

QUẢN LÝ CÁC TỌA ĐỘ CÔNG TRƯỜNG XÂY DỰNG THEO TUYẾN BẰNG HỆ THỐNG THÔNG TIN ĐỊA LÝ (GIS)

MANAGEMENT OF LINEAR CONSTRUCTION SITE COORDINATES USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (GIS)

➔ **TS. Nguyễn Minh Nhất** - Bộ môn chuyên ngành 1, Viện Đào tạo và Hợp tác quốc tế, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội. Email: nhatnm@hau.edu.vn; (+84) 988.281.866

➔ **TS. Trần Hải Nam** - Bộ môn chuyên ngành 1, Viện Đào tạo và Hợp tác quốc tế, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội. Email: hnttran.arch@hau.edu.vn; (+84) 988.119.885

Tóm tắt: Bài báo nghiên cứu việc áp dụng hệ thống thông tin địa lý (GIS) trong quản lý tọa độ các công trường xây dựng theo tuyến như đường bộ, đường sắt, đường ống và hành lang kỹ thuật. GIS với cấu trúc dữ liệu vector điểm-đoạn-tuyến cho phép mô hình hóa hình học chính xác, lưu trữ thuộc tính không gian-thời gian và hỗ trợ phân tích, giám sát hiệu quả. Nghiên cứu phân tích khung tiêu chuẩn quốc tế (ISO 19111, ISO 19115, ISO 19148, ISO 19157) và quy chuẩn Việt Nam (TCVN 9398:2012, TCVN 14177:2024), làm rõ các thách thức về tương thích hệ tọa độ, chất lượng dữ liệu, nguồn nhân lực và khung pháp lý. Từ đó, bài báo đề xuất giải pháp tổng thể gồm chuẩn hóa dữ liệu, tích hợp BIM-IoT, quy trình cập nhật và kiểm soát chất lượng, cùng mô hình triển khai bền vững. Kết quả nghiên cứu góp phần nâng cao độ chính xác, tính minh bạch và khả năng tích hợp dữ liệu trong quản lý công trình tuyến, đồng thời mở ra hướng phát triển kết hợp AI và Big Data trong tương lai.

Từ khóa: Hệ thống thông tin địa lý (GIS); Quản lý tọa độ; Công trình tuyến; BIM-IoT tích hợp; Tiêu chuẩn dữ liệu

1. Đặt vấn đề

Trong quản lý và thi công các dự án xây dựng tuyến như đường bộ, đường sắt, đường ống hay hành lang kỹ thuật, dữ liệu tọa độ giữ vai trò hạt nhân cho toàn bộ hoạt động khảo sát, thiết kế và kiểm soát tiến độ. Sự sai lệch nhỏ về tọa độ trong giai đoạn chuẩn bị hoặc thi công có thể dẫn đến chồng lấn thiết kế, xung đột không gian hoặc thậm chí là các sự cố kỹ thuật nghiêm trọng, gây thiệt hại về kinh tế và ảnh hưởng đến an toàn công trình. Thực tế này đặt ra yêu cầu cần có một hệ thống quản lý tọa độ chuẩn hóa, minh bạch và có khả năng tích hợp dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau.

Hệ thống thông tin địa lý (GIS) đã chứng minh được khả năng vượt trội trong việc lưu trữ, quản lý và phân tích dữ liệu không gian, đặc biệt với các đối tượng dạng tuyến (linear features). Với cấu

Abstract: The paper investigates the application of Geographic Information Systems (GIS) in managing coordinates for linear construction sites such as roads, railways, pipelines, and utility corridors. With its point-segment-line vector data structure, GIS enables precise geometric modelling, spatial-temporal attribute storage, and effective analysis and monitoring. The study examines international standards (ISO 19111, ISO 19115, ISO 19148, ISO 19157) and Vietnamese regulations (TCVN 9398:2012, TCVN 14177:2024), clarifying challenges related to coordinate system compatibility, data quality, human resources, and legal frameworks. Based on this analysis, the paper proposes a comprehensive set of solutions, including data standardization, BIM-IoT integration, systematic updating and quality control procedures, and a sustainable implementation model. The findings contribute to improving accuracy, transparency, and data interoperability in linear infrastructure management, while paving the way for future developments integrating AI and Big Data technologies.

Keywords: Geographic Information Systems (GIS); Coordinate management; Linear infrastructure; BIM-IoT integration; Data standards

trúc dữ liệu vector gồm điểm-đoạn-tuyến (point-segment-line), GIS cho phép mô hình hóa chính xác hình học tuyến và các thuộc tính liên quan, đồng thời hỗ trợ quản lý thông tin theo thời gian và không gian một cách hiệu quả [6]. Nhiều nghiên cứu quốc tế đã chỉ ra rằng việc áp dụng GIS vào quản lý công trình tuyến giúp nâng cao hiệu quả giám sát và giảm rủi ro trong thi công [12; 15].

