BIM để định danh đối tượng duy nhất, cấu trúc tên thuộc tính và giá trị tương ứng (key–value), chuẩn dữ liệu mở tương thích và biểu diễn hình học ba chiều, nhằm làm cơ sở xây dựng khung tích hợp bốn lớp theo nguyên tắc "liên kết thay vì hợp nhất". Nghiên cứu đồng thời đề xuất phương án kiểm chứng và lộ trình triển khai bốn giai đoạn phù hợp với điều kiện kỹ thuật, dữ liệu và thể chế của Việt Nam.

*Từ khoá*: GIS; BIM; hạ tầng giao thông đô thị; phát triển bền vững; chuyển đổi số; Thành phố Hồ Chí Minh.

## GIS–BIM INTEGRATION FOR SUSTAINABLE AND SMART URBAN TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE MANAGEMENT: A CASE STUDY OF HO CHI MINH CITY

**Abstract**

Geographic Information Systems (GIS) and Building Information Modelling (BIM) are two important digital platforms for urban transportation infrastructure management; however, they still operate separately in Vietnam, creating "information silos" that reduce efficiency throughout the infrastructure lifecycle. This study systematically compares the data structures of the two platforms to identify the technical basis for integration and, accordingly, proposes a GIS–BIM integration framework for urban transportation infrastructure management in Ho Chi Minh City. The research methodology combines a literature review, a data-structure comparison and a case study. The study develops a conceptual and technical integration framework, whose attribute-mapping component is tested using simulated project models: two IFC 4.3 data models were built following the typical technical configuration of an urban railway line and a ring road, then an automated mapping was run using attribute data taken from the city's actual planning database. The results identify four fundamental points of convergence between GIS and BIM: unique object identification, key–value structures for attribute names and corresponding values, compatibility through open data standards, and three-dimensional geometric representation. These commonalities provide the technical basis for developing a four-layer integration framework based on the principle of "linking rather than merging." The study also proposes a validation approach and a four-phase implementation roadmap tailored to Vietnam's technical capabilities, data availability, and institutional context.

*Keywords*: GIS; BIM; urban transportation infrastructure; sustainable development; digital transformation; Ho Chi Minh City.

https://doi.org/10.31814/stce.huce2026-20(5V)-10 © 2026 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

[*]Tác giả đại diện. *Địa chỉ e-mail:* hoatq@huce.edu.vn (Hoa, T. Q.)

## 1. Giới thiệu

Thành phố Hồ Chí Minh có hệ thống hạ tầng giao thông quy mô lớn gồm trên 4.000 km đường bộ, hơn 1.000 cầu và mạng lưới metro đang triển khai; tốc độ đô thị hóa nhanh cùng đặc thù địa hình thấp trũng khiến công tác quản lý hạ tầng chịu áp lực lớn từ ùn tắc, xuống cấp công trình và ngập lụt đô thị. Trong bối cảnh đó, Quyết định 926/QĐ-BXD [1] xác định GIS và BIM là hai nền tảng trọng tâm của chuyển đổi số ngành Xây dựng, còn Nghị định 269/2025/NĐ-CP [2] tạo khung pháp lý cho phát triển đô thị thông minh; tuy nhiên hai hệ thống vẫn vận hành độc lập, tạo ra các "đảo thông tin" gây trùng lặp dữ liệu và thiếu cơ sở tin cậy cho ra quyết định. Trong khi tích hợp GIS–BIM đã được nghiên cứu rộng rãi trên thế giới [3–5] với các mô hình thành công tại Singapore [6], Seoul [7] và Helsinki [8], tại Việt Nam mới chỉ có một số công bố đơn lẻ về nhà ga metro [9] và tuyến đường cấp tỉnh [10]. Ba khoảng trống còn lại là: chưa có nghiên cứu phân tích cấu trúc dữ liệu của hai nền tảng để xác định cơ sở kỹ thuật cho tích hợp trong điều kiện Việt Nam; chưa có khung tích hợp bao quát đa loại hình hạ tầng giao thông đô thị gắn với thách thức ngập lụt và sụt lún; và chưa có lộ trình triển khai phù hợp với năng lực, nguồn lực và thể chế hiện hành. Xuất phát từ đó, nghiên cứu nhằm ba mục tiêu: đối sánh cấu trúc dữ liệu GIS và BIM để xác định cơ sở kỹ thuật cho tích hợp; xây dựng khung tích hợp cho quản lý hạ tầng giao thông đô thị tại Thành phố Hồ Chí Minh; và đề xuất phương án kiểm chứng cùng lộ trình triển khai phù hợp với điều kiện Việt Nam.

Phát triển bền vững được định nghĩa trong Báo cáo Brundtland (1987) là sự phát triển đáp ứng nhu cầu hiện tại mà không làm tổn hại khả năng đáp ứng nhu cầu của các thế hệ tương lai [11]. Trong lĩnh vực giao thông đô thị, tính bền vững thể hiện trên ba trụ cột: hiệu quả chi phí vòng đời (kinh tế), an toàn và khả năng tiếp cận công bằng (xã hội), giảm phát thải và thích ứng khí hậu (môi trường) [12, 13]. Komeily và Srinivasan (2015) nhấn mạnh rằng đánh giá tính bền vững phải gắn với bối cảnh địa phương cụ thể, không thể áp dụng bộ tiêu chí chung cho mọi đô thị [13], luận điểm này định hướng cách tiếp cận của nghiên cứu hiện tại. GIS là hệ thống thu thập, quản lý, phân tích và trực quan hóa thông tin gắn với vị trí địa lý, với thế mạnh ở phân tích không gian quy mô lớn và quản lý mạng lưới. BIM là quá trình tạo lập và quản lý thông tin số toàn diện về công trình xây dựng trong suốt vòng đời, được chuẩn hóa quốc tế theo ISO 19650 [14] và chuẩn dữ liệu IFC [15]. Trong bối cảnh đô thị thông minh, cả hai đều là thành phần cốt lõi của hệ sinh thái dữ liệu đô thị [16].

Trong hạ tầng đường bộ, nghiên cứu điển hình cao tốc Yuanchen (Trung Quốc, 2024) tích hợp BIM, GIS và IoT để quản lý thi công thông minh nhiều hầm, cầu và nút giao phức tạp, trong bối cảnh Trung Quốc bắt buộc nộp thiết kế BIM cho mọi dự án cao tốc mới từ tháng 6/2024 [4]. Utami và cs. (2024) tổng quan việc tích hợp BIM với Hệ thống quản lý mặt đường (PMS) dựa trên nền GIS [3]. Trong quản lý cầu, tổng quan 600 công bố giai đoạn 2006–2023 khẳng định GIS đã trở thành công cụ không thể thiếu [17]. Nghiên cứu điển hình đường vành đai Madrid – Calle 30 (2024) tích hợp mô hình BIM vào môi trường GIS qua định dạng IFC và SLPK, cho phép cập nhật dữ liệu cảm biến thời gian thực mà không sửa đổi mô hình gốc [18]. Tổng quan theo chuẩn PRISMA giai đoạn 2020–2024 xác định tích hợp BIM với hệ thống giám sát sức khỏe kết cấu (SHM) và UAV là xu hướng nổi bật nhất [19]. Trong đường sắt đô thị, nghiên cứu tuyến MRT Đài Loan (2023) mô tả kiến trúc Digital Twin tích hợp GIS–BIM cho metro ngầm, trong đó GIS cung cấp bối cảnh không gian và BIM cung cấp mô hình kỹ thuật chi tiết [20]. Ở cấp độ đô thị, Virtual Singapore sử dụng CityGML và IFC để tích hợp hạ tầng quốc gia trên một nền tảng thống nhất [21]; S-Map của Seoul tái tạo hạ tầng giao thông toàn thành phố 605 $km^2$ trong không gian số 3D [7]; Helsinki đề xuất mô hình Urban Information Modelling quản lý vòng đời toàn khu đô thị [8].

BIM được thúc đẩy tại Việt Nam từ Quyết định 2500/QĐ-TTg (2016), tiếp đó Quyết định 348/QĐ-BXD (2021) của Bộ Xây dựng công bố Hướng dẫn chung áp dụng Mô hình thông tin công trình, tạo

cơ sở kỹ thuật thống nhất về quy trình triển khai, vai trò các bên và yêu cầu đối với hồ sơ BIM [22], song ứng dụng trong hạ tầng giao thông còn rất hạn chế. Dự án Metro số 1 Bến Thành–Suối Tiên là trường hợp tiêu biểu nhất, với nghiên cứu tích hợp BIM–GIS cho nhà ga Tân Cảng được công bố năm 2024 [9]. Một nghiên cứu khác về tuyến đường 3/2 tại Kiên Giang cho thấy tích hợp GIS–BIM cải thiện đáng kể công tác lập kế hoạch và quản lý tài sản [10]. Về GIS, Thành phố Hồ Chí Minh đã triển khai ứng dụng trong quản lý hạ tầng trên các tuyến Võ Văn Kiệt và Mai Chí Thọ. Tuy nhiên, phần lớn dự án đường bộ, cầu và hầm trên cả nước vẫn sử dụng bản vẽ CAD 2D, và chưa có tiêu chuẩn quốc gia về tích hợp GIS–BIM cho hạ tầng giao thông.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### *2.1. Khu vực nghiên cứu*

Thành phố Hồ Chí Minh được lựa chọn làm trường hợp nghiên cứu dựa trên ba tiêu chí. Thứ nhất, đây là một trong những đô thị có hệ thống hạ tầng giao thông đa dạng và phức tạp tại Việt Nam, bao gồm đầy đủ các loại hình đường bộ, metro, cầu và hầm ngầm. Thứ hai, địa hình thấp trũng, mạng lưới kênh rạch dày đặc, cùng tác động của ngập lụt và sụt lún nền đất tạo ra yêu cầu quản lý đặc thù, đòi hỏi tham khảo và vận dụng mô hình quốc tế phù hợp với bối cảnh địa phương. Thứ ba, thành phố đã có hệ thống dữ liệu GIS tương đối đầy đủ và đang triển khai các dự án hạ tầng lớn có áp dụng BIM, tạo điều kiện thuận lợi cho nghiên cứu tích hợp.

