

GIS và tiến trình số hóa ngành Xây dựng: Nghiên cứu đánh giá khả năng áp dụng

GIS and the digitalization process in the Construction industry: An assessment of applicability

> NGUYỄN MINH NHẤT

Viện Đào tạo & Hợp tác quốc tế, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội
Email: nhatnm@hau.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tập trung xem xét khả năng triển khai Hệ thống thông tin địa lý (GIS) trong quá trình số hóa lĩnh vực xây dựng tại Việt Nam. Cách tiếp cận được xây dựng trên năm nhóm tiêu chí tham chiếu quốc tế, bao gồm: (D1) chất lượng dữ liệu không gian, (D2) siêu dữ liệu, (D3) tích hợp GIS với BIM, (D4) mô hình hóa không gian ba chiều, và (D5) khung điều kiện về tổ chức, nhân lực và pháp lý. Phương pháp đánh giá dựa trên so sánh, đối chiếu các chuẩn quốc tế với quy định kỹ thuật và pháp lý hiện hành. Kết quả chỉ ra rằng mức độ đáp ứng tại Việt Nam vẫn còn hạn chế, mới đạt mức trung bình và còn tồn tại nhiều khoảng cách trong chuẩn hóa dữ liệu, quản lý siêu dữ liệu, liên kết đa nền tảng và năng lực triển khai ở cấp tổ chức. Từ đó, nghiên cứu xác định những điểm yếu mang tính hệ thống, phân tích hệ quả đối với khả năng kết nối và quản trị thông tin số, đồng thời đề xuất giải pháp hướng tới thu hẹp khoảng cách chuẩn mực, tăng cường hiệu quả số hóa, và từng bước hình thành nền tảng hạ tầng xây dựng thông minh và bền vững.

Từ khóa: Hệ thống thông tin địa lý (GIS); số hóa ngành Xây dựng; mô hình thông tin công trình (BIM); tích hợp GIS-BIM; chuẩn hóa siêu dữ liệu.

ABSTRACT

This study investigates the applicability of Geographic Information Systems (GIS) in the digitalization of Vietnam's construction sector. The assessment framework is structured around five internationally recognized criteria: (D1) spatial data quality, (D2) metadata management, (D3) GIS-BIM integration, (D4) 3D spatial modeling and (D5) organizational, human resource, and legal conditions. The research adopts a comparative approach, benchmarking international standards against existing technical and legal requirements in Vietnam. Findings indicate that the current level of readiness remains modest, with substantial gaps in data standardization, metadata practices, cross-domain integration and institutional capacity. The analysis highlights systemic shortcomings, explores their implications for interoperability and digital information management, and proposes targeted solutions to bridge the gaps with global standards, thereby enhancing digitalization outcomes and fostering the development of smart and sustainable construction infrastructure.

Keywords: Geographic information systems (GIS); digitalization of the construction sector; building information modelling (BIM); GIS-BIM integration; metadata standardization.

1. GIỚI THIỆU

Trong hai thập kỷ gần đây, sự bùng nổ của công nghệ thông tin, viễn thám và các nền tảng dữ liệu số đã tạo ra những cơ hội mang tính bước ngoặt cho lĩnh vực xây dựng, nhất là trong tiến trình chuyển đổi số và phát triển đô thị thông minh. Hệ thống thông tin địa lý (GIS) nổi lên như một công cụ nền tảng, cho phép thu thập, quản lý, phân tích và trực quan hóa dữ liệu không gian một cách hiệu quả, từ đó hỗ trợ lập quy hoạch, thiết kế, thi công và quản lý công trình ở nhiều cấp độ [12, 13]. Song song, mô hình thông tin

công trình (BIM) đã khẳng định vai trò trong quản lý toàn bộ vòng đời công trình thông qua môi trường dữ liệu chuẩn hóa và tích hợp [7, 8].

Trên thế giới, xu hướng kết hợp GIS và BIM ngày càng trở thành chuẩn mực nhằm xây dựng hệ thống quản lý dữ liệu không gian và công trình toàn diện [9, 13]. Sự tích hợp này tạo điều kiện cho việc mô phỏng công trình trong không gian đô thị ba chiều, đồng thời hỗ trợ trao đổi dữ liệu đa nền tảng dựa trên chuẩn IFC [4, 12]. Các tiêu chuẩn quốc tế, điển hình như ISO 19115-1 về siêu dữ liệu và

ISO 19157-1 về chất lượng dữ liệu, đóng vai trò bảo đảm tính tương thích và độ tin cậy của dữ liệu, từ đó làm nền tảng cho việc phát triển các ứng dụng GIS-BIM ở quy mô quốc gia.

Tại Việt Nam, định hướng chuyển đổi số trong ngành xây dựng đã được thể chế hóa thông qua nhiều văn bản pháp lý, tiêu biểu như Luật Đo đạc và Bản đồ, Công văn 1247/BXD-PTĐT của Bộ Xây dựng về cơ sở dữ liệu đô thị trên nền GIS, về cơ sở dữ liệu đô thị trên nền GIS, và Quyết định 06/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ về hệ thống thông tin và cơ sở dữ liệu quốc gia về quy hoạch. Đặc biệt, sự ra đời của hai tiêu chuẩn quốc gia TCVN 14177-1:2024 và TCVN 14177-2:2024 dựa trên khung ISO 19650 đã đánh dấu một bước tiến quan trọng trong việc nội địa hóa và chuẩn hóa kỹ thuật BIM, đồng thời mở ra hành lang pháp lý cho triển khai các dự án tích hợp GIS-BIM một cách đồng bộ.