Bên cạnh năng lực nội tại của GIS, sự kết hợp với các công nghệ khác như Mô hình thông tin công trình (BIM) và Internet vạn vật (IoT) đang mở ra khả năng quản lý công trường theo thời gian thực và theo chu kỳ vòng đời công trình [2]. Nghiên cứu của Liu và cộng sự [12] khẳng định rằng sự tích hợp BIM-IoT-GIS không chỉ giúp giám sát nguồn lực một cách chính xác mà còn tối ưu hóa quy trình vận hành, đặc biệt trong các dự án tuyến có phạm vi

rộng. Tại Việt Nam, các nghiên cứu ứng dụng GIS trong quản lý tuyến đường sắt [11] cũng đã chứng minh tính hiệu quả của công nghệ này trong quy hoạch, bảo trì và khai thác hệ thống hạ tầng.

Tuy nhiên, việc áp dụng GIS vào quản lý tọa độ tuyến vẫn gặp nhiều thách thức, đặc biệt về sự tương thích của hệ tọa độ, siêu dữ liệu và chất lượng dữ liệu. Các tiêu chuẩn quốc tế như ISO 19111 về hệ tọa độ [6], ISO 19115 về siêu dữ liệu [8], ISO 19157 về chất lượng dữ liệu [1] và ISO 19148 về tham chiếu tuyến [10] đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo tính thống nhất và khả năng liên thông dữ liệu. Tại Việt Nam, các quy chuẩn kỹ thuật như TCVN 9398:2012 về công tác trắc địa [5] và TCVN 14177:2024 về BIM [3] là nền tảng pháp lý và kỹ thuật cần tuân thủ khi triển khai quản lý tọa độ bằng GIS.

Nghiên cứu này tập trung phân tích cơ sở lý thuyết, tiêu chuẩn kỹ thuật và kinh nghiệm ứng dụng GIS trong quản lý tọa độ công trường xây dựng theo tuyến. Mục tiêu là đề xuất định hướng giải pháp đảm bảo dữ liệu chính xác, dễ dàng tích hợp và phù hợp với yêu cầu pháp lý, từ đó nâng cao hiệu quả quản lý và vận hành công trình.

2. Cơ sở lý thuyết và tiêu chuẩn kỹ thuật

2.1. Khái niệm quản lý tọa độ tuyến trong GIS

Trong lĩnh vực thông tin địa lý, “tuyến” (linear feature) được hiểu là một dạng đối tượng không gian mô tả các thực thể có hình dạng trải dài theo một phương nhất định nhưng không có bề rộng đáng kể, ví dụ như đường giao thông, đường sắt, kênh mương, hoặc đường ống kỹ thuật [6]. Các tuyến này thường được biểu diễn trong hệ thống GIS bằng tập hợp các đỉnh (vertex) kết nối thành đoạn thẳng (segment), từ đó tạo thành chuỗi liên tục biểu thị hình học của tuyến (polyline geometry). Khái niệm “quản lý tọa độ” trong ngữ cảnh xây dựng đề cập đến việc xác định, lưu trữ, cập nhật và

kiểm soát tọa độ của các điểm đặc trưng trên tuyến sao cho phù hợp với hệ quy chiếu và tiêu chuẩn kỹ thuật áp dụng [8]. Việc quản lý này không chỉ đảm bảo tính chính xác hình học của dữ liệu mà còn duy trì tính nhất quán khi tích hợp nhiều nguồn thông tin không gian.

Về cấu trúc dữ liệu không gian tuyến, GIS sử dụng mô hình dữ liệu vectơ để lưu trữ tuyến dưới dạng tổ hợp ba cấp: điểm - đoạn - tuyến (point-segment-line). Mỗi điểm (point) được xác định bằng cặp tọa độ (x, y) hoặc (x, y, z) trong hệ tọa độ đã chọn. Các điểm liên tiếp được nối với nhau tạo thành đoạn (segment), là phần tử tuyến tính cơ bản. Một hoặc nhiều đoạn được ghép nối theo thứ tự để tạo thành tuyến (line hoặc polyline) hoàn chỉnh. Trong quản lý xây dựng, cấu trúc này cho phép dễ dàng truy xuất, chỉnh sửa hoặc thay đổi vị trí các điểm đặc trưng khi có yêu cầu điều chỉnh thiết kế hoặc thay đổi hiện trạng công trình [15]. Ngoài ra, việc tổ chức dữ liệu theo mô hình này cũng hỗ trợ tối ưu các thuật toán phân tích mạng, tính toán chiều dài, hoặc áp dụng các phương pháp định vị tuyến theo chuẩn ISO 19148:2012 – Linear Referencing [10].