### *2.2. Phương pháp và quy trình nghiên cứu*

Nghiên cứu kết hợp ba phương pháp: tổng quan tài liệu, đối sánh cấu trúc dữ liệu và nghiên cứu trường hợp (case study) tại Thành phố Hồ Chí Minh, được triển khai theo ba bước.

- Bước 1 – Tổng quan tài liệu.

Tài liệu được thu thập từ Scopus, Web of Science, ScienceDirect và Google Scholar với các từ khóa “GIS BIM integration”, “transportation infrastructure”, “smart city”, “sustainable transport”. Tiêu chí lựa chọn gồm: công bố giai đoạn 2015–2025, thuộc lĩnh vực hạ tầng giao thông đô thị, liên quan trực tiếp đến GIS, BIM hoặc tích hợp cả hai. Các văn bản pháp lý và tiêu chuẩn kỹ thuật của Việt Nam cũng được phân tích bổ sung.

Bộ dữ liệu GIS sử dụng trong nghiên cứu gồm hai nguồn. Nguồn thứ nhất là cơ sở dữ liệu của Đồ án điều chỉnh quy hoạch chung Thành phố Hồ Chí Minh đến năm 2040, tầm nhìn đến năm 2060, được phê duyệt theo Quyết định số 1125/QĐ-TTg [23] ngày 11/6/2025 của Thủ tướng Chính phủ, bao gồm hai bộ dữ liệu hiện trạng (30 lớp) và quy hoạch (43 lớp), được xây dựng, triển khai và quản lý theo Thông tư số 16/2025/TT-BXD [24] quy định chi tiết một số điều của Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn. Nguồn thứ hai là cơ sở dữ liệu nền địa lý quốc gia tỷ lệ 1:25.000 (162 lớp) theo QCVN 88:2025/BNNMT [25], cung cấp dữ liệu địa hình gồm điểm độ cao và đường bình độ. Nghiên cứu cũng khảo sát cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ 1:2.000 theo QCVN 73:2023/BTNMT [26] trên một phần địa bàn thành phố nhằm đối chiếu mức độ chi tiết giữa các tỷ lệ dữ liệu. Đặc trưng kỹ thuật của các lớp dữ liệu chính được trình bày trong Bảng 1.

Toàn bộ các lớp dữ liệu của cả hai nguồn đều có trường mã định danh duy nhất cho từng đối tượng: dữ liệu đồ án sử dụng mã thông tin quy hoạch và mã đối tượng theo Thông tư số 16/2025/TT-BXD [24], trong khi dữ liệu nền địa lý sử dụng mã nhận dạng theo chuẩn thông tin địa lý cơ sở QCVN 42:2020/BTNMT [27], là điều kiện kỹ thuật thuận lợi cho cơ chế liên kết theo định danh được đề xuất trong nghiên cứu này.

- Bước 2 – Đối sánh cấu trúc dữ liệu và phân tích thực trạng định lượng

Cấu trúc dữ liệu của GIS và BIM được đối sánh theo bảy tiêu chí kỹ thuật nhằm xác định các điểm tương đồng có thể khai thác cho tích hợp. Song song, bộ dữ liệu GIS toàn Thành phố Hồ Chí

Minh được phân tích bằng phép chồng lớp không gian giữa mạng lưới giao thông và trường cao độ nền nội suy từ dữ liệu địa hình, nhằm định lượng tỷ lệ chiều dài tuyến theo từng cấp cao độ và xác định khoảng trống thông tin mà GIS đơn lẻ không giải quyết được. Phân tích đối chứng trên địa bàn thành phố Thủ Đức (cũ) bằng dữ liệu nền tỷ lệ 1:2.000 được thực hiện để đánh giá ảnh hưởng của mật độ điểm khống chế tới kết quả.

Bảng 1. Đặc trưng kỹ thuật của các lớp dữ liệu GIS sử dụng trong nghiên cứu

| Lớp dữ liệu | Nguồn | Hệ quy chiếu | Số đối tượng | Đặc trưng kỹ thuật |
|---|---|---|---|---|
| Mạng lưới đường bộ hiện trạng | Đồ án QHC 2040 [24] | VN-2000/TM-3 105°45′ (EPSG:9210) | 18.566 | 8.938,2 km; 8 cấp phân loại |
| Mạng lưới đường bộ quy hoạch | Đồ án QHC 2040 [24] | VN-2000/TM-3 105°45′ | 3.509 | 3.572,4 km; mở mới và mở rộng |
| Mạng lưới đường sắt quy hoạch | Đồ án QHC 2040 [24] | VN-2000/TM-3 105°45′ | 136 | 1.252,0 km; ĐS đô thị, ĐS quốc gia, GTCC sức chở lớn |
| Cao độ nền quy hoạch | Đồ án QHC 2040 [24] | VN-2000/TM-3 105°45′ | 240 | Điểm cao độ thiết kế |
| Điểm độ cao | Nền địa lý 1:25.000 [25] | VN-2000/UTM 48N (EPSG:3405) | 6.479 | Cao độ 0,1–35,5 m; độ chính xác mặt phẳng 10 m |
| Đường bình độ | Nền địa lý 1:25.000 [25] | VN-2000/UTM 48N | 381 | Khoảng cao đều 2,5 m |

- Bước 3 – Tổng hợp kết quả và xây dựng khung tích hợp

Kết quả hai bước trên được tổng hợp theo ba nhóm: các điểm chung về cấu trúc dữ liệu, phân loại theo ba tầng cú pháp, lược đồ và ngữ nghĩa để xác định mức độ tương thích; các khác biệt kỹ thuật, đối chiếu với điều kiện dữ liệu thực tế tại địa bàn để xác định yêu cầu xử lý; và kinh nghiệm quốc tế, phân loại theo mức độ có thể kế thừa, cần điều chỉnh hoặc phải xây dựng mới cho bối cảnh Việt Nam. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất khung tích hợp GIS–BIM, thiết kế phương án kiểm chứng cùng bộ chỉ tiêu đánh giá và xây dựng lộ trình triển khai theo giai đoạn. Thành phần ánh xạ thuộc tính của khung được kiểm thử trên mô hình mô phỏng dự án. Nghiên cứu dựng hai mô hình dữ liệu IFC 4.3 cho tuyến đường sắt đô thị và tuyến đường bộ vành đai, trong đó cấu trúc đối tượng, phân cấp công trình và bộ thuộc tính được thiết lập theo cấu hình kỹ thuật điển hình của từng loại hình, hệ quy chiếu khai báo theo VN-2000, còn hình học tim tuyến và dữ liệu thuộc tính lấy từ cơ sở dữ liệu quy hoạch của thành phố. Trên hai mô hình này, nghiên cứu lập trình quy trình ánh xạ tự động và đo lường kết quả theo bộ chỉ tiêu đã đề xuất. Kết quả được trình bày tại Mục 3.4.

## 3. Kết quả nghiên cứu

### *3.1. Đối sánh cấu trúc dữ liệu GIS và BIM*

Việc xác định cơ sở kỹ thuật cho tích hợp đòi hỏi phân tích cấu trúc dữ liệu của hai nền tảng theo ba tầng: hình học, ngữ nghĩa và không gian tham chiếu.

- Tầng hình học: GIS mô tả hình học ở dạng bề mặt (surface-based): một công trình cầu được biểu diễn bằng một đối tượng đường hoặc vùng kèm thuộc tính chiều dài, chiều rộng. BIM mô tả hình học ở dạng khối rắn tham số (parametric solid): cùng công trình đó được phân rã thành hàng nghìn cấu kiện với đầy đủ tiết diện, cấu tạo bên trong và quan hệ ràng buộc hình học. Sự chênh lệch về mức chi tiết khiến khả năng chuyển đổi hình học đầy đủ bị hạn chế và thường ưu tiên chiều từ BIM sang GIS kèm đơn giản hóa có kiểm soát; chiều ngược lại vẫn khả thi ở mức cung cấp dữ liệu nền và hình học khởi tạo cho mô hình BIM, song chưa đáp ứng yêu cầu tái tạo đầy đủ chi tiết cấu tạo công trình nếu chỉ dựa trên bộ dữ liệu GIS hiện có. Cần lưu ý, hạn chế này phản ánh thực trạng của bộ dữ liệu GIS hiện hành, không phải giới hạn của công nghệ GIS: chuẩn CityGML hỗ trợ cả hình học khối và quan hệ ngữ nghĩa phân cấp.

Bộ dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu cho thấy sự khác biệt về độ chính xác không gian giữa GIS và BIM. Cơ sở dữ liệu nền địa lý quốc gia tỷ lệ 1:25.000 có giá trị độ chính xác mặt phẳng 10 m, trong khi ở tỷ lệ 1:2.000, giá trị này là 0,8 m theo QCVN 73:2023/BTNMT [26]. Độ chính xác vị trí của đối tượng BIM phụ thuộc vào yêu cầu kỹ thuật và quy trình thiết lập mô hình, không được xác định bởi LOD 300–400. Chênh lệch này cho thấy việc ghép nối dựa trên tọa độ có thể phát sinh sai lệch và cần được kiểm tra, hiệu chỉnh trước khi liên kết các đối tượng, qua đó củng cố nguyên tắc liên kết bằng mã định danh duy nhất thay vì chỉ dựa vào sự trùng khớp hình học.