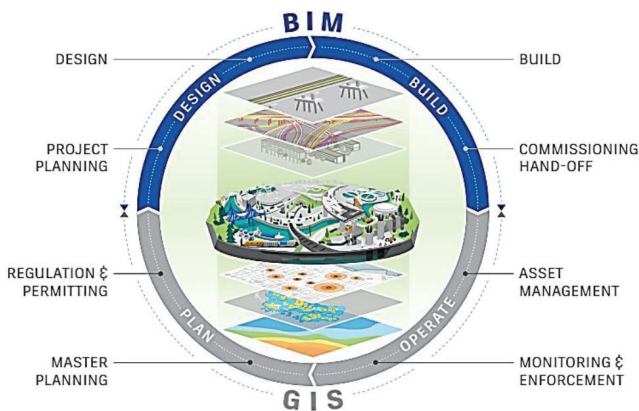
Một số nghiên cứu trong nước gần đây cũng đã chỉ ra tính khả thi của việc áp dụng GIS kết hợp BIM vào các dự án hạ tầng trọng điểm, như tuyến metro tại TP.HCM hay các dự án cảng biển [10, 11]. Tuy nhiên, thực tiễn triển khai vẫn còn đối diện nhiều thách thức, bao gồm việc thiếu đồng bộ trong chuẩn hóa dữ liệu, khó khăn trong tích hợp liên ngành và những vấn đề pháp lý liên quan đến quản trị thông tin số hóa. Điều này đặt ra yêu cầu cấp thiết phải có một nghiên cứu đánh giá toàn diện mức độ sẵn sàng và khả năng áp dụng GIS trong nhiệm vụ số hóa ngành xây dựng, không chỉ giới hạn ở phương diện kỹ thuật, mà còn mở rộng sang khung tiêu chuẩn, chính sách pháp luật và năng lực tổ chức triển khai.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ HỆ THỐNG TIÊU CHUẨN KỸ THUẬT

2.1. GIS trong xây dựng

Trong bối cảnh ngành Xây dựng, GIS không chỉ dừng lại ở chức năng lưu trữ bản đồ số, mà còn cho phép tích hợp đồng thời dữ liệu thuộc tính và dữ liệu không gian nhằm phục vụ toàn bộ vòng đời dự án - từ quy hoạch, thiết kế, thi công đến quản lý vận hành công trình [6].

Về nguyên lý hoạt động, GIS cung cấp khả năng xử lý và tích hợp dữ liệu đa lớp (multi-layer) và đa nguồn, bao gồm ảnh viễn thám, dữ liệu định vị GPS, quét laser 3D, cũng như thông tin từ các mô hình BIM. Năng lực này giúp phân tích các mối quan hệ không gian giữa hạ tầng kỹ thuật, địa hình, môi trường và công trình xây dựng, đồng thời bảo đảm tuân thủ các tiêu chuẩn quốc tế về chất lượng và tính nhất quán của dữ liệu [6].



Hình 1. Tích hợp BIM-GIS trong vòng đời công trình xây dựng [5]

Các chức năng cốt lõi của Hệ thống thông tin địa lý (GIS) trong lĩnh vực xây dựng có thể được phân thành bốn nhóm chính:

(1) Quản lý dữ liệu không gian. GIS hỗ trợ thu thập, lưu trữ và chuẩn hóa dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau, đồng thời bảo đảm

tuân thủ các tiêu chuẩn quốc tế về siêu dữ liệu [5] và chất lượng dữ liệu [6].

(2) Phân tích không gian. Thông qua các công cụ phân tích, GIS cho phép đánh giá đặc điểm địa hình, tối ưu hóa tuyến hạ tầng, xác định vùng ảnh hưởng và mô phỏng các kịch bản quy hoạch khác nhau, từ đó cung cấp cơ sở khoa học cho việc ra quyết định.

(3) Tích hợp và mô phỏng 3D. GIS có khả năng tích hợp với Mô hình thông tin công trình (BIM) và các chuẩn trao đổi dữ liệu như IFC, đồng thời hỗ trợ mô hình hóa đô thị ba chiều, giúp nâng cao chất lượng dự báo và tối ưu hóa phương án thiết kế - quản lý [4, 12].

(4) Hỗ trợ quản lý và ra quyết định. GIS đóng vai trò như một nền tảng phân tích và trực quan hóa thông tin, phục vụ hiệu quả cho các cơ quan quản lý, nhà thầu và đơn vị tư vấn trong các hoạt động quy hoạch, thẩm định, cấp phép và vận hành công trình.

2.2. Nhiệm vụ số hóa: Chuẩn kỹ thuật và mô hình quản trị dữ liệu

Trong lĩnh vực xây dựng, nhiệm vụ số hóa được hiểu như quá trình chuyển đổi, chuẩn hóa và tích hợp toàn diện dữ liệu không gian và dữ liệu kỹ thuật của công trình, hạ tầng vào một hệ sinh thái thông tin thống nhất. Mục tiêu là bảo đảm khả năng quản trị, truy xuất và chia sẻ thông tin xuyên suốt vòng đời dự án [1, 4].

Tại Việt Nam, nhiệm vụ số hóa phải đồng thời đáp ứng các yêu cầu pháp lý và chuẩn mực quốc gia. Các văn bản nền tảng bao gồm Luật Đo đạc và Bản đồ, Công văn 1247/BXD-PTĐT của Bộ Xây dựng về cơ sở dữ liệu đô thị liên thông, và Quyết định 06/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ về cơ sở dữ liệu quốc gia về quy hoạch. Đặc biệt, việc ban hành TCVN 14177-1/2:2024 về quản lý thông tin theo BIM đã thiết lập hành lang kỹ thuật cho việc tích hợp GIS-BIM. Những khung pháp lý này không chỉ bảo đảm tính hợp pháp và tính thống nhất của dữ liệu, mà còn tạo điều kiện cho khả năng tích hợp và liên thông ở quy mô quốc gia.

Yêu cầu kỹ thuật đối với dữ liệu số hóa

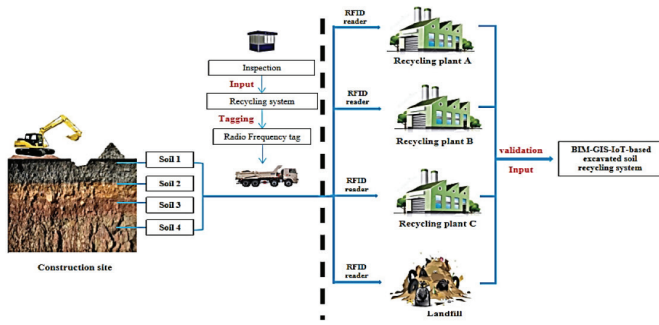
Để bảo đảm tính hiệu quả và độ tin cậy, dữ liệu số hóa trước hết cần đáp ứng các tiêu chí chất lượng do ISO 19157-1 quy định, bao gồm sáu nhóm: độ đầy đủ (completeness), tính nhất quán logic (logical consistency), độ chính xác vị trí (positional accuracy), độ chính xác chuyên đề (thematic accuracy), chất lượng thời gian (temporal quality) và khả năng sử dụng (usability). Các tiêu chí này được áp dụng cho cả dữ liệu thu thập trực tiếp lẫn dữ liệu thứ cấp.