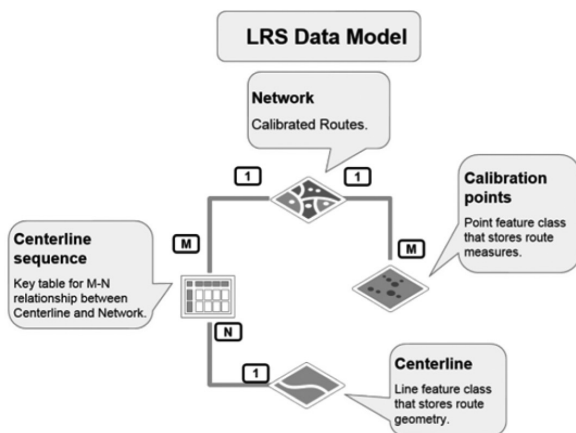
Như vậy, khái niệm “quản lý tọa độ tuyến” trong GIS không chỉ đơn thuần là lưu giữ thông tin tọa độ mà còn bao gồm việc vận hành một hệ thống quản trị dữ liệu không gian đáp ứng đồng thời các yêu cầu về độ chính xác, tính toàn vẹn dữ liệu, và khả năng tích hợp với các tiêu chuẩn quốc tế [6]. Đây chính là nền tảng quan trọng để bảo đảm dữ liệu tuyến phục vụ hiệu quả cho thiết kế, thi công, giám sát và quản lý vòng đời công trình.

2.2. Nguyên tắc và yêu cầu kỹ thuật

Quản lý tọa độ tuyến trong hệ thống thông tin địa lý (GIS) không chỉ là vấn đề kỹ thuật thuần túy, mà còn là một quá trình tổng hợp các yêu cầu về chuẩn hóa, chất lượng, pháp lý và khả năng tích hợp dữ liệu. Để đảm bảo tính chính xác, nhất quán và khả năng liên thông của dữ liệu phục vụ thiết kế, thi công và quản lý vận hành công trình tuyến tính, cần tuân thủ một hệ thống nguyên tắc và tiêu chuẩn kỹ thuật toàn diện, cụ thể:

- Nguyên tắc về hệ tọa độ và hệ quy chiếu

Cốt lõi của quản lý tọa độ tuyến là việc xác định vị trí không gian với độ chính xác cao, được tham chiếu đến một hệ tọa độ chuẩn. ISO 19111:2019 định nghĩa và chuẩn hóa cấu trúc mô tả hệ quy chiếu, các phép biến đổi và chuyển đổi tọa độ, đảm bảo dữ liệu có thể được chia sẻ và sử dụng xuyên biên giới hệ thống. Trong thực tiễn, nếu hệ tọa độ không được thống nhất, sai số tích lũy có thể dẫn tới sai lệch vị trí nghiêm trọng trong các dự án



Hình 1. Minh họa mô hình dữ liệu hệ quy chiếu tuyến (LRS) trong GIS [1]

tuyến dài, đặc biệt là công trình hạ tầng như đường bộ, đường sắt hoặc đường ống [11].

- Nguyên tắc về siêu dữ liệu

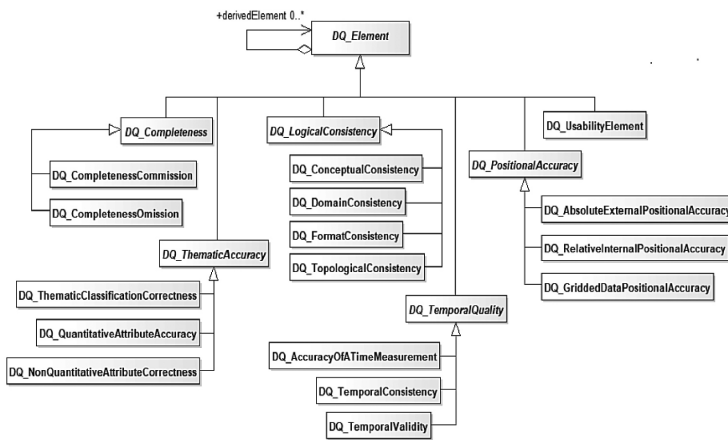
Mọi tập dữ liệu GIS đều cần kèm theo siêu dữ liệu (metadata) để mô tả nguồn gốc, độ chính xác, phương pháp đo đạc và phạm vi áp dụng. ISO 19115-1:2014 đưa ra khung cấu trúc và các trường thông tin bắt buộc, từ thông tin định danh dữ liệu, điều kiện sử dụng, đến mô tả chi tiết quá trình thu thập [8]. Siêu dữ liệu không chỉ giúp truy xuất và đánh giá dữ liệu, mà còn là yếu tố then chốt trong kiểm soát chất lượng khi tích hợp dữ liệu từ nhiều nguồn.

- Nguyên tắc về chất lượng dữ liệu

Theo ISO 19157:2013, chất lượng dữ liệu không gian được đánh giá dựa trên các tiêu chí như:

- Độ chính xác vị trí (positional accuracy)
- Độ chính xác thuộc tính (attribute accuracy)
- Tính nhất quán logic (logical consistency)
- Độ đầy đủ dữ liệu (completeness)

Việc áp dụng tiêu chuẩn này trong quản lý tọa độ tuyến cho phép phát hiện và khắc phục kịp thời sai lệch, từ đó đảm bảo dữ liệu đáp ứng yêu cầu nghiệm thu kỹ thuật và pháp lý [1].