- Tầng ngữ nghĩa: GIS phân loại đối tượng theo chủ đề ứng dụng thông qua các lớp dữ liệu độc lập (lớp cầu, lớp đường, lớp ngập lụt), trong đó mỗi đối tượng được mô tả bằng bảng thuộc tính quan hệ. BIM phân loại theo cấu tạo vật lý với cấu trúc phân cấp theo chuẩn IFC: một cây cầu (IfcBridge) bao gồm các bộ phận (IfcBridgePart), mỗi bộ phận gồm các cấu kiện đơn lẻ (IfcBeam, IfcSlab, IfcBearing), mỗi cấu kiện mang tập thuộc tính (Property Set) được định nghĩa trước [15]. Như vậy, một công trình là một đối tượng trong GIS nhưng là một tập hợp phân cấp trong BIM, đây là một trong những khác biệt cấu trúc quan trọng giữa hai nền tảng.

- Tầng không gian tham chiếu: GIS sử dụng hệ tọa độ trắc địa toàn cục, tại Việt Nam là hệ VN-2000 với các múi chiếu địa phương. BIM sử dụng hệ tọa độ Descartes cục bộ với gốc tọa độ thường đặt tại một điểm mốc của công trình hoặc tim tuyến. Việc đưa mô hình BIM về hệ tọa độ quốc gia đòi hỏi xác định đầy đủ: hệ quy chiếu và múi chiếu áp dụng (VN-2000, kinh tuyến trục tương ứng), đơn vị đo, hệ độ cao tham chiếu, hệ số tỷ lệ chiếu, tham số dịch chuyển và góc xoay, kèm kiểm tra sai số tại các điểm khống chế. Đây là khác biệt có quy trình xử lý chuẩn hóa, song không thể quy giản thành một phép biến đổi, đặc biệt khi dữ liệu cao trình được dùng để đánh giá nguy cơ ngập.

Bảy tiêu chí đối sánh được xác định từ ba tầng cấu trúc dữ liệu vừa phân tích, kế thừa khung phân tích khả năng tương tác dữ liệu (data interoperability) gồm ba cấp cú pháp, lược đồ và ngữ nghĩa: tiêu chí hình học và hệ tọa độ thuộc cấp cú pháp; mô hình tổ chức, đơn vị dữ liệu và chuẩn mở thuộc cấp lược đồ; thuộc tính và định danh thuộc cấp ngữ nghĩa. Kết quả đối sánh trình bày trong Bảng 2.

Từ kết quả đối sánh, nghiên cứu xác định bốn điểm chung nền tảng: (i) cả hai hệ thống đều gán mã định danh duy nhất cho mỗi đối tượng (Feature ID và GUID); (ii) cả hai đều sử dụng cấu trúc gồm tên thuộc tính và giá trị tương ứng (key–value); (iii) cả hai đều có chuẩn dữ liệu mở được quốc tế công nhận với các nghiên cứu ánh xạ song phương đã thiết lập; (iv) cả hai đều hỗ trợ biểu diễn hình học ba chiều.

Điểm phát hiện quan trọng của nghiên cứu là bốn điểm chung này không phân bố đồng đều giữa các tầng cấu trúc dữ liệu. Hai điểm chung đầu tiên nằm ở tầng siêu dữ liệu (metadata) và có mức độ tương thích cao, chỉ đòi hỏi xây dựng bảng tham chiếu chéo và bảng ánh xạ tên thuộc tính. Điểm chung thứ ba nằm ở tầng lược đồ (schema) với mức tương thích trung bình do ánh xạ IFC–CityGML hiện chưa hoàn chỉnh và luôn kèm theo mất mát thông tin. Điểm chung thứ tư nằm ở tầng dữ liệu thô

và có mức độ tương thích hạn chế hơn trong phạm vi chuyển đổi được xem xét, do cần đơn giản hóa hình học và kiểm soát mức độ chi tiết. Phân bố này được tổng hợp trong Bảng 3.

Bảng 2. Đối sánh cấu trúc dữ liệu GIS và BIM

| Tiêu chí | GIS | BIM | Khả năng liên kết |
|---|---|---|---|
| Mô hình tổ chức | Phân lớp theo chủ đề | Hướng đối tượng phân cấp | Khác biệt – cần ánh xạ |
| Đơn vị dữ liệu | Feature | Object (cấu kiện) | Tương đồng |
| Hình học | Bề mặt, trừu tượng hóa cao | Khối rắn tham số, chi tiết | Ưu tiên chiều BIM → GIS; GIS cấp hình học nền |
| Thuộc tính | Bảng quan hệ | Property set (IFC) | Tương đồng |
| Hệ tọa độ | Toàn cục (VN-2000) | Cục bộ công trình | Cần quy trình chuyển hệ quy chiếu có kiểm tra sai số |
| Chuẩn mở | CityGML, GML (OGC) | IFC (buildingSMART) | Tương đồng – có ánh xạ |
| Định danh | Feature ID / GlobalID | GUID | Tương đồng |

Bảng 3. Phân bố các điểm chung theo tầng cấu trúc dữ liệu

| Điểm chung | Tầng cấu trúc | Mức tương thích | Yêu cầu kỹ thuật để khai thác |
|---|---|---|---|
| Định danh đối tượng duy nhất | Siêu dữ liệu | Cao | Bảng tham chiếu chéo Feature ID – GUID |
| Tên thuộc tính – giá trị (key–value) | Siêu dữ liệu | Cao | Bảng ánh xạ tên và kiểu dữ liệu thuộc tính |
| Chuẩn dữ liệu mở | Lược đồ | Trung bình | Quy trình chuyển đổi IFC ↔ CityGML qua ETL |
| Hình học ba chiều | Dữ liệu thô | Thấp | Đơn giản hóa hình học có kiểm soát theo LOD |

Kết quả đối sánh này có ý nghĩa trực tiếp đối với thiết kế khung tích hợp: do khả năng tương thích tập trung ở tầng siêu dữ liệu chứ không ở tầng hình học, chiến lược tích hợp hiệu quả nhất là liên kết hai hệ thống thông qua định danh và thuộc tính, thay vì cố gắng hợp nhất mô hình hình học. Đây chính là cơ sở kỹ thuật của nguyên tắc "liên kết thay vì hợp nhất" được áp dụng trong khung đề xuất.

Về công cụ triển khai, kinh nghiệm quốc tế cho thấy không cần thiết phát triển công cụ chuyển đổi từ đầu. Các nền tảng ETL thương mại hiện có đã hỗ trợ chuyển đổi IFC sang CityGML ở mức chi tiết hình học tương ứng (nghiên cứu áp dụng CityGML 3.0 với thang LOD0–LOD3; lưu ý LOD của CityGML là mức chi tiết hình học, khác với LOD của BIM là mức phát triển thông tin, hai thang không quy đổi trực tiếp) [28]. Kinh nghiệm từ Project PLATEAU của Nhật Bản là dự án quốc gia phát triển công cụ chuyển đổi CityGML nguồn mở [29], cho thấy điều quyết định thành công không phải bản thân công cụ mà là việc chuẩn hóa dữ liệu trước khi phát triển công cụ. Đối với Việt Nam, nhu cầu thực tế là xây dựng lớp cấu hình địa phương gồm ba thành phần: bảng ánh xạ thuộc tính giữa

lược đồ dữ liệu GIS hiện hành và bộ thuộc tính chuẩn IFC, module chuyển hệ quy chiếu VN-2000 và bộ quy tắc mức chi tiết tối thiểu theo loại hình hạ tầng giao thông. Nội dung chi tiết của lớp này được trình bày tại Mục 3.3.

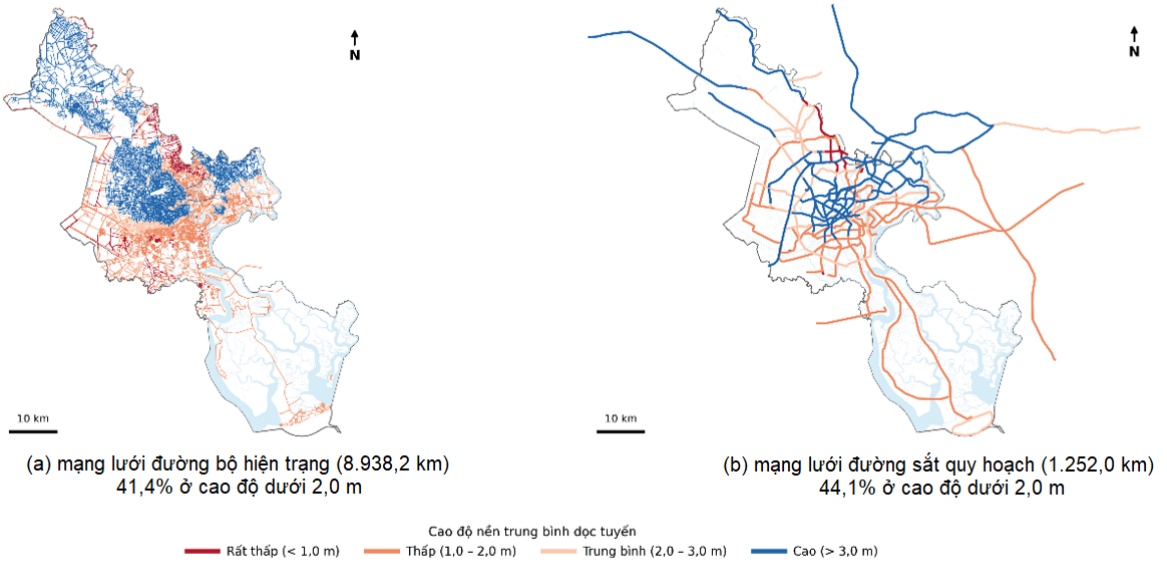
### *3.2. Thực trạng và thách thức tại Thành phố Hồ Chí Minh*

Phân tích dữ liệu GIS toàn thành phố với bản đồ nền tỷ lệ 1:25.000 và thành phố Thủ Đức (cũ) tỷ lệ 1:2.000 với mật độ điểm khác nhau, bằng cách chồng lớp giữa mạng lưới giao thông hiện trạng, mạng lưới đường sắt quy hoạch và dữ liệu cao độ nền, các đoạn tuyến được phân thành bốn cấp theo ngưỡng cao độ 1,0 m, 2,0 m và 3,0 m. Kết quả được trình bày trong Bảng 4, Hình 1 và Hình 2.