Bên cạnh chất lượng, mỗi tập dữ liệu cần được gắn kèm siêu dữ liệu chuẩn theo ISO 19115-1, bao gồm thông tin về nhận dạng, phạm vi, hệ quy chiếu, chất lượng và nguồn gốc (lineage), nhằm bảo đảm khả năng truy cập, tái sử dụng và liên thông. Việc áp dụng hệ quy chiếu tọa độ thống nhất theo tiêu chuẩn quốc gia không chỉ giúp liên kết dữ liệu chính xác mà còn duy trì tính pháp lý khi tích hợp vào hạ tầng dữ liệu không gian quốc gia [5, 14].

Yêu cầu tích hợp và tương thích hệ thống

Một yêu cầu trọng yếu khác là khả năng tích hợp giữa GIS và BIM, đòi hỏi sự đồng bộ về ngữ nghĩa lẫn định dạng dữ liệu. Trong đó, IFC đóng vai trò là định dạng trao đổi chuẩn cho mô hình công trình, còn CityGML 3.0 cung cấp khung biểu diễn đô thị 3D với nhiều mức chi tiết (LOD), từ mô hình khối tích quy hoạch đến mô phỏng chi tiết kiến trúc [4, 12].

Các nghiên cứu quốc tế cho thấy việc tích hợp BIM-GIS-IoT có thể nâng cao hiệu quả giám sát, quản lý tài nguyên công trình và hỗ trợ ra quyết định trong giai đoạn vận hành và bảo trì. Tuy nhiên, thách thức vẫn tồn tại ở sự khác biệt mô hình dữ liệu, nguy cơ mất mát thông tin trong quá trình chuyển đổi, cũng như yêu cầu đồng bộ hóa giữa các nền tảng phần mềm thương mại và mã nguồn mở [9, 13].



Hình 2. Hệ thống tái chế đất đào dựa trên BIM-GIS-IoT [6]

Quản trị và duy trì dữ liệu số hóa

Toàn bộ dữ liệu số hóa cần được quản trị trong Môi trường dữ liệu dùng chung theo ISO 19650 và các tiêu chuẩn TCVN tương ứng. CDE bảo đảm việc áp dụng quy tắc đặt tên thống nhất, quản lý phiên bản, thiết lập quy trình phê duyệt và phân quyền truy cập minh bạch. Nhờ đó, dữ liệu duy trì được tính toàn vẹn, dễ truy xuất và bảo đảm nhất quán khi chia sẻ giữa các bên liên quan trong dự án.

Bên cạnh đó, khả năng liên thông dữ liệu với cơ sở dữ liệu đô thị và quốc gia được củng cố bởi các văn bản pháp lý. Điều này cho phép dữ liệu dự án được tích hợp vào hạ tầng dữ liệu quốc gia, từ đó mở rộng tiềm năng ứng dụng trong các phân tích không gian nâng cao, mô phỏng đô thị thông minh và hỗ trợ quá trình hoạch định chính sách.

2.3. Hệ thống tiêu chuẩn áp dụng

Việc áp dụng một hệ thống tiêu chuẩn thống nhất được coi là điều kiện tiên quyết để bảo đảm dữ liệu số hóa trong ngành xây dựng đạt tính nhất quán, khả năng chia sẻ và giá trị pháp lý. Các tiêu chuẩn này không tồn tại độc lập mà liên kết với nhau thành một “chuỗi giá trị thông tin”, trong đó tiêu chuẩn dữ liệu, tiêu chuẩn quản lý thông tin và khung pháp lý bổ trợ lẫn nhau nhằm hình thành một Môi trường dữ liệu dùng chung (CDE) tin cậy và bền vững.

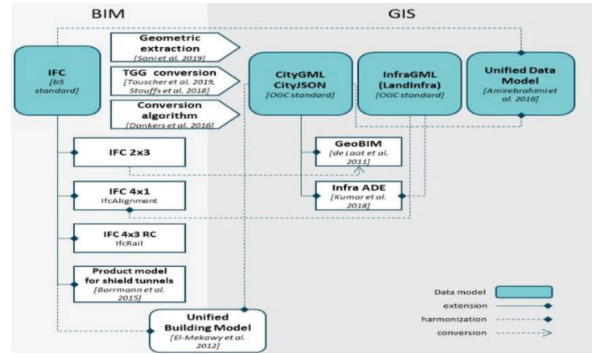
Tiêu chuẩn dữ liệu không gian - nền tảng của GIS

Trong lĩnh vực GIS, ISO 19115-1 và ISO 19157-1 đóng vai trò then chốt. ISO 19115-1 quy định cấu trúc siêu dữ liệu, giúp mỗi tập dữ liệu có một “hộ chiếu thông tin” đầy đủ, bao gồm phạm vi, hệ quy chiếu, chất lượng và nguồn gốc (lineage), qua đó nâng cao khả năng tìm kiếm, truy xuất và tích hợp. ISO 19157-1 mở rộng hơn bằng việc đưa ra các chỉ số định lượng về chất lượng dữ liệu, như độ chính xác vị trí hoặc tính nhất quán logic. Việc bỏ qua các tiêu chuẩn này có thể dẫn đến dữ liệu sai lệch, gây rủi ro lớn khi tích hợp với BIM hoặc khai thác trong công tác quy hoạch [5, 6].

Song song, CityGML 3.0 bổ sung năng lực mô hình hóa không gian ba chiều với nhiều mức độ chi tiết (LOD), cho phép biểu diễn từ khối tích công trình đến chi tiết kiến trúc. Trong bối cảnh đô thị thông minh, CityGML đóng vai trò như một “ngôn ngữ chung” để kết nối dữ liệu GIS của cơ quan quản lý với các mô hình 3D phục vụ phân tích và mô phỏng [12].