Hình 2. Minh họa khung chất lượng dữ liệu theo ISO 19157 dùng để thiết lập và nghiệm thu chỉ tiêu QA/QC cho lớp dữ liệu tuyến trong GIS [4]

- Nguyên tắc về tham chiếu tuyến (Linear Referencing)

Đối với các công trình tuyến dài, việc gắn dữ liệu thuộc tính trực tiếp vào từng tọa độ điểm không phải lúc nào cũng hiệu quả. ISO 19148:2012 đưa ra khái niệm và phương pháp “tham chiếu tuyến” (linear referencing), cho phép liên kết thông tin thuộc tính theo khoảng cách dọc tuyến (ví dụ: tại Km 2+500 của tuyến đường), thay vì chỉ theo kinh độ – vĩ độ [10]. Điều này mang lại sự linh hoạt cao trong quản lý dữ liệu, đặc biệt hữu ích khi phân tích, lập kế hoạch bảo trì hoặc quản lý sự cố.

- Tuân thủ tiêu chuẩn và quy chuẩn Việt Nam

Tại Việt Nam, TCVN 9398:2012 quy định yêu

cầu chung đối với công tác trắc địa trong xây dựng, từ việc đo đạc, kiểm tra đến nghiệm thu dữ liệu [5]. Song song đó, bộ tiêu chuẩn TCVN 14177-1:2024 và TCVN 14177-2:2024 về BIM đưa ra nguyên tắc mô hình hóa thông tin công trình và quản lý dữ liệu trong giai đoạn chuyển giao tài sản [4]. Việc kết hợp các tiêu chuẩn quốc gia này với các chuẩn quốc tế nêu trên giúp dữ liệu vừa bảo đảm tính pháp lý trong nước, vừa đáp ứng yêu cầu hội nhập quốc tế.

- Nguyên tắc về khả năng tích hợp hệ thống

Trong bối cảnh số hóa ngành xây dựng, dữ liệu tọa độ tuyến cần tương thích và tích hợp được với các hệ thống khác như BIM, IoT và hệ thống quản lý dự án. Các nghiên cứu gần đây cho thấy việc tích hợp BIM-GIS-IoT không chỉ nâng cao hiệu quả quản lý tài nguyên và tiến độ, mà còn hỗ trợ ra quyết định dựa trên dữ liệu thời gian thực [14]. Tuy nhiên, điều này đòi hỏi tuân thủ chặt chẽ các chuẩn định dạng dữ liệu và mô hình thông tin, tránh phân mảnh dữ liệu và giảm thiểu chi phí chuyển đổi.

3. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này được thực hiện theo hướng tiếp cận tổng hợp, phân tích và đề xuất, đảm bảo vừa có nền tảng lý luận vững chắc vừa phản ánh thực tiễn triển khai quản lý tọa độ tuyến bằng GIS tại Việt Nam. Quy trình nghiên cứu gồm bốn bước chính:

(1) *Thu thập và phân loại tài liệu:* Nguồn tài liệu được khai thác bao gồm: (i) các tiêu chuẩn và quy chuẩn kỹ thuật quốc tế và quốc gia về hệ tọa độ, siêu dữ liệu, chất lượng và tham chiếu tuyến; (ii) các công trình nghiên cứu quốc tế và trong nước về ứng dụng GIS, BIM, IoT trong quản lý công trình tuyến; (iii) báo cáo kỹ thuật và hồ sơ dự án từ một số đơn vị thi công hạ tầng tại Việt Nam. Việc phân loại được thực hiện theo các nhóm: cơ sở lý thuyết, quy định pháp lý, công nghệ hỗ trợ, và kinh nghiệm triển khai.

(2) *Phân tích định tính và so sánh đối chiếu:* Trên cơ sở tài liệu thu thập, nhóm nghiên cứu tiến hành phân tích nội dung, trích xuất các yêu cầu kỹ thuật, ưu nhược điểm và điều kiện áp dụng. Phương pháp so sánh đối chiếu được áp dụng để làm rõ sự tương đồng và khác biệt giữa tiêu chuẩn quốc tế (ví dụ ISO 19111, ISO 19148) và quy chuẩn Việt Nam (TCVN 9398:2012, TCVN 14177:2024), qua đó nhận diện khoảng trống và thách thức khi triển khai GIS cho quản lý tọa độ tuyến.