Bảng 4. Phân cấp mạng lưới giao thông Thành phố Hồ Chí Minh theo cao độ nền

| Cấp cao độ nền | Đường bộ hiện trạng | | Đường sắt quy hoạch | |
|---|---|---|---|---|
| | km | % | km | % |
| Rất thấp (< 1,0 m) | 667,9 | 7,5 | 40,7 | 3,3 |
| Thấp (1,0–2,0 m) | 3.029,7 | 33,9 | 510,8 | 40,8 |
| Trung bình (2,0–3,0 m) | 1.122,3 | 12,6 | 232,1 | 18,5 |
| Cao (> 3,0 m) | 4.118,2 | 46,1 | 468,4 | 37,4 |
| Tổng cộng | 8.938,2 | 100 | 1.252,0 | 100 |
| Tỷ lệ ở cao độ < 2,0 m | 3.697,6 | 41,4 | 551,5 | 44,1 |

Nguồn: Kết quả phân tích của tác giả từ dữ liệu Đồ án QHC TP.HCM đến 2040 và CSDL nền địa lý 1:25.000

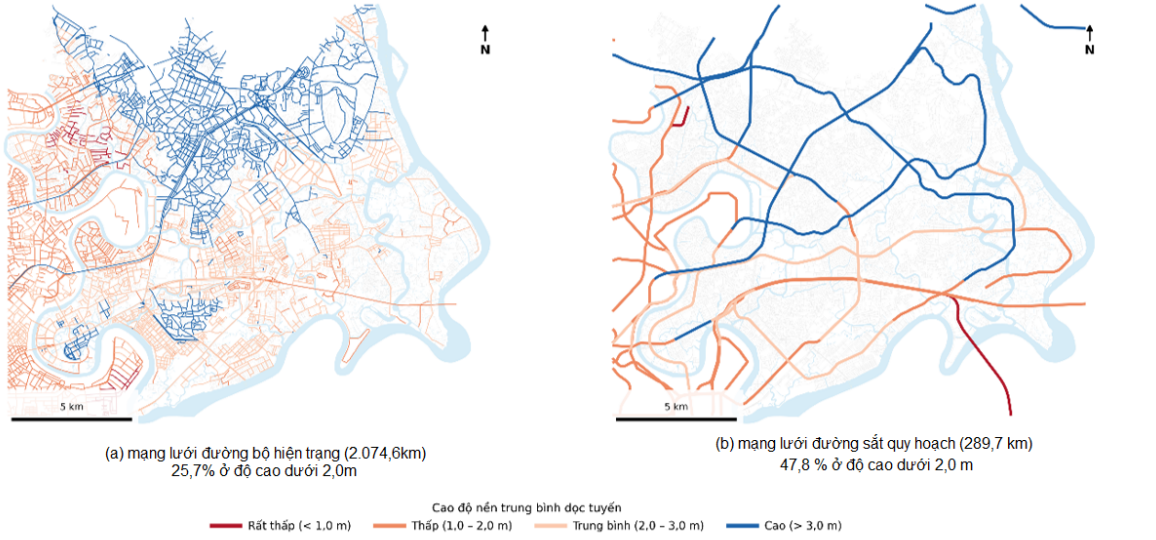



Nguồn: Đồ án điều chỉnh QHC TP. Hồ Chí Minh đến 2040 (QĐ 1125/QĐ-TTg) [28] và CSDL nền địa lý quốc gia tỷ lệ 1:25.000 (QCVN 88:2025/BNNMT) [31].
Hệ quy chiếu VN-2000/TM-3 105°45′. Cao độ nội suy từ 6.860 điểm khống chế; độ chính xác mặt phẳng của dữ liệu nền là 10 m.

Hình 1. Phân cấp mạng lưới giao thông Thành phố Hồ Chí Minh theo cao độ nền tỷ lệ 1:25.000

Tuy nhiên, kết quả chỉ phản ánh cao độ nền tự nhiên, chưa xem xét kết cấu mặt đường, cao trình thiết kế và năng lực thoát nước. Hạn chế này nằm trong bức tranh chung của công tác quản lý dữ liệu hiện nay: dữ liệu phân tán và thiếu tương thích giữa các định dạng; hồ sơ công trình chủ yếu ở dạng CAD 2D hoặc bản giấy; và dữ liệu GIS thiếu thông tin về kết cấu, vật liệu, tình trạng kỹ thuật cùng lịch sử bảo trì. Đây chính là cơ sở thực tiễn cho nhu cầu tích hợp GIS–BIM nhằm bổ sung thông tin

công trình và nâng cao khả năng đánh giá mức độ tổn thương. Bảng 5 tổng hợp các nhóm thách thức và định hướng giải pháp tương ứng.




Hình 2. Phân cấp mạng lưới đường giao thông thành phố Thủ Đức (cũ) theo cao độ nền tỷ lệ 1:2.000

Bảng 5. Thách thức tích hợp GIS–BIM và định hướng giải pháp

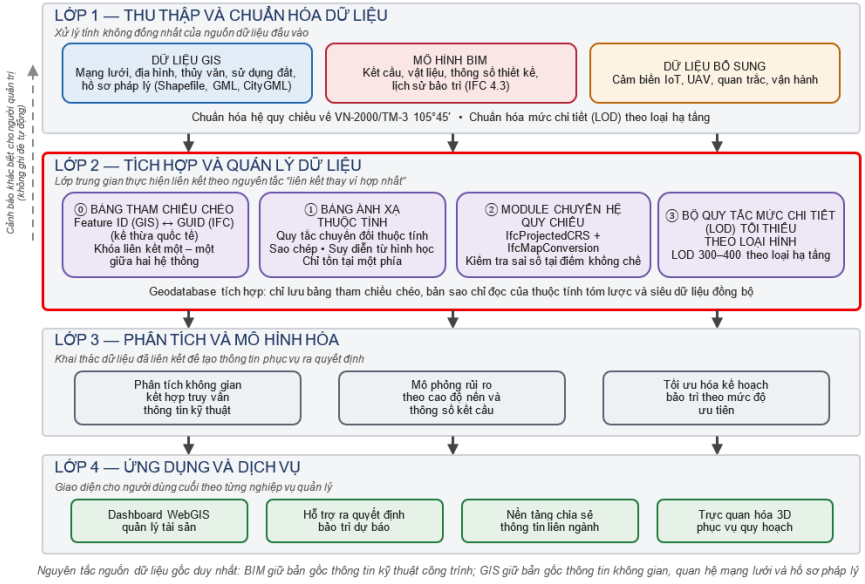
| Nhóm | Vấn đề cụ thể | Định hướng giải pháp |
|---|---|---|
| Kỹ thuật | Khác biệt hệ tọa độ VN-2000 và hệ cục bộ; IFC chưa tương thích trực tiếp với CityGML | Xây dựng quy trình chuyển đổi qua công cụ ETL; thiết lập bảng ánh xạ tọa độ và ngữ nghĩa |
| Dữ liệu | BIM hầu như chưa tồn tại cho hạ tầng hiện hữu; xây dựng BIM hồi tố tốn nhiều nguồn lực | Chuẩn hóa LOD tối thiểu theo loại hạ tầng; ưu tiên công trình mới và trọng điểm |
| Thể chế | Chưa có tiêu chuẩn quốc gia về tích hợp GIS–BIM; cơ chế chia sẻ dữ liệu liên ngành còn yếu | Xây dựng tiêu chuẩn dựa trên ISO 19650 và IFC 4.x; ban hành quy chế chia sẻ dữ liệu |
| Nhân lực – tài chính | Năng lực BIM hạn chế ở cấp địa phương; chi phí đầu tư ban đầu cao | Đào tạo chuyên sâu; thí điểm quy mô nhỏ trước khi nhân rộng |

### *3.3. Khung tích hợp GIS–BIM đề xuất*

Khung tích hợp được xây dựng theo hai nguyên tắc. Thứ nhất là "liên kết thay vì hợp nhất": hai hệ thống vẫn vận hành độc lập với công cụ và quy trình riêng, được kết nối qua lớp trung gian gồm định danh, ngữ nghĩa và tọa độ; cách tiếp cận này giảm chi phí triển khai, không đòi hỏi thay thế hệ thống hiện có và cho phép mở rộng dần theo giai đoạn, phù hợp với điều kiện nguồn lực của Việt Nam. Thứ hai là tách biệt mối quan tâm (separation of concerns) trong thiết kế kiến trúc, kế thừa mô hình kiến trúc dữ liệu đô thị của các nền tảng Digital Twin [8] và điều chỉnh theo chuỗi xử lý của bài toán tích hợp GIS–BIM.