Tiêu chuẩn BIM và tích hợp GIS-BIM

Trong khi GIS chú trọng dữ liệu không gian rộng và bối cảnh đô thị, BIM tập trung vào chi tiết thiết kế và quản lý thi công công trình. IFC được xem là “cầu nối” định dạng, cho phép trao đổi dữ liệu mô hình công trình giữa nhiều nền tảng phần mềm khác nhau, bao gồm cả GIS. Tuy nhiên, để tích hợp GIS-BIM một cách hiệu quả, việc tuân thủ ISO là bắt buộc. Bộ tiêu chuẩn này quy định nguyên tắc quản lý thông tin xuyên suốt vòng đời dự án, từ thiết kế, thi công đến vận hành, giúp dữ liệu duy trì tính nhất quán khi luân chuyển giữa nhiều chủ thể [4, 7, 8].



Hình 3. Tích hợp BIM-GIS thông qua các chuẩn IFC và CityGML [12]

Tiêu chuẩn và khung pháp lý tại Việt Nam

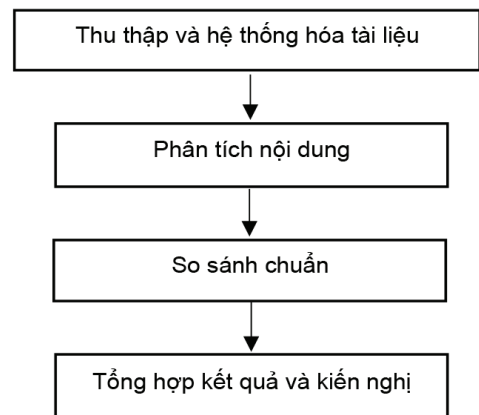
Trong bối cảnh Việt Nam, việc áp dụng các tiêu chuẩn quốc tế luôn phải gắn liền với sự điều chỉnh phù hợp khung pháp lý hiện hành. Luật Đo đạc và Bản đồ quy định hệ quy chiếu và nguyên tắc sử dụng dữ liệu không gian, từ đó thiết lập nền tảng pháp lý cho triển khai GIS. Công văn 1247/BXD-PTĐT của Bộ Xây dựng đưa ra hướng dẫn xây dựng cơ sở dữ liệu đô thị liên thông, trong đó GIS được xác định là hạ tầng cốt lõi. Bổ sung cho các quy định này, Quyết định 06/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ yêu cầu tích hợp dữ liệu xây dựng vào cơ sở dữ liệu quốc gia về quy hoạch, đồng nghĩa với việc định dạng và cấu trúc dữ liệu cần được thiết kế tương thích ngay từ giai đoạn số hóa ban đầu [14; 15].

Đáng chú ý, TCVN 14177-1:2024 và TCVN 14177-2:2024, được xây dựng dựa trên khung ISO 19650, đã quy định chi tiết về mô hình hóa thông tin công trình và quản lý dữ liệu trong quá trình chuyển giao tài sản. Đây được xem là nền tảng pháp lý - kỹ thuật để đồng bộ BIM và GIS tại Việt Nam, đồng thời giảm thiểu rủi ro mâu thuẫn về định dạng hoặc siêu dữ liệu khi kết nối với hệ thống quốc tế [1, 2].

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu này được triển khai dựa trên quy trình tổng hợp và phân tích tài liệu chuẩn, bao gồm các tiêu chuẩn quốc tế và các quy chuẩn Việt Nam; cùng hệ thống văn bản pháp lý như Luật Đo đạc và Bản đồ, Công văn 1247/BXD-PTĐT, và Quyết định 06/QĐ-TTg. Ngoài ra, các nghiên cứu trong và ngoài nước liên quan đến tích hợp GIS-BIM-IoT trong xây dựng cũng được tham khảo nhằm đối chiếu, so sánh và củng cố cơ sở lý thuyết.

Để đánh giá, năm tiêu chí (D1-D5) được xây dựng dựa trên khung tiêu chuẩn quốc tế và điều kiện áp dụng tại Việt Nam, bao gồm: (D1) chất lượng dữ liệu, (D2) siêu dữ liệu, (D3) tích hợp GIS-BIM, (D4) mô hình hóa 3D, và (D5) điều kiện tổ chức - pháp lý.



Hình 4. Quy trình nghiên cứu

Quy trình nghiên cứu được triển khai theo bốn bước chính:

Bước 1 - Tổng hợp và hệ thống hóa tài liệu. Toàn bộ tài liệu được thu thập, sắp xếp, mã hóa và phân loại theo năm tiêu chí đánh giá D1-D5, bao gồm chất lượng dữ liệu, siêu dữ liệu, tích hợp GIS-BIM, mô hình hóa 3D, và điều kiện tổ chức - pháp lý.

Bước 2 - Phân tích nội dung. Các tài liệu được phân tích nhằm xác định yêu cầu kỹ thuật, tiêu chuẩn áp dụng và điều kiện pháp lý liên quan đến nhiệm vụ số hóa ngành xây dựng.

Bước 3 - So sánh chuẩn (benchmarking). Hiện trạng áp dụng GIS tại Việt Nam được đối chiếu với các mô hình và chuẩn mực quốc tế, từ đó làm rõ khoảng cách, hạn chế và tiềm năng cải thiện.

Bước 4 - Tổng hợp và kiến nghị. Kết quả phân tích được tổng hợp để đánh giá mức độ đáp ứng yêu cầu, đồng thời đề xuất các giải pháp và định hướng nhằm nâng cao hiệu quả ứng dụng GIS trong quá trình số hóa lĩnh vực xây dựng.

4. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH

4.1. Khả năng đáp ứng yêu cầu chất lượng dữ liệu không gian (Tiêu chí D1)

Theo ISO 19157-1 [6], chất lượng dữ liệu không gian được đánh giá thông qua sáu yếu tố: độ đầy đủ (completeness), tính nhất quán logic (logical consistency), độ chính xác vị trí (positional accuracy), độ chính xác chuyên đề (thematic accuracy), chất lượng thời gian (temporal quality) và khả năng sử dụng (usability). Trong ngành xây dựng, đặc biệt đối với các dự án tích hợp GIS, những yếu tố này không chỉ mang ý nghĩa kỹ thuật mà còn liên quan trực tiếp đến tính pháp lý, khả năng vận hành và duy trì cơ sở dữ liệu lâu dài.