(3) *Khảo sát và phân tích tình huống thực tế:* Một số dự án hạ tầng tuyến tại Việt Nam (đường bộ, đường sắt, đường ống kỹ thuật) được chọn làm tình huống nghiên cứu (case study). Dữ liệu khảo sát bao gồm quy trình quản lý tọa độ, phương pháp đo đạc, công cụ GIS sử dụng, mức độ tích hợp với

BIM/IoT và các vấn đề phát sinh. Các tình huống này vừa đóng vai trò minh họa, vừa là căn cứ để kiểm chứng mức độ phù hợp của giải pháp đề xuất.

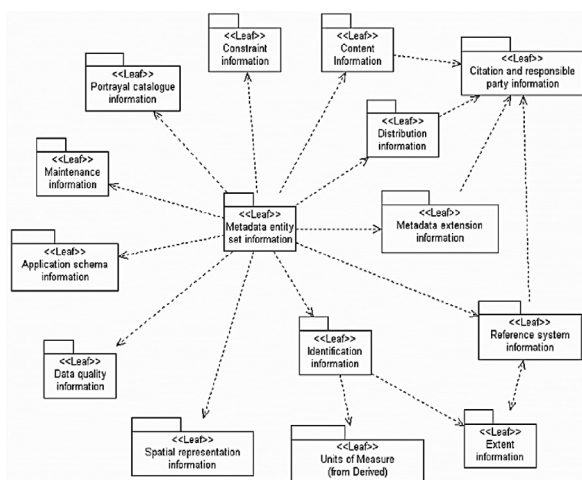
(4) *Tổng hợp, xây dựng mô hình đề xuất*: Kết quả phân tích được tích hợp để xây dựng mô hình giải pháp tổng thể, bao gồm định hướng chiến lược, khung kỹ thuật và các bước triển khai cụ thể. Mô hình này được thiết kế theo nguyên tắc mở, cho phép điều chỉnh linh hoạt khi tiêu chuẩn kỹ thuật thay đổi hoặc khi tích hợp thêm công nghệ mới.

Cách tiếp cận này giúp nghiên cứu không chỉ dừng ở việc mô tả hiện trạng mà còn đưa ra được các giải pháp khả thi, thích ứng và có giá trị lâu dài, phù hợp với bối cảnh Việt Nam nhưng vẫn tiệm cận chuẩn mực quốc tế.

4. Kết quả phân tích và thảo luận

4.1. Cấu trúc dữ liệu tọa độ tuyến trong GIS

Trong quản lý công trình xây dựng tuyến tính, cấu trúc dữ liệu tọa độ đóng vai trò như nền tảng hạ tầng thông tin của toàn bộ hệ thống GIS. Một đối tượng tuyến (linear feature) trong GIS được biểu diễn thông qua lớp dữ liệu không gian (spatial layer) và bảng thuộc tính (attribute table) [11]. Lớp dữ liệu không gian lưu trữ hình học tuyến dưới dạng tập hợp điểm (point), đoạn (segment) và tuyến (line) theo mô hình vector, bảo đảm mô tả chính xác vị trí, hình dạng và hướng của công trình. Bảng thuộc tính song hành chứa các thông tin phi hình học như tên tuyến, mốc lý trình, loại kết cấu, hoặc các thông số kỹ thuật, cho phép thực hiện truy vấn và phân tích đa chiều [1].



Hình 3. Cấu trúc siêu dữ liệu GIS [13]

Việc tổ chức dữ liệu tuyến cần đáp ứng nguyên tắc liên tục theo lý trình. Chuẩn ISO 19148:2012 về linear referencing quy định khả năng gắn thông tin thuộc tính vào vị trí cụ thể dọc theo chiều dài tuyến mà không làm phân mảnh hình học. Điều này đặc

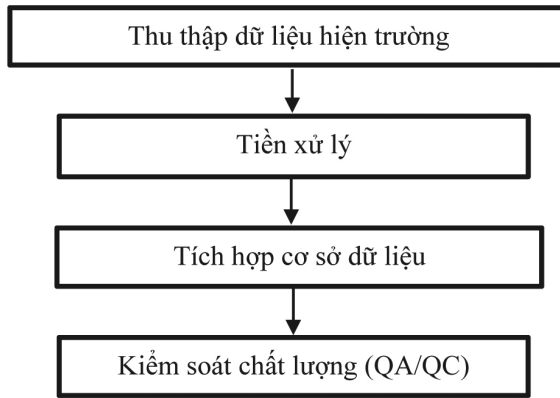
biệt quan trọng trong các dự án hạ tầng quy mô lớn, nơi cần quản lý thông tin bảo trì, sự cố hoặc nâng cấp. Chẳng hạn, trong dự án đường cao tốc Bắc – Nam, toàn bộ dữ liệu mốc khống chế và lý trình được xây dựng trên nền GIS, bảo đảm liên kết giữa bản đồ hiện trạng, thông tin kỹ thuật và kế hoạch thi công, đồng thời duy trì tính nhất quán suốt quá trình chuyển giao giữa các nhà thầu [16].