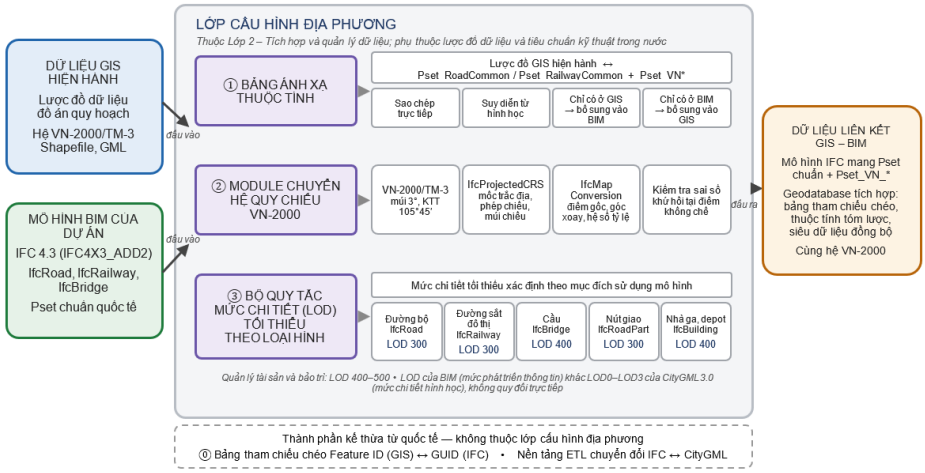
Khung được tổ chức thành bốn lớp chức năng, tương ứng với nhiệm vụ xử lý dữ liệu và khai thác thông tin. Lớp thu thập và chuẩn hóa xử lý tính không đồng nhất của nguồn đầu vào, gồm dữ liệu GIS, mô hình BIM cho công trình ưu tiên theo IFC 4.x và chuẩn hóa hệ tọa độ về VN-2000; đây là điều kiện trước thao tác liên kết. Lớp tích hợp và quản lý thực hiện liên kết và duy trì tính nhất quán thông qua công cụ ETL và cơ chế đồng bộ. Lớp phân tích và mô hình hóa khai thác dữ liệu đã liên kết, cho phép phân tích không gian và truy vấn thông tin kỹ thuật. Lớp ứng dụng và dịch vụ cung cấp giao diện cho người dùng cuối gồm dashboard WebGIS quản lý tài sản, hỗ trợ ra quyết định bảo trì và chia sẻ thông tin liên ngành. Việc gộp lớp thu thập vào lớp tích hợp làm giảm tính rõ ràng của các yêu cầu chuẩn hóa dữ liệu; ngược lại, việc chia thành nhiều lớp hơn có thể làm tăng độ phức tạp quản trị mà chưa chắc mang lại chức năng bổ sung tương ứng.

Tính nhất quán giữa hai hệ thống được bảo đảm bằng nguyên tắc nguồn dữ liệu gốc duy nhất (single source of truth): BIM giữ bản gốc thông tin kỹ thuật công trình, GIS giữ bản gốc thông tin không gian, quan hệ mạng lưới và hồ sơ pháp lý. Geodatabase tích hợp chỉ lưu bảng tham chiếu chéo giữa các mã định danh, bản sao chỉ đọc của tập thuộc tính tóm lược và siêu dữ liệu đồng bộ; khi phát hiện khác biệt, hệ thống cảnh báo cho người quản trị thay vì tự động ghi đè, qua đó bảo toàn quyền kiểm soát dữ liệu của từng đơn vị quản lý chuyên ngành. Kiến trúc tổng thể của khung được thể hiện trong Hình 3.




Hình 3. Kiến trúc khung tích hợp GIS – BIM theo bốn lớp chức năng

Trong bốn lớp nêu trên, lớp tích hợp và quản lý dữ liệu tập trung các thành phần phải xây dựng riêng cho điều kiện Việt Nam, gọi chung là lớp cấu hình địa phương (Hình 4), gồm: bảng ánh xạ thuộc tính giữa lược đồ dữ liệu GIS hiện hành và bộ thuộc tính chuẩn IFC, phân biệt ba nhóm trường là sao chép trực tiếp, suy diễn từ hình học và chỉ tồn tại ở một phía; module chuyển hệ quy chiếu VN-2000 múi 3 độ qua cặp thực thể IfcProjectedCRS và IfcMapConversion kèm kiểm tra sai số; và bộ quy tắc mức chi tiết tối thiểu theo loại hình hạ tầng. Ba thành phần này phụ thuộc trực tiếp vào lược đồ dữ liệu và tiêu chuẩn kỹ thuật trong nước, do đó cần được điều chỉnh và cấu hình phù hợp thay vì áp dụng nguyên trạng các giải pháp quốc tế; tính khả thi được kiểm chứng tại Mục 3.4. Cần phân biệt lớp này với cơ chế bảng tham chiếu chéo giữa mã định danh GIS và BIM, vốn kế thừa từ nghiên cứu quốc tế và không phụ thuộc bối cảnh quốc gia.




Hình 4. Cấu trúc lớp cấu hình địa phương trong khung tích hợp GIS-BIM gồm ba thành phần phụ thuộc bối cảnh Việt Nam

Về định hướng ứng dụng, metro và đường sắt đô thị là ưu tiên cao nhất trong ngắn hạn do dự án Metro số 1 đã áp dụng BIM trong giai đoạn thiết kế và thi công, do đó có tiềm năng cung cấp dữ liệu đầu vào cho thí điểm; phạm vi, mức độ chi tiết và khả năng tiếp cận mô hình cần được khảo sát trong bước tiếp theo. Hệ thống cầu là ưu tiên tiếp theo với hướng tích hợp BIM và cảm biến SHM cho bảo trì dự báo, kế thừa mô hình Madrid [18]. Đối với đường bộ, hướng ứng dụng là xây dựng hệ thống quản lý mặt đường tích hợp dữ liệu ngập lụt để ưu tiên bảo trì [3]. Với hạ tầng ngầm, tích hợp GIS–BIM đặc biệt quan trọng để phòng ngừa xung đột công trình và bảo đảm an toàn thi công.

Thông tin được tổ chức thành năm nhóm, phản ánh đặc thù phân công quản lý dữ liệu giữa hai hệ thống: (A) định danh và pháp lý; (B) hướng tuyến và không gian; (C) công trình; (D) kỹ thuật và năng lực; (E) tiến độ và vận hành.

- Nhóm A – Định danh và pháp lý: Nhóm này sử dụng cặp khóa liên kết (identifier) liên kết MaDoiTuong – GlobalId và các trường quản lý hồ sơ pháp lý. Quyết định phê duyệt gốc được liên kết với tài liệu, trong khi chuỗi văn bản điều chỉnh được quản lý trên GIS để theo dõi biến động theo thời gian. Qua đó, người dùng có thể truy xuất căn cứ pháp lý của từng hạng mục trực tiếp từ bản đồ.

- Nhóm B – Hướng tuyến và không gian: IFC 4.3 cho phép BIM mô tả hình học tuyến theo phương ngang và đứng, bao gồm bán kính cong, độ dốc và siêu cao; GIS bổ sung bối cảnh không gian như mạng lưới giao thông, ranh giới hành chính và vùng chức năng đô thị. Việc phân biệt đoạn ngầm và đoạn trên cao hỗ trợ quản lý bảo trì, rủi ro vận hành và không gian ngầm.

- Nhóm C – Công trình: GIS biểu diễn nhà ga dưới dạng đối tượng điểm phục vụ phân tích vùng phục vụ và kết nối giao thông, trong khi BIM quản lý mô hình công trình và các cấu kiện chi tiết. Hai hệ thống được liên kết qua định danh, tránh chuyển toàn bộ dữ liệu BIM sang GIS.

- Nhóm D – Kỹ thuật và năng lực: BIM quản lý các thông số thiết kế như khổ đường, hệ thống điện khí hóa và tốc độ thiết kế; GIS kết hợp thông tin tốc độ khai thác thực tế để đánh giá mức độ sử dụng năng lực tuyến và nhu cầu đầu tư mở rộng.

- Nhóm E – Tiến độ và vận hành: Các mốc thiết kế, khởi công, hoàn thành và vận hành hỗ trợ theo dõi vòng đời dự án; khi kết hợp BIM 4D, có thể truy vết tiến độ đến từng hạng mục. GIS bổ sung thông tin nguy cơ ngập hành lang tuyến và mật độ dân cư quanh nhà ga để đánh giá rủi ro vận hành và nhu cầu hành khách.

Bảng ánh xạ cho thấy ba tình huống xử lý dữ liệu điển hình: các cặp thuộc tính tương ứng trực

tiếp chỉ cần sao chép sau khi kiểm tra đơn vị đo; các cặp cần chuẩn hóa danh mục khi hai hệ thống dùng thang phân loại khác nhau, đòi hỏi xây dựng bảng danh mục trung gian; và các thuộc tính chỉ tồn tại ở một phía, cần mở rộng lược đồ hoặc chấp nhận truy xuất trực tiếp qua liên kết định danh. Đây cũng chính là thành phần đầu tiên của lớp cấu hình địa phương đã trình bày tại Mục 3.3, không thể kế thừa nguyên vẹn từ các công cụ chuyển đổi quốc tế do phụ thuộc vào lược đồ dữ liệu và hệ thống tiêu chuẩn kỹ thuật riêng của Việt Nam.

### *3.4. Kiểm chứng tính khả thi kỹ thuật của bảng ánh xạ*

Nhóm ánh xạ nêu trên mô tả cấu trúc liên kết ở dạng khái niệm. Để kiểm thử cấu trúc này, nghiên cứu dựng hai mô hình mô phỏng dự án dưới dạng tệp IFC 4.3 cho tuyến đường sắt đô thị và tuyến đường bộ vành đai, khai báo đầy đủ các thành phần kỹ thuật của lớp cấu hình địa phương đã đề xuất tại Mục 3.3.