Tại Việt Nam, dữ liệu không gian phục vụ xây dựng hiện chủ yếu được tổng hợp từ nhiều nguồn khác nhau như bản đồ địa hình, dữ liệu GPS, quét laser 3D (LiDAR) và ảnh viễn thám. Sự đa dạng này dẫn đến mức độ không đồng nhất cao về hệ quy chiếu và định dạng dữ liệu, gây ảnh hưởng trực tiếp đến logical consistency do dữ liệu có thể chồng khớp sai hoặc lệch tọa độ khi tích hợp vào GIS. Mặc dù Luật Đo đạc và Bản đồ đã quy định áp dụng hệ tọa độ quốc gia VN-2000, trên thực tế vẫn tồn tại tình trạng dữ liệu lưu trữ ở các hệ quy chiếu khác nhau, đòi hỏi quá trình chuyển đổi và hiệu chỉnh, từ đó phát sinh sai số.

Về positional accuracy, một số dự án đã áp dụng công nghệ LiDAR và UAV, đạt độ chính xác ở mức centimet, đáp ứng yêu cầu của ISO 19157-1 đối với hạ tầng kỹ thuật. Tuy nhiên, việc tái sử dụng các bộ dữ liệu đo đạc cũ vẫn phổ biến, không đáp ứng chuẩn độ chính xác cao, đặc biệt tại các khu vực đô thị hóa nhanh, làm hạn chế khả năng tích hợp với mô hình BIM vốn có yêu cầu hình học chi tiết [4].

Đối với thematic accuracy, dữ liệu thuộc tính (attribute data) liên quan đến công trình, vật liệu và hạ tầng ngầm còn thiếu đồng bộ hoặc chưa được cập nhật, gây khó khăn cho các phân tích chuyên sâu. Temporal quality cũng là một hạn chế, khi nhiều lớp dữ liệu chưa được cập nhật theo chu kỳ, trong khi tiêu chuẩn ISO yêu cầu ghi rõ thời điểm thu thập, thời điểm cập nhật và chu kỳ bảo trì.

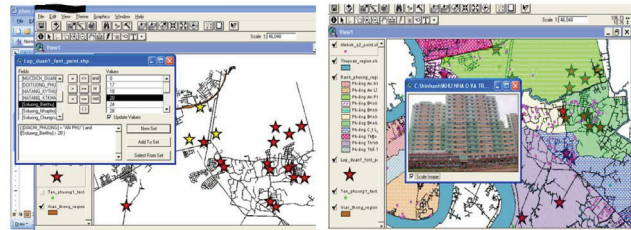
Cuối cùng, usability phụ thuộc lớn vào chất lượng siêu dữ liệu theo ISO 19115-1. Thực tế cho thấy nhiều hệ thống hiện nay vẫn thiếu thông tin chuẩn hóa về nguồn gốc và chất lượng dữ liệu, làm giảm khả năng tái sử dụng. Do đó, để đáp ứng toàn diện tiêu chí D1, cần xây dựng một quy trình quản trị dữ liệu thống nhất từ khâu thu thập, xử lý đến lưu trữ, gắn liền với cơ chế kiểm tra chất lượng định kỳ, đồng thời đảm bảo sự phù hợp với yêu cầu pháp lý và tiêu chuẩn kỹ thuật hiện hành [3, 5, 15].

4.2. Khả năng cung cấp siêu dữ liệu đầy đủ và chuẩn hóa (Tiêu chí D2)

Trong nhiệm vụ số hóa dữ liệu ngành xây dựng, siêu dữ liệu

giữ vai trò như “xương sống” bảo đảm rằng mọi thông tin không gian và kỹ thuật đều có thể được tìm thấy, diễn giải đúng ngữ cảnh và tái sử dụng trong toàn bộ vòng đời dự án.

Thực tiễn tại Việt Nam cho thấy còn nhiều khoảng trống trong việc xây dựng siêu dữ liệu cho các hệ thống dữ liệu ngành xây dựng. Hồ sơ nguồn gốc (lineage) thường thiếu chi tiết về công nghệ thu thập, tham số xử lý hoặc biến đổi tọa độ, khiến việc kiểm chứng các chỉ số positional accuracy và temporal quality (thuộc D1) trở nên khó khăn. Thông tin về hệ quy chiếu không gian (CRS) cũng chưa được mô tả đầy đủ và nhất quán; nhiều trường hợp bỏ qua mã EPSG, ellipsoid hoặc epoch, đặc biệt trong quá trình chuyển đổi giữa VN-2000 và các hệ tọa độ quốc tế. Điều này dẫn đến sai lệch khi chồng ghép dữ liệu xây dựng - quy hoạch và vi phạm quy định của Luật Đo đạc và Bản đồ về hệ quy chiếu quốc gia [14].



Hình 5. Ứng dụng GIS xây dựng CSDL các dự án dân cư mới [20]

Để đạt mức đáp ứng các yêu cầu quốc tế và pháp lý, việc chuẩn hóa siêu dữ liệu cần được tiếp cận như một giải pháp tích hợp liên miền. Ở phía GIS, ISO 19115-1 cung cấp khung “hệ chiếu dữ liệu” đầy đủ, trong khi ở phía BIM, IFC (ISO 16739-1) mô tả chi tiết các phần tử công trình và thuộc tính kỹ thuật. Khi hai miền này được kết hợp, các trường siêu dữ liệu phải bảo đảm khả năng định vị chính xác mô hình BIM trong không gian GIS, với CRS và tham số tọa độ được khai báo rõ ràng [4, 5, 6].

Sự tích hợp với mô hình đô thị 3D càng đòi hỏi sự đồng bộ này: phạm vi dữ liệu, mức độ chi tiết và thời điểm cập nhật của lớp phải trùng khớp với siêu dữ liệu mô hình IFC để bảo toàn giá trị phân tích không gian, ví dụ như mô phỏng bóng đổ, kiểm tra va chạm hay phân tích thông gió đô thị [12].

Khi được triển khai đầy đủ, tiêu chí D2 giúp giảm thiểu đáng kể chi phí và rủi ro trong quá trình tích hợp, đồng thời mở ra khả năng kết nối GIS-BIM-IoT ở quy mô lớn. Ngược lại, nếu thiếu siêu dữ liệu chuẩn hóa, dữ liệu sẽ mất khả năng truy xuất nguồn gốc, không chứng minh được chất lượng, giảm tính khả dụng (usability), và cản trở việc liên thông với các hạ tầng dữ liệu quốc gia theo quy định của Việt Nam [14, 15].