Một thách thức kỹ thuật lớn là quản lý đa hệ tọa độ và quy chiếu. Dữ liệu từ các nguồn khác nhau thường sử dụng hệ VN-2000, WGS84 hoặc hệ địa phương. Theo ISO 19111:2019 [7], mọi thông tin về hệ quy chiếu, tham số chuyển đổi và phép biến đổi phải được mô tả rõ trong siêu dữ liệu chuẩn hóa theo ISO 19115-1:2014 [9]. Ở Việt Nam, TCVN 9398:2012 [5] quy định sử dụng hệ VN-2000 cho công tác trắc địa xây dựng, song trên thực tế nhiều dự án tuyến cần chuyển đổi sang WGS84 để tích hợp dữ liệu quốc tế. Nghiên cứu của Lê Khánh Giang & Trần Quang Học (2021) [4] về tuyến đường sắt Hà Nội – Lào Cai đã minh chứng rằng việc đồng bộ và chuyển đổi giữa hai hệ quy chiếu này là yêu cầu bắt buộc nhằm bảo đảm tính toàn vẹn và khả năng trao đổi dữ liệu.

Thực tế triển khai ở Việt Nam cho thấy, nếu không áp dụng các thuật toán chuẩn như phép biến đổi bảy tham số (Helmert transformation) hoặc lưới biến dạng (NTv2 grid shift), sai số tích lũy có thể đạt tới hàng chục cm trên các tuyến dài hàng trăm km [14]. Vì vậy, thiết kế cấu trúc dữ liệu tọa độ tuyến cần được xem là một quy trình kỹ thuật nghiêm ngặt, vừa tuân thủ tiêu chuẩn quốc tế, vừa đáp ứng yêu cầu pháp lý trong nước, để tạo nền tảng vững chắc cho các phân tích, mô phỏng và tích hợp hệ thống trong tương lai.

4.2. Quy trình cập nhật và kiểm soát chất lượng dữ liệu

Quy trình chuẩn để dữ liệu tọa độ tuyến “đi từ thực địa vào GIS” cần được thiết kế như một đường ống kiểm soát chất lượng nhiều tầng, trong đó mọi thao tác đều truy vết được qua siêu dữ liệu và tuân thủ chặt chẽ tiêu chuẩn tham chiếu tọa độ. Về nguyên tắc, mọi bản ghi phát sinh ngoài hiện trường phải được định nghĩa hệ quy chiếu ngay tại nguồn theo ISO 19111 (khai báo CRS, tham số biến dạng, phép biến đổi) và gắn siêu dữ liệu tối thiểu theo ISO 19115 (thời gian đo, thiết bị, người đo, điều kiện đo) trước khi bất kỳ chuyển đổi hay tổng hợp nào được thực hiện [6], [8]. Thực hành này giảm hẳn “sai số hành chính” (administrative error) tức sai số không do thiết bị mà do thất lạc ngữ cảnh, vốn là nguyên nhân phổ biến khiến dữ liệu tuyến bị lệch khi nhập hệ thống.



Hình 4. Quy trình cập nhật và kiểm soát chất lượng dữ liệu trong GIS

Tầng hiện trường (field layer). Khi thu thập GNSS RTK cho cọc tim tuyến hoặc các mốc khống chế, nhóm đo phải gắn nhãn CRS (VN-2000/WGS84) tại thời điểm ghi nhận, đồng thời ghi nhận trạng thái chất lượng (PDOP, thời lượng fix). Trải nghiệm dự án tuyến ở Việt Nam cho thấy: nếu buộc trường “CRS” và “phương pháp đo” là bắt buộc trong biểu mẫu di động, tỷ lệ bản ghi thiếu chuẩn giảm mạnh và chi phí sửa số liệu ở văn phòng co lại đáng kể; đây là một hình thức Field-QC hiệu quả, thống nhất với yêu cầu siêu dữ liệu của ISO 19115 và yêu cầu trắc địa trong TCVN 9398 [8], [5]. Với các dự án vận hành theo tiến độ tuyến, lớp giám sát tiến trình dựa vào GIS web đã chứng minh hiệu quả trong kiểm tra liên tục và giảm độ trễ phản hồi giữa hiện trường-văn phòng [15].

Tầng tiền xử lý (office intake). Sau khi nhận dữ liệu, khâu tiền xử lý phải giữ nguyên CRS gốc, chỉ chuyển đổi sau khi đã ghi log lineage trong metadata; các phép biến đổi phải là các phép đã định danh (ví dụ Helmert 7 tham số hoặc lưới biến dạng) và được lưu cùng tham số để bảo toàn khả năng truy hồi [6]. Tại đây, việc chuẩn hóa siêu dữ liệu (bắt buộc trường về nguồn gốc, độ chính xác, quy tắc kiểm topo) giúp đỡ tự động hoá so sánh giữa “dòng mới nhập” và dữ liệu nền, phát hiện lệch chuẩn sớm hơn đúng tinh thần “metadata-driven QA” của ISO 19115 kết hợp khuyến nghị kiểm chất lượng của ISO 19157 [1]. Với dự án tuyến đường sắt ở Việt Nam, việc giữ cặp song sinh VN-2000/WGS84 trong intake để phục vụ trao đổi xuyên hệ thống là thực hành thiết yếu đã được ghi nhận [11].