Mô hình mô phỏng được dựng trên ba căn cứ. Cấu trúc đối tượng và phân cấp công trình tuân thủ lược đồ IFC 4.3, sử dụng các lớp IfcRailway, IfcRoad, IfcAlignment, IfcBuilding và IfcBridge theo đúng quan hệ phân cấp do chuẩn quy định. Thông số kỹ thuật của công trình lấy theo cấu hình điển hình của từng loại hình hạ tầng, tham chiếu các tiêu chuẩn kỹ thuật chuyên ngành hiện hành. Hình học tim tuyến, dữ liệu thuộc tính và hệ quy chiếu lấy trực tiếp từ cơ sở dữ liệu quy hoạch của thành phố, bảo đảm đầu vào ánh xạ là dữ liệu thực tế. Phạm vi kiểm thử giới hạn ở cơ chế ánh xạ thuộc tính và chuyển hệ quy chiếu, tương ứng hai trong ba thành phần của lớp cấu hình địa phương. Đặc trưng kỹ thuật của hai mô hình mô phỏng được trình bày trong Bảng 6.

Bảng 6. Đặc trưng hai mô hình dữ liệu IFC thử nghiệm

| Thành phần | Mô hình tuyến đường sắt đô thị | Mô hình tuyến đường bộ vành đai |
|---|---|---|
| Phiên bản lược đồ | IFC 4.3 (IFC4X3_ADD2) | IFC 4.3 (IFC4X3_ADD2) |
| Lớp đối tượng công trình | IfcRailway | IfcRoad |
| Hình học tuyến | IfcAlignment: 5 đoạn bình đồ | IfcAlignment: 11 đoạn bình đồ, 6 đoạn trắc dọc |
| Công trình thành phần | 14 nhà ga (IfcBuilding), 1 depot | 7 nút giao, 6 công trình cầu (IfcBridge) |
| Hệ quy chiếu khai báo | IfcProjectedCRS: VN-2000/TM-3 105°45′ | IfcProjectedCRS: VN-2000/TM-3 105°45′ |
| Bộ thuộc tính chuẩn quốc tế | Pset_RailwayCommon | Pset_RoadCommon |
| Bộ thuộc tính cấu hình địa phương | Pset_VN_TuyenDuongSatDoThi (24 thuộc tính), Pset_VN_NhaGa | Pset_VN_TuyenDuongBo (26 thuộc tính), Pset_VN_NutGiao, Pset_VN_CongTrinhCau |
| Tổng số thực thể | 206 | 226 |

Trên cơ sở hai mô hình thử nghiệm, nghiên cứu tiếp tục ánh xạ tự động dữ liệu GIS thực tế sang IFC nhằm đánh giá kết quả theo bộ tiêu chí định lượng tại Mục 3.6. Đối tượng áp dụng là tuyến metro số 1 trong lớp mạng lưới đường sắt quy hoạch thuộc Đồ án điều chỉnh quy hoạch chung, gồm 11 đoạn tuyến với tổng chiều dài 45,23 km. Kết quả kiểm chứng được trình bày tại Bảng 7.

Bảng 7. Kết quả ánh xạ thuộc tính tự động từ dữ liệu GIS sang mô hình IFC

| Chỉ tiêu đánh giá | Kết quả | Ghi chú |
|---|---|---|
| Số trường GIS trong bảng ánh xạ | 15 | Không kể thuộc tính chỉ có trong BIM |
| Tỷ lệ ánh xạ thuộc tính thành công | 13/15 (86,7%) | 1 trường suy diễn từ hình học, 2 trường nguồn để trống |
| Tỷ lệ đầy đủ của trường bắt buộc | 10/10 (100%) | |
| Số đoạn tim tuyến chuyển đổi | 383 | Từ 11 đoạn tuyến nguồn |
| Sai số khép kín khi chuyển hệ tọa độ (kiểm tra khứ hồi) | $3{,}5 \times 10^{-10}$ m | Kiểm tra khứ hồi trên 383 điểm |
| Số thực thể IFC sinh ra | 1.194 | Lược đồ IFC4X3_ADD2 |
| Tính hợp lệ theo lược đồ IFC 4.3 | Đạt | Đọc lại đầy đủ bằng thư viện IFC nguồn mở |

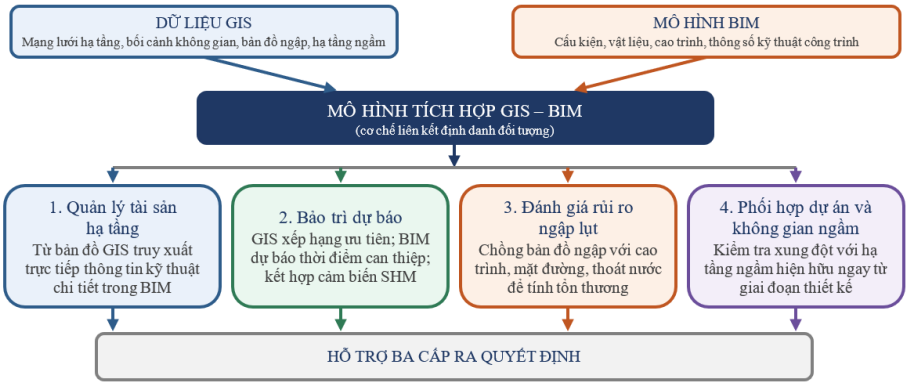
Nguồn: Kết quả chạy ánh xạ của tác giả

Bảng ánh xạ cần phân biệt ba nhóm: trường sao chép trực tiếp, trường suy diễn từ hình học và trường chỉ tồn tại ở một phía. Hai trường chưa ánh xạ được là tình trạng và ghi chú đều để trống trong dữ liệu nguồn, nên không ảnh hưởng đến tính đầy đủ của mô hình kết quả.

Kết quả cũng xác nhận ba trong năm chỉ tiêu định lượng tại Mục 3.6 có thể đo lường ngay, gồm tỷ lệ ánh xạ thuộc tính thành công, tỷ lệ đầy đủ của trường bắt buộc và sai số tọa độ sau chuyển hệ quy chiếu. Hai chỉ tiêu còn lại, gồm thời gian phản hồi truy vấn liên thông và công sức cập nhật, cần được đánh giá trên dữ liệu BIM thực tế.

Như vậy, bảng ánh xạ và ba thành phần của lớp cấu hình địa phương có tính khả thi về kỹ thuật mà không cần sửa đổi chuẩn IFC. Việc kiểm chứng trên dữ liệu dự án thực tế sẽ được thực hiện trong giai đoạn nghiên cứu tiếp theo theo các phương án tại Mục 3.6.

### *3.5. Ứng dụng của mô hình tích hợp trong quản lý hạ tầng giao thông*




Hình 5. Các nhóm nghiệp vụ ứng dụng của mô hình tích hợp GIS – BIM trong quản lý hạ tầng giao thông đô thị

Giá trị thực tiễn của khung tích hợp thể hiện qua bốn nhóm nghiệp vụ quản lý có thể được hỗ trợ hiệu quả hơn thông qua việc liên kết dữ liệu GIS và BIM. Hình 5 tổng hợp các nghiệp vụ này cùng cơ

chế vận hành và giá trị mang lại.

Về cấp độ ra quyết định, mô hình tích hợp hỗ trợ đồng thời ba cấp. Ở cấp tác nghiệp, cán bộ kỹ thuật truy xuất thông tin công trình phục vụ kiểm tra và sửa chữa hằng ngày. Ở cấp chiến thuật, đơn vị quản lý lập kế hoạch bảo trì trung hạn dựa trên xếp hạng ưu tiên có căn cứ dữ liệu. Ở cấp chiến lược, lãnh đạo thành phố sử dụng bức tranh tổng thể về tình trạng hạ tầng và rủi ro để phân bổ ngân sách đầu tư công và xây dựng kế hoạch thích ứng biến đổi khí hậu.

### *3.6. Phương án kiểm chứng và lộ trình triển khai*

Nghiên cứu thiết kế hai phương án kiểm chứng tiềm năng. Phương án A đánh giá rủi ro ngập lụt đối với một cụm tuyến đường trọng điểm, sử dụng dữ liệu GIS về địa hình, thủy văn và bản đồ ngập kết hợp mô hình BIM kết cấu mặt đường và hệ thống thoát nước (LOD 300–400); tiêu chí đánh giá là độ chính xác xác định đoạn tuyến tổn thương và khả năng phân cấp ưu tiên nâng cấp. Phương án B quản lý tài sản cầu và metro, sử dụng dữ liệu BIM kết cấu và hệ thống kỹ thuật (LOD 400–500) liên kết với dữ liệu GIS mạng lưới và địa chất; tiêu chí đánh giá là tính đầy đủ của thông tin tài sản và khả năng truy vấn liên thông. Bộ tiêu chí định lượng cho cả hai phương án gồm năm chỉ tiêu: tỷ lệ ánh xạ thuộc tính thành công (%); sai số tọa độ sau chuyển hệ quy chiếu (m); tỷ lệ đầy đủ của trường dữ liệu bắt buộc (%); thời gian phản hồi truy vấn liên thông (giây); và công sức cập nhật (giờ công/đối tượng). Phương án B hướng tới nhóm công trình đã có mô hình BIM trong quá trình thiết kế và thi công; phương án A có ý nghĩa thực tiễn lớn hơn với bối cảnh ngập lụt của thành phố nhưng đòi hỏi xây dựng BIM hồi tố. Lộ trình triển khai bốn giai đoạn được trình bày trong Bảng 8. Mốc thời gian được đánh số theo giai đoạn tương đối kể từ thời điểm phê duyệt triển khai, mang tính tham chiếu về trình tự và thời lượng, cần điều chỉnh theo điều kiện thực tế.