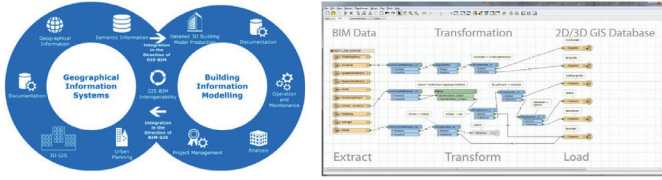
4.3. Mức độ tương thích và tích hợp GIS-BIM (Tiêu chí D3)

Khả năng tích hợp giữa GIS và BIM là yếu tố then chốt để hiện thực hóa nhiệm vụ số hóa trong ngành xây dựng. Đây chính là cầu nối giữa dữ liệu bối cảnh không gian rộng và dữ liệu hình học - kỹ thuật chi tiết của công trình. Tiêu chí D3 được thiết kế nhằm đánh giá mức độ tương thích và khả năng trao đổi dữ liệu giữa hai miền này.

Ở cấp kỹ thuật, sự khác biệt về mô hình dữ liệu (data model heterogeneity) là thách thức lớn nhất. GIS sử dụng cấu trúc dữ liệu hướng không gian (vector/raster), trong đó đối tượng địa lý được gắn với thuộc tính. Ngược lại, BIM mô hình hóa công trình dưới dạng cấu trúc phân cấp (hierarchical object model) với hình học tham số (parametric geometry) và tập hợp thuộc tính kỹ thuật phong phú.

Trong bối cảnh này, IFC đóng vai trò như một chuẩn trao đổi trung gian, song bản thân IFC chưa được thiết kế để lưu trữ đầy đủ thông tin bối cảnh địa lý với độ chính xác và độ phân giải như trong GIS. Ngược lại, ngay cả khi tuân thủ ISO 19107 hoặc CityGML, dữ liệu

GIS cũng không thể biểu diễn chi tiết cấu kiện hay quan hệ lắp ghép phức tạp của mô hình BIM [4].



Hình 6. Mức độ tương thích và tích hợp GIS-BIM [1]

Thực tiễn áp dụng tại Việt Nam cho thấy, phần lớn các dự án mới dừng ở mức tham chiếu mô hình BIM trong bối cảnh GIS bằng các file xuất trung gian, với việc định vị thủ công hoặc bán tự động, chưa khai thác được toàn bộ liên kết thuộc tính giữa hai miền. Điều này dẫn đến tình trạng dữ liệu bị sao chép và chuyển đổi nhiều lần, gây mất mát thông tin, khó bảo đảm tính toàn vẹn và khả năng truy vết.

Để đạt mức tương thích cao, quá trình tích hợp GIS-BIM cần triển khai đồng bộ các nguyên tắc kỹ thuật và quản trị. Về kỹ thuật, mô hình BIM phải được georeference chính xác trong CRS thống nhất với dữ liệu GIS nền, với đầy đủ khai báo về hệ quy chiếu, epoch và phép biến đổi; các đối tượng trong IFC cần có mã định danh duy nhất liên kết với đối tượng tương ứng trong GIS [14, 15].

4.4. Năng lực mô hình hóa không gian 3D cho công trình và đô thị (Tiêu chí D4)

Mô hình hóa không gian 3D là bước then chốt trong quá trình chuyển đổi dữ liệu từ dạng hai chiều truyền thống sang một cấu trúc không gian đa tầng, nơi hình học, thuộc tính và ngữ nghĩa được tích hợp thống nhất. Tiêu chí D4 được sử dụng để đánh giá khả năng dữ liệu không gian biểu diễn đầy đủ các đặc tính vật lý và chức năng của công trình và môi trường đô thị [12].

Khả năng đáp ứng D4 trước hết thể hiện qua phạm vi và chiều sâu của mức độ chi tiết mà mô hình 3D cung cấp. CityGML 3.0 định nghĩa LOD từ tổng quát đến chi tiết nội thất, mỗi mức phục vụ một mục đích phân tích riêng. Ở đây, LOD không chỉ là khía cạnh hình học mà còn gắn liền với mức độ ngữ nghĩa, chẳng hạn khả năng phân biệt tường, mái, cửa sổ hoặc loại đường giao thông - yếu tố quyết định để dữ liệu 3D tham gia vào các chuỗi phân tích chuyên sâu.

Một tiêu chí quan trọng khác là tính toàn vẹn ngữ nghĩa khi tích hợp đa nguồn dữ liệu. CityGML cung cấp cấu trúc dữ liệu để lưu giữ và truyền đạt ngữ nghĩa này. Tuy nhiên, thực tiễn tại Việt Nam cho thấy nhiều mô hình 3D hiện vẫn thiên về trực quan hóa, chủ yếu sử dụng cấu trúc lưới tam giác (mesh), thiếu thông tin thuộc tính và chưa tuân thủ chuẩn trao đổi. Điều này khiến mô hình 3D chỉ dừng ở vai trò trình diễn, thay vì vận hành như một cơ sở dữ liệu không gian 3D thực thụ.

Như vậy, D4 không chỉ phản ánh năng lực kỹ thuật trong mô hình hóa 3D, mà còn là thước đo khả năng tổ chức, chuẩn hóa và duy trì thông tin xuyên suốt quá trình tích hợp dữ liệu đa nguồn. Khi dữ liệu đáp ứng đầy đủ yêu cầu về hình học, ngữ nghĩa, LOD và đồng bộ không gian theo CityGML, mô hình 3D sẽ trở thành nền tảng phân tích đáng tin cậy, hỗ trợ từ quy hoạch chiến lược đến vận hành chi tiết công trình và đô thị.

4.5. Điều kiện tổ chức, nhân lực và pháp lý hỗ trợ áp dụng GIS (Tiêu chí D5)

Năng lực áp dụng GIS trong nhiệm vụ số hóa ngành xây dựng không chỉ phụ thuộc vào công nghệ và dữ liệu, mà còn được quyết định bởi ba trụ cột: tổ chức, nhân lực và khung pháp lý. Tiêu chí D5 vì vậy phản ánh khả năng duy trì, vận hành và mở rộng hệ thống GIS một cách bền vững trong môi trường thực tế, nơi các chuẩn mực

quốc tế cần được nội địa hóa và điều chỉnh phù hợp với điều kiện triển khai tại Việt Nam.