Tầng tích hợp (database merge). Khi nhập kho dữ liệu, cần kiểm logic topo (đứt gãy, chồng lấn, hướng tuyến) trước rồi mới hợp nhất bảng thuộc tính—tránh tình trạng “hình học sai nhưng thuộc tính đúng” gây nhiều phân tích mạng sau này. Các hệ thống tiến bộ áp dụng linear-referencing để nối thuộc tính theo lý trình thay vì phân mảnh hình học, giúp cập nhật thay đổi dọc tuyến (như hoàn

công, bảo trì, sự kiện an toàn) mà không phải bê gãy polyline đúng khuyến nghị ISO 19148 cho thực thể tuyến dài [10]. Về quản trị, nên ràng buộc khóa ngoại giữa lớp hình học và bảng sự kiện lý trình để ngăn đứt liên kết khi nâng cấp lược đồ dữ liệu.

Tầng kiểm soát chất lượng (QA/QC). Việc chấp nhận dữ liệu chỉ diễn ra sau khi vượt qua bộ tiêu chí ISO 19157: (i) Độ chính xác vị trí đối soát với lưới khống chế, (ii) Nhất quán logic không có self-intersection, (iii) Độ đầy đủ không thiếu đoạn, (iv) Độ chính xác thuộc tính đủ trường bắt buộc [1]. Tại Việt Nam, ngưỡng kỹ thuật và phương pháp nghiệm thu cần được neo vào TCVN 9398 để bảo đảm hợp lệ pháp lý; ví dụ, đo GNSS kiểm tra tuyến sau chuyển đổi CRS chỉ đạt “đủ điều kiện” khi sai khác vị trí nằm trong ngưỡng nghiệm thu quy định cho cấp hạng công trình [5]. Ở phía tích hợp công nghệ, các nghiên cứu về BIM-GIS cho thấy, khi pipeline dữ liệu được ràng buộc bởi metadata/CRS chuẩn ngay từ đầu, việc đồng bộ với mô hình BIM và nền tảng giám sát tài nguyên giảm đáng kể độ trễ và lỗi giao tiếp hệ thống [12], [14], [2]; Ngược lại, bỏ qua lớp kiểm CRS/metadata thường dẫn tới chuỗi sai số tích lũy khó khắc phục ở giai đoạn vận hành.

Với dự án tuyến, sai số nguy hiểm nhất thường không đến từ thiết bị mà phát sinh do hỗn tạp CRS trong một luồng dữ liệu đa nguồn. Trường hợp điển hình: tổ khảo sát đo theo WGS84, đội biên tập nhập dữ liệu nền VN-2000 nhưng không ghi phép biến đổi, hậu quả là lệch tuyến có hệ thống ở quy mô hàng chục cm theo chiều dài, nhất là tại các đoạn cong nhỏ; trong thực hành dự án đường sắt, tình huống này đã được ghi nhận và xử lý bằng cách bắt buộc “bộ đôi” trường CRS gốc/CRS đích và tham số biến đổi trong intake form, sau đó đối soát sai khác theo chuẩn ISO 19157 trước khi duyệt nhập [1; 6; 11]. Về quản lý tiến độ, lớp theo dõi tuyến web-based cho phép “khóa chất lượng” theo mốc thời gian, bản ghi không đạt QC tự động bị treo ở vùng đệm, không lan sang kho dữ liệu sản xuất, từ đó giảm thiểu nhiều tiến độ trong báo cáo quản lý thi công [7; 15]. Ở mức kiến trúc liên thông, tổ chức luồng dữ liệu theo thông tin dòng chảy (information-flow) giúp cô lập bước chuyển đổi nhạy cảm và chỉ cho phép thực hiện sau khi metadata tối thiểu đã hoàn tất qua đó hạ rủi ro sai số lan truyền trong tích hợp BIM-GIS [9].

Tóm lại, một quy trình “chặt ở đầu, sạch ở giữa, kiểm ở cuối”—gồm chuẩn hóa CRS/metadata tại nguồn kiểm topo-logic và quản trị theo lý trình khi tích hợp [10], rồi đánh giá chất lượng theo bộ chỉ tiêu chuẩn hóa dưới khung nghiệm thu trong nước là điều kiện cần để dữ liệu tuyến phục vụ thi công, vận hành đạt độ tin cậy kỹ thuật và tính pháp lý;

đồng thời tạo nền vững cho tích hợp đa nền tảng (GIS-BIM-IoT) với hiệu quả đã được ghi nhận trong các thực hành và nghiên cứu hiện hành [7; 9].