Bảng 8. Lộ trình triển khai tích hợp GIS–BIM đề xuất theo giai đoạn

| Giai đoạn | Thời gian | Nội dung chính | Kết quả kỳ vọng |
|---|---|---|---|
| 1 – Nền tảng | Năm thứ 1–2 | Chuẩn hóa dữ liệu GIS; xây dựng geodatabase thống nhất; ban hành tiêu chuẩn LOD tối thiểu; đào tạo nhân lực nòng cốt | Khung dữ liệu chung và bộ tiêu chuẩn kỹ thuật |
| 2 – Thí điểm | Năm thứ 2–3 | Tích hợp thí điểm cho Metro số 1 và một số cầu trọng điểm; xây dựng nền tảng WebGIS–BIM | Mô hình thí điểm vận hành; báo cáo đánh giá |
| 3 – Mở rộng | Năm thứ 3–4 | Nhân rộng sang đường bộ và hạ tầng ngầm; kết nối IoT và Trung tâm Điều hành Thông minh | Hệ thống quản lý tài sản tích hợp toàn thành phố |
| 4 – Digital Twin | Năm thứ 4–6 | Xây dựng Digital Twin hạ tầng giao thông; tích hợp AI/ML cho phân tích dự báo | Nền tảng hạ tầng số cho đô thị thông minh bền vững |

Nguồn: Tổng hợp và phân tích của tác giả

## 4. Thảo luận

Khung tích hợp đề xuất có cách tiếp cận khác với một số mô hình quốc tế được xem xét. Virtual Singapore [21] và S-Map Seoul [7] được xây dựng theo hướng hợp nhất, số hóa đồng bộ toàn bộ hạ tầng ngay từ đầu với nguồn lực đầu tư lớn và khung thể chế thống nhất. Trong khi đó, khung đề xuất cho Thành phố Hồ Chí Minh theo hướng liên kết tiệm tiến, tận dụng tối đa dữ liệu GIS hiện có và chấp nhận thực tế rằng BIM chưa tồn tại cho phần lớn hạ tầng hiện hữu. Cách tiếp cận này có tính phù hợp với điều kiện nguồn lực đầu tư công và năng lực kỹ thuật hiện nay. Mô hình bảo trì dự báo tại Madrid [18] có tính ứng dụng cao nhất do sự tương đồng về đặc điểm địa lý và đô thị nhiều kênh rạch với số lượng cầu lớn.

Về đóng góp cho phát triển bền vững, tích hợp GIS–BIM tác động đồng thời lên ba trụ cột. Về kinh tế, việc kết hợp khả năng xác định ưu tiên theo không gian của GIS với thông tin dự báo tuổi thọ từ BIM cho phép có tiềm năng hỗ trợ chuyển từ bảo trì bị động sang bảo trì dự báo và phân bổ ngân sách vòng đời có căn cứ dữ liệu hơn [30]. Về xã hội, giám sát kết cấu thời gian thực nâng cao an toàn giao thông [19], trong khi phân tích khả năng tiếp cận theo không gian hỗ trợ đầu tư có tính bao trùm hơn giữa nội thành và ngoại thành. Về môi trường, việc tích hợp dữ liệu ngập lụt và địa hình từ GIS với thông tin kết cấu từ BIM cho phép đánh giá tổn thương theo từng đoạn tuyến thay vì đánh giá định tính, từ đó hỗ trợ phân cấp ưu tiên đầu tư nâng cấp đúng chỗ [30].

Khung tích hợp đề xuất cũng là nền tảng cho bước phát triển tiếp theo là Digital Twin hạ tầng giao thông. Khác biệt căn bản giữa hai mô hình nằm ở tính động: mô hình tích hợp cung cấp bức tranh tĩnh về hiện trạng hạ tầng tại thời điểm cập nhật dữ liệu, trong khi Digital Twin duy trì kết nối hai chiều liên tục với đối tượng vật lý thông qua cảm biến [5, 8]. Bước chuyển giữa hai mức đòi hỏi bổ sung hạ tầng cảm biến, nền tảng xử lý dữ liệu luồng và cơ chế liên kết dữ liệu cảm biến với đối tượng trong mô hình. Thành phần cuối cùng là nơi khung đề xuất thể hiện lợi thế: do đã thiết lập bảng tham chiếu chéo giữa định danh GIS và BIM, việc gắn thêm mã cảm biến vào cùng cơ chế định danh là mở rộng tự nhiên, không đòi hỏi thiết kế lại kiến trúc dữ liệu. Tuy nhiên, Digital Twin không phải mục tiêu tự thân; đối với Thành phố Hồ Chí Minh trong giai đoạn hiện nay, việc hoàn thiện mức tích hợp với chất lượng dữ liệu bảo đảm mang lại giá trị thực tế lớn hơn so với triển khai vội vàng trên nền dữ liệu chưa chuẩn hóa.

Ở phạm vi rộng hơn, dữ liệu hạ tầng giao thông tích hợp GIS–BIM là một lớp trong cơ sở dữ liệu không gian đô thị dùng chung, bên cạnh các lớp về công trình, hạ tầng kỹ thuật và sử dụng đất, qua đó gắn với định hướng phát triển đô thị thông minh quy định tại Nghị định 269/2025/NĐ-CP [2] và Quyết định 926/QĐ-BXD [1]. Khung đề xuất bổ sung cho các trung tâm điều hành thông minh một chiều thông tin hiện còn thiếu là tình trạng và năng lực của bản thân hạ tầng vật lý, bên cạnh dữ liệu giám sát vận hành thời gian thực. Từ đó, nghiên cứu đề xuất nguyên tắc phát triển theo hướng chuyên ngành trước, liên thông sau: hoàn thiện nền tảng dữ liệu cho lĩnh vực hạ tầng giao thông với chuẩn dữ liệu mở và kiến trúc có khả năng mở rộng, sau đó kết nối với các lĩnh vực khác khi điều kiện cho phép. Cách tiếp cận này giảm rủi ro so với xây dựng đồng thời nền tảng cho toàn bộ các lĩnh vực đô thị, đồng thời vẫn bảo đảm tính liên thông dài hạn nhờ tuân thủ chuẩn quốc tế ngay từ đầu.

Để làm rõ đóng góp của nghiên cứu so với các khung tích hợp đã công bố, Bảng 9 phân loại bảy thành phần của khung đề xuất theo ba mức độ: kế thừa, điều chỉnh và đề xuất mới.

Nghiên cứu có ba hạn chế. Thứ nhất, kết quả kiểm thử được thực hiện trên mô hình mô phỏng dự án nên phản ánh tính khả thi của cơ chế ánh xạ thuộc tính và chuyển hệ quy chiếu, chưa bao gồm hai chỉ tiêu gắn với giai đoạn vận hành là thời gian truy vấn liên thông và công sức cập nhật; hai chỉ tiêu này sẽ được đo lường khi khung vận hành trên mô hình BIM của dự án đang triển khai, như trình bày tại Mục 3.4. Khung đề xuất được suy luận từ cơ chế kỹ thuật và kinh nghiệm quốc tế; việc định lượng

hiệu quả trong điều kiện Việt Nam đòi hỏi nghiên cứu thực nghiệm tiếp theo. Thứ hai, các đánh giá hiệu quả kinh tế tham chiếu từ nghiên cứu quốc tế, cần được kiểm chứng trong điều kiện chi phí và cấu trúc đầu tư của Việt Nam. Thứ ba, nghiên cứu chưa phân tích sâu các yếu tố thể chế và tổ chức.

Bảng 9. So sánh khung tích hợp đề xuất với các khung quốc tế đã công bố

| Thành phần khung | Khung quốc tế tham chiếu | Mức độ | Nội dung điều chỉnh cho Việt Nam |
|---|---|---|---|
| Kiến trúc nhiều lớp chức năng | Mô hình kiến trúc dữ liệu đô thị của các nền tảng Digital Twin [8] | Kế thừa | Giữ nguyên nguyên tắc tách biệt mối quan tâm; xác định bốn lớp theo chuỗi xử lý của bài toán tích hợp GIS–BIM |
| Ánh xạ IFC – CityGML | Các nghiên cứu tích hợp IFC và CityGML [15, 28] | Kế thừa | Áp dụng CityGML 3.0 với thang LOD0–LOD3; phân biệt rõ LOD của CityGML với LOD của BIM |
| Liên kết theo mã định danh | Cơ chế liên kết định danh trong các nền tảng GeoBIM | Kế thừa | Khai thác mã định danh sẵn có theo QCVN 42:2020/BTNMT [27] và Thông tư 16/2025/TT-BXD [24] |
| Nguyên tắc "liên kết thay vì hợp nhất" | Virtual Singapore [21], S-Map Seoul [7] theo hướng hợp nhất dữ liệu | Điều chỉnh | Lập luận lại trên cơ sở phân bố điểm chung theo ba tầng cấu trúc dữ liệu (Bảng 3), cho thấy khả năng tương thích tập trung ở tầng siêu dữ liệu chứ không ở tầng hình học |
| Nguyên tắc nguồn dữ liệu gốc duy nhất | Mô hình quản trị dữ liệu đô thị tích hợp | Điều chỉnh | Phân định bản gốc theo đặc thù phân cấp quản lý ngành tại Việt Nam; cơ chế cảnh báo thay vì ghi đè tự động |
| Lớp cấu hình địa phương | Chưa có trong các khung đã khảo sát | Đề xuất mới | Bảng ánh xạ thuộc tính theo lược đồ dữ liệu Việt Nam; module chuyển hệ quy chiếu VN-2000/TM-3; bộ quy tắc LOD tối thiểu theo loại hạ tầng |
| Kết quả ánh xạ thực nghiệm | Chưa có trong các khung đã khảo sát | Đề xuất mới | Kiểm chứng trên dữ liệu quy hoạch thực tế với bộ chỉ tiêu định lượng: tỷ lệ ánh xạ thuộc tính, tỷ lệ đầy đủ trường bắt buộc và sai số tọa độ sau chuyển hệ quy chiếu (Bảng 8) |

Từ kết quả nghiên cứu, hai hàm ý chính sách được đề xuất. Ở cấp trung ương, nghiên cứu kiến nghị xây dựng tiêu chuẩn quốc gia về tích hợp GIS–BIM cho hạ tầng giao thông, tham chiếu ISO 19650 và IFC 4.x, điều chỉnh phù hợp với hệ tọa độ VN-2000. Ở cấp thành phố, thực hiện chuyển đổi số và thí điểm công trình trọng điểm.