Về tổ chức, một hệ thống GIS quy mô ngành chỉ đạt hiệu quả khi được đặt trong cấu trúc quản trị rõ ràng, với cơ chế phân công - phối hợp minh bạch giữa các bên tham gia: đơn vị cung cấp, quản trị và khai thác dữ liệu. ISO 19650 và TCVN 14177-1/2:2024 đưa ra khung quản lý thông tin số trong Môi trường dữ liệu dùng chung (CDE), yêu cầu xác định vai trò cụ thể, cùng quy trình phê duyệt, quản lý phiên bản và truy xuất dữ liệu thống nhất. Nếu thiếu cấu trúc này, tính nhất quán và khả năng liên thông của dữ liệu GIS khó được bảo đảm, ngay cả khi hạ tầng kỹ thuật đạt chuẩn.

Về nhân lực, việc ứng dụng GIS chuyên sâu đòi hỏi đội ngũ có kiến thức liên ngành, bao gồm địa tin học, BIM, quản lý xây dựng và pháp luật về dữ liệu không gian. Khoảng trống lớn hiện nay nằm ở việc thiếu các chuyên gia thông thạo đồng thời ISO/TCVN và các nền tảng phần mềm GIS-BIM, khiến triển khai thường bị phân mảnh: nhóm GIS và nhóm BIM hoạt động theo các chuẩn tách biệt, làm cho tích hợp trở nên hình thức.

Về khung pháp lý, ứng dụng GIS trong xây dựng tại Việt Nam hiện chịu sự điều chỉnh của nhiều văn bản: Luật Đo đạc và Bản đồ (2018) quy định hệ quy chiếu quốc gia và trách nhiệm quản lý dữ liệu; Công văn 1247/BXD-PTĐT yêu cầu xây dựng cơ sở dữ liệu đô thị liên thông; Quyết định 06/QĐ-TTg quy định tích hợp dữ liệu xây dựng vào cơ sở dữ liệu quốc gia về quy hoạch; cùng với TCVN 14177-1/2:2024 về quản lý thông tin theo BIM. Các văn bản này không chỉ mang tính “căn cứ pháp lý” mà còn tạo ra ràng buộc bắt buộc về định dạng, cấu trúc và quyền sử dụng dữ liệu.

4.6. Tổng hợp kết quả đánh giá

Kết quả phân tích năm tiêu chí cho thấy mức độ sẵn sàng của GIS trong nhiệm vụ số hóa ngành xây dựng tại Việt Nam hiện mới đạt ngưỡng trung bình-tùng phần, với sự chênh lệch đáng kể giữa các khía cạnh kỹ thuật, dữ liệu và điều kiện vận hành.

- D1 - Chất lượng dữ liệu không gian. Một số dự án đã đáp ứng các yêu cầu về độ đầy đủ, tính nhất quán và độ chính xác vị trí theo ISO 19157-1, nhưng việc kiểm chứng độ chính xác chuyên đề và chất lượng thời gian vẫn thiếu đồng bộ.

- D2 - Siêu dữ liệu. Khoảng trống lớn được ghi nhận ở việc khai báo hệ quy chiếu (CRS), thông tin nguồn gốc (lineage) và ràng buộc sử dụng. Đây vốn là những thành phần cốt lõi để đảm bảo khả năng liên thông và tái sử dụng dữ liệu, nên sự thiếu hụt làm hạn chế kết nối với cơ sở dữ liệu đô thị và quốc gia.

- D3 - Tích hợp GIS-BIM. Mặc dù hạ tầng kỹ thuật đã tiếp cận các chuẩn trao đổi như IFC và CityGML, song sự khác biệt mô hình dữ liệu cùng việc thiếu quy trình thống nhất trong CDE khiến tích hợp chủ yếu mới dừng ở mức thí điểm hoặc trong phạm vi dự án riêng lẻ, dẫn đến chi phí xử lý thủ công cao.

- D4 - Mô hình hóa không gian 3D. Khả năng tạo lập mô hình với nhiều mức chi tiết (LOD) đã xuất hiện, nhưng chủ yếu dừng ở LOD1-LOD2. Việc chuẩn hóa và mở rộng tới LOD3+ và LOD4 còn hạn chế, khiến các ứng dụng phân tích nâng cao chưa được khai thác hiệu quả.

- D5 - Tổ chức, nhân lực và pháp lý. Khung pháp lý cơ bản đã hình thành với Luật Đo đạc và Bản đồ, Quyết định 06/QĐ-TTg và TCVN 14177-1/2:2024. Tuy nhiên, nguồn nhân lực liên ngành còn thiếu, việc áp dụng ISO 19650 chưa đồng đều, và cơ chế tổ chức thống nhất để đảm bảo tính bền vững trong triển khai GIS ở quy mô lớn vẫn chưa rõ ràng.

Bảng 1. Đánh giá mức độ đáp ứng GIS và khoảng cách so với chuẩn quốc tế

Tiêu chí	Chuẩn đối chiếu	Mức đáp ứng hiện tại	Khoảng cách kỹ thuật / pháp lý	Tác động tới số hóa ngành Xây dựng
D1 - Chất lượng dữ liệu không gian	ISO 19157-1	3.2/5 (~75% completeness)	Độ chính xác vị trí và tính nhất quán logic chưa đạt chuẩn; kiểm chứng thematic/temporal chưa đồng bộ	Ảnh hưởng trực tiếp tới độ tin cậy phân tích và khả năng tích hợp liên ngành
D2 - Siêu dữ liệu	ISO 19115-1	2.6/5 (~62% phần tử bắt buộc)	Thiếu lineage, CRS đầy đủ, data quality info; có nguy cơ vi phạm chuẩn CRS	Giảm khả năng truy xuất, kiểm chứng và liên thông CSDL đô thị/quốc gia
D3 - Tích hợp GIS - BIM	IFC (ISO 16739-1), ISO 19650	3.0/5	Chưa áp dụng IFC nhất quán; thiếu workflow CDE; EIR chưa đồng bộ	Hạn chế khả năng liên kết mô hình công trình vào bối cảnh GIS; tăng chi phí xử lý thủ công
D4 - Mô hình 3D	CityGML 3.0	2.4/5	Mới đạt LOD1-LOD2; chưa chuẩn hóa LOD3+	Hạn chế các phân tích 3D nâng cao và tích hợp IoT
D5 - Điều kiện tổ chức, nhân lực & pháp lý	TCVN 14177-1/2:2024, Luật, Quyết định...	2.5/5	Thiếu nhân lực liên ngành; áp dụng ISO 19650 chưa đồng đều; khung pháp lý chưa đầy đủ	Ảnh hưởng lâu dài tới tính bền vững triển khai GIS trong xây dựng