## 5. Kết luận

Nghiên cứu đã đối sánh cấu trúc dữ liệu của GIS và BIM, xác định bốn điểm chung nền tảng làm cơ sở kỹ thuật cho việc tích hợp. Từ bốn điểm chung này, nghiên cứu đề xuất khung tích hợp GIS–BIM

bốn lớp theo nguyên tắc "liên kết thay vì hợp nhất", kèm phương án kiểm chứng và lộ trình triển khai bốn giai đoạn cho Thành phố Hồ Chí Minh.

Đóng góp chính của nghiên cứu là cung cấp cơ sở kỹ thuật có tính hệ thống cho tích hợp GIS–BIM trong điều kiện Việt Nam, thay vì chỉ đề xuất mô hình dựa trên kinh nghiệm quốc tế. Nguyên tắc "liên kết thay vì hợp nhất" và cách tiếp cận tiệm tiến là những đặc điểm phân biệt khung đề xuất với các mô hình đã triển khai tại Singapore hay Seoul, đồng thời phù hợp hơn với bối cảnh nguồn lực và thể chế của các đô thị đang phát triển.

Hướng nghiên cứu tiếp theo cần triển khai thực nghiệm khung đề xuất trên trường hợp cụ thể như tuyến Metro số 1 hoặc tuyến đường trọng điểm để kiểm định tính khả thi kỹ thuật và đánh giá định lượng hiệu quả. Nghiên cứu cũng đã đánh giá khả năng mở rộng của khung theo bốn mức trưởng thành từ số hóa đến Digital Twin, trong đó khung đề xuất tương ứng mức tích hợp và có khả năng mở rộng tự nhiên nhờ cơ chế định danh thống nhất. Bên cạnh đó, cần nghiên cứu chuyên sâu về khía cạnh thể chế trong triển khai tích hợp, cũng như khả năng tích hợp trí tuệ nhân tạo vào nền tảng GIS–BIM nhằm nâng cao năng lực phân tích dự báo cho quản lý hạ tầng giao thông đô thị.

## Tuyên bố về việc sử dụng trí tuệ nhân tạo tạo sinh và các công nghệ hỗ trợ bởi AI

Trong quá trình chuẩn bị bản thảo, tác giả đã sử dụng Claude (Anthropic) để cải thiện ngôn ngữ hoặc khả năng diễn đạt của bản thảo. Tác giả đã kiểm tra và chỉnh sửa nội dung và chịu hoàn toàn trách nhiệm về tính chính xác, tính nguyên bản và tính toàn vẹn của bài báo.

## Tài liệu tham khảo


[1] Bộ Xây dựng (2024). *Quyết định số 926/QĐ-BXD ngày 30/12/2024 phê duyệt Đề án Chuyển đổi số ngành Xây dựng giai đoạn 2024–2025, định hướng đến 2030*. Hà Nội.

[2] Chính phủ (2025). *Nghị định số 269/2025/NĐ-CP về phát triển đô thị thông minh*. Hà Nội.

[3] Utami, R., Osorio-Sandoval, C., Thom, N. (2024). State-of-the-art review on the integration of BIM with pavement management systems. *Journal of Information Technology in Construction*, 29:810–825.

[4] Zhou, D., Pei, B., Li, X., Jiang, D., Wen, L. (2024). Innovative BIM technology application in the construction management of highway. *Scientific Reports*, 14(1):15298.

[5] Wu, D., Zheng, A., Yu, W., Cao, H., Ling, Q., Liu, J., Zhou, D. (2025). Digital twin technology in transportation infrastructure: A comprehensive survey of current applications, challenges, and future directions. *Applied Sciences*, 15(4):1911.

[6] Thanh, P. Đ., Phương, N. V. (2017). Từ kinh nghiệm phát triển giao thông xanh ở Nhật Bản và Singapore, đề xuất khung giải pháp phát triển hệ thống giao thông xanh ở Việt Nam. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (TCKHCNXD) - ĐHXDHN*, 11(2):74–80.

[7] Seoul Metropolitan Government (2023). *S-Map (Virtual Seoul) – Spatial data platform*. Seoul, South Korea.

[8] Hämäläinen, M. (2021). Urban development with dynamic digital twins in Helsinki city. *IET Smart Cities*, 3(4):201–210.

[9] Trị, N. N. M., Tùng, N. X., Quyết, L. N. (2024). Áp dụng mô hình tích hợp BIM và GIS phục vụ quản lý, khai thác, vận hành và bảo trì dự án công trình hạ tầng – nghiên cứu điển hình: ga Tân Cảng, Metro số 1: Bến Thành – Suối Tiên. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, 60(5):11–18.

[10] Trinh, V. H., Nguyen, T. N. M., Le, V. P., Ngo, C. P. (2025). Integration of BIM and GIS for managing infrastructure project: A case study of the 3/2 street in Kien Giang, Vietnam. *Transportation Research Procedia*, 85:150–157.

[11] World Commission on Environment and Development (1987). *Our common future*. Oxford University Press, Oxford.

[12] Banister, D., Watson, S., Wood, C. (1997). Sustainable cities: Transport, energy, and urban form. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(1):125–143.

[13] Komeily, A., Srinivasan, R. S. (2015). A need for balanced approach to neighborhood sustainability assessments: A critical review and analysis. *Sustainable Cities and Society*, 18:32–43.

[14] ISO 19650-1:2018. *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

[15] ISO 16739-1:2024. *Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries – Part 1: Data schema*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

[16] Chourabi, H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J. R., Mellouli, S., Nahon, K., Pardo, T. A., Scholl, H. J. (2012). Understanding smart cities: An integrative framework. *Proceedings of the 45th Hawaii International Conference on System Sciences*, IEEE, 2289–2297.

[17] Mohammed, B. Y., Khalifa, N. A., Hakim, S. J. S., Shahidan, S. B., Ali, S. (2025). Bibliometric analysis of GIS studies for bridge management: Trends, challenges, and future directions. *Applied Geomatics*, 18 (1):35.

[18] Cepa, J. J., García Alberti, M. (2026). Developing a BIM–GIS-based digital twin for the operation and maintenance of an urban ring road: The M-30 case study. *Applied Sciences*, 16(6):2673.

[19] Medrano-Sanchez, E., Martos, E. (2025). Strategies for bridge maintenance using BIM: An analysis of methodologies and tools. *Frontiers in Built Environment*, 11:1693644.

[20] Kaewunruen, S., Sresakoolchai, J., Lin, Y.-H. (2021). Digital twins for managing railway maintenance and resilience. *Open Research Europe*, 1:91.

[21] Singapore National Research Foundation (2023). *Virtual Singapore – A 3D city model platform*. Singapore.

[22] Thủ tướng Chính phủ (2016). *Quyết định số 2500/QĐ-TTg ngày 22 tháng 12 năm 2016 phê duyệt Đề án áp dụng mô hình thông tin công trình (BIM) trong hoạt động xây dựng và quản lý vận hành công trình*. Hà Nội.

[23] Thủ tướng Chính phủ (2025). *Quyết định số 1125/QĐ-TTg ngày 11 tháng 6 năm 2025 phê duyệt Đồ án điều chỉnh quy hoạch chung Thành phố Hồ Chí Minh đến năm 2040, tầm nhìn đến năm 2060*. Hà Nội.

[24] Bộ Xây dựng (2025). *Thông tư số 16/2025/TT-BXD ngày 26 tháng 6 năm 2025 quy định chi tiết một số điều của Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn*. Hà Nội.

[25] QCVN 88:2025/BNNMT. *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về cơ sở dữ liệu nền địa lý quốc gia tỷ lệ 1:25.000, 1:50.000, 1:100.000*. Bộ Nông nghiệp và Môi trường, Hà Nội.

[26] QCVN 73:2023/BTNMT. *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về cơ sở dữ liệu nền địa lý quốc gia tỷ lệ 1:2.000, 1:5.000, 1:10.000*. Bộ Tài nguyên và Môi trường, Hà Nội.

[27] QCVN 42:2020/BTNMT. *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chuẩn thông tin địa lý cơ sở*. Bộ Tài nguyên và Môi trường, Hà Nội.

[28] Lam, P.-D., Gu, B.-H., Lam, H.-K., Ok, S.-Y., Lee, S.-H. (2024). Digital twin smart city: Integrating IFC and CityGML with semantic graph for advanced 3D city model visualization. *Sensors*, 24(12):3761.

[29] Project PLATEAU (2024). *PLATEAU GIS converter – Open-source tool for converting CityGML 3D city models into geospatial formats*. Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan.

[30] Huang, Y., Gao, J., Wang, L., Zhu, J., Li, W. (2025). A framework of life-cycle infrastructure digitalization for highway asset management. *Sustainability*, 17(3):907.

[31] Bộ Xây dựng (2021). *Quyết định số 348/QĐ-BXD ngày 02 tháng 4 năm 2021 về việc công bố Hướng dẫn chung áp dụng mô hình thông tin công trình (BIM)*. Hà Nội.

[32] OGC 21-006r2 (2023). *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Part 2: GML encoding standard (version 3.0)*. Open Geospatial Consortium.

[33] Bộ Tài chính (2026). *Thông tư số 22/2026/TT-BTC ngày 17 tháng 3 năm 2026 hướng dẫn nội dung và yêu cầu kỹ thuật của cơ sở dữ liệu về quy hoạch và sơ đồ quy hoạch cấp quốc gia, quy hoạch vùng, quy hoạch tỉnh*. Hà Nội.