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Phân tích 05 tiêu chí D1-D5 cho thấy Việt Nam đã bước đầu hình thành nền tảng kỹ thuật và pháp lý cần thiết để ứng dụng GIS trong số hóa ngành xây dựng. Tuy nhiên, mức độ sẵn sàng hiện tại vẫn chỉ ở mức trung bình và thiếu đồng bộ, với khoảng cách đáng kể về chất lượng và chuẩn hóa dữ liệu, khả năng tích hợp liên ngành, cũng như năng lực tổ chức và nhân lực. Thực trạng này đòi hỏi một chiến lược triển khai có trọng tâm, vừa củng cố nền tảng hiện có, vừa khắc phục các điểm nghẽn kỹ thuật - quản trị để tiệm cận chuẩn quốc tế.

Trên cơ sở nhận diện các khoảng trống và tiềm năng, nghiên cứu đề xuất năm nhóm kiến nghị sau:

- (1) Nâng cao chất lượng dữ liệu không gian (D1).
- (2) Chuẩn hóa và bắt buộc siêu dữ liệu (D2).
- (3) Tăng cường tích hợp GIS-BIM (D3).
- (4) Phát triển năng lực mô hình 3D (D4).
- (5) Hoàn thiện tổ chức, nhân lực và pháp lý (D5).

Việc triển khai đồng bộ các kiến nghị trên sẽ giúp Việt Nam thu hẹp khoảng cách với chuẩn quốc tế, tận dụng tối đa tiềm năng của GIS trong nhiệm vụ số hóa xây dựng, đồng thời nâng cao hiệu quả quy hoạch, tối ưu chi phí vận hành và gia tăng tính bền vững cho các dự án đô thị - hạ tầng trong dài hạn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Al Lozi, N.M. (2022). Effect of Implementing Building Information Modelling in Infrastructure Management of Smart Cities. In: Digital Economy, Business Analytics, and Big Data Analytics Applications. Studies in Computational Intelligence. Springer, pp.319-329. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05258-3_26.
- [2]. Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam (2024). TCVN 14177-1:2024 - Phần 1: Khái

niệm và nguyên tắc về mô hình hóa thông tin công trình (BIM), Hà Nội

[3]. Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam (2024). TCVN 14177-2:2024 - Phần 2: Giai đoạn chuyển giao tài sản, Hà Nội

[4]. Bộ Xây dựng (2022). Công văn 1247/BXD-PTĐT ngày 14/4/2022 về hướng dẫn tổ chức thiết lập Hệ thống cơ sở dữ liệu đô thị liên thông trên nền GIS phục vụ phát triển đô thị thông minh. Hà Nội.

[5]. Driscoll, K.L. Sr. (2019). InfraWorks Bringing Your Bridge Project to Life - InfraWorks: Autodesk Connector for ArcGIS. Applied Software Technology, Autodesk.

[6]. Huang, T., Kou, S., Liu, D., Li, D. and Xing, F. (2022). A BIM-GIS-IoT-Based System for Excavated Soil Recycling. Buildings, 12(4): 457. <https://doi.org/10.3390/buildings12040457>

[7]. ISO 16739-1. (2024). Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. ISO.

[8]. ISO 19115-1. (2014). Geographic information - Metadata - Part 1: Fundamentals. ISO.

[9]. ISO 19157-1. (2023). Geographic information - Data quality - Part 1: General requirements. ISO.

[10]. ISO 19650-1. (2018). Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including BIM - Part 1: Concepts and principles. ISO.

[11]. ISO 19650-2. (2018). Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including BIM - Part 2: Delivery phase of the assets. ISO.

[12]. Krischler, J., Mellenthin Filardo, M. and Koch, C. (2022). GIS and BIM Integration Approaches for Early Railway Planning Phases. Proceedings of the 2022 European Conference on Computing in Construction (EC³), Ixia, Rhodes, Greece, July 24-26, 2022.

[13]. Liu, X., Antwi-Afari, M.F., Li, J., Zhang, Y., & Manu, P. (2025). BIM, IoT, and GIS integration in construction resource monitoring. Automation in Construction, 174, 106149.

[14]. Nguyễn Văn Tài, Nguyễn Anh Thư. (2025). Ứng dụng mô hình thông tin BIM-GIS kết hợp công nghệ cao trong việc xây dựng quy trình hoàn công dự án cảng biển tại Việt Nam. Tạp chí Vật liệu & Xây dựng, Bộ Xây dựng, 15(03).

[15]. Nguyễn Nhật Minh Trí, Nguyễn Xuân Tùng, Lê Ngọc Quyết (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(5A).

[16]. OGC. (2023). CityGML 3.0: Conceptual model and encoding standard for 3D City models. Open Geospatial Consortium.

[17]. Piras, G., Muzi, F., and Zylka, C. (2024). Integration of BIM and GIS for the digitization of the built environment. Applied Sciences, 14(23), 11171.

[18]. Quốc hội (2018), Luật số 27/2018/QH14 Luật Đo đạc và Bản đồ. ngày 14/ 6/ 2018.

[19]. Thủ tướng Chính phủ (2025). Quyết định 06/QĐ-TTg ngày 02/01/2025 phê duyệt Đề án xây dựng và quản lý Hệ thống thông tin và cơ sở dữ liệu quốc gia về quy hoạch. Hà Nội.

[20]. Tú, N. T. (2019). Ứng dụng GIS xây dựng CSDL các dự án dân cư mới trên địa bàn quận 2, TP.HCM. Ứng dụng GIS. Khoa Địa lý, Trường Đại học Khoa học Xã hội và Nhân văn. Ngày 02/02/2019. Truy cập tại: <https://ungdunggis.edu.vn/ung-dung-gis-xay-dung-csdl-cac-du-an-cu-moi-tren-dia-ban-quan-2/>.