4.3. Khả năng tích hợp với các hệ thống khác

Khả năng tích hợp của GIS với các hệ thống quản lý và công nghệ khác không chỉ là yêu cầu bổ sung, mà là điều kiện tiên quyết để xây dựng một hạ tầng thông tin thống nhất, đáp ứng nhu cầu quản lý toàn diện vòng đời công trình tuyến. Trong bối cảnh các dự án hiện đại ngày càng phức tạp và đa ngành, việc dữ liệu không gian tồn tại tách biệt sẽ dẫn đến sự phân mảnh thông tin, làm giảm hiệu quả ra quyết định và gia tăng rủi ro kỹ thuật.

Một trong những hướng tích hợp nổi bật là kết hợp GIS với Mô hình thông tin công trình (BIM). GIS đóng vai trò mô tả không gian địa lý và điều kiện hạ tầng xung quanh, trong khi BIM tập trung vào chi tiết kỹ thuật, vật liệu, và thông số thiết kế bên trong công trình. Việc kết hợp này, như Liu và cộng sự (2025) đã chỉ ra, cho phép mô hình hóa không chỉ “cái gì” và “ở đâu” mà còn “như thế nào” và “tại sao” trong bối cảnh quản lý dự án [15]. Ví dụ, khi triển khai tuyến metro tại Hà Nội, tích hợp BIM-GIS giúp kết hợp dữ liệu địa hình, địa chất và hệ thống thoát nước từ GIS với mô hình kết cấu, cơ điện trong BIM. Điều này cho phép dự đoán và

xử lý xung đột không gian (clash detection) ngay ở giai đoạn thiết kế, giảm đáng kể chi phí chỉnh sửa khi thi công.

Ngoài BIM, việc tích hợp GIS với Internet vạn vật (IoT) mở ra khả năng giám sát thời gian thực. Các cảm biến định vị GNSS, cảm biến nghiêng (tilt sensors) và thiết bị đo gia tốc lắp đặt dọc tuyến đường sắt hoặc đường cao tốc liên tục gửi dữ liệu vị trí và trạng thái kết cấu về hệ thống GIS trung tâm. Tripathi và cộng sự (2023) đã chứng minh rằng việc đồng bộ dữ liệu IoT vào GIS giúp tự động cảnh báo khi phát hiện biến dạng vượt ngưỡng, hỗ trợ phản ứng nhanh trong bảo trì khẩn cấp [16]. Trong thực tế tại Việt Nam, hệ thống giám sát cầu Mỹ Thuận 2 hiện cũng đang thử nghiệm mô hình tương tự, kết hợp dữ liệu GPS độ chính xác cao với GIS để theo dõi dịch chuyển trụ cầu.

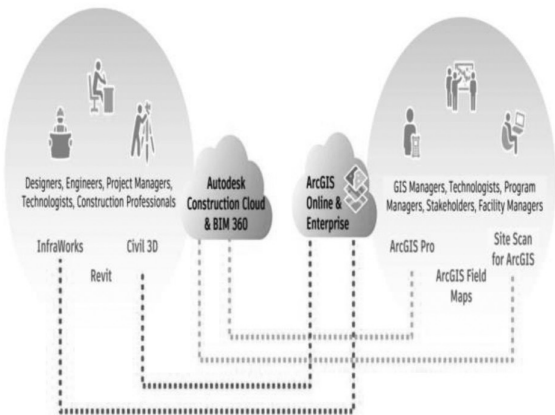
Tuy nhiên, khả năng tích hợp này phụ thuộc mạnh vào tính tương thích định dạng và mô hình dữ liệu. Các chuẩn mở như CityGML, IFC, GeoJSON và các tiêu chuẩn ISO 191xx (ví dụ ISO 19111, ISO 19115) đóng vai trò “ngôn ngữ chung” cho dữ liệu liên ngành. Việc thiếu tuân thủ chuẩn sẽ dẫn đến mất mát hoặc sai lệch thông tin khi trao đổi giữa các hệ thống. Một ví dụ điển hình là khi nhập dữ liệu đo đạc từ phần mềm trắc địa nội địa vào nền tảng GIS quốc tế, nếu không chuyển đổi chính xác hệ tọa độ VN-2000 sang WGS84 theo ISO 19111, sai số vị trí có thể lên tới hàng mét, gây hậu quả nghiêm trọng trong công tác định vị.

Như vậy, để hiện thực hóa khả năng tích hợp GIS với các hệ thống khác, cần đồng thời đảm bảo ba yếu tố: (i) Tuân thủ nghiêm ngặt các chuẩn dữ liệu và hệ tọa độ, (ii) Triển khai các giao thức trao đổi dữ liệu tự động, và (iii) Xây dựng quy trình quản trị dữ liệu liên ngành. Đây chính là nền tảng để tiến tới mô hình Digital Twin cho các công trình tuyến, nơi mọi dữ liệu – từ khảo sát, thiết kế, thi công đến vận hành – đều tồn tại trong một hệ sinh thái kỹ thuật số thống nhất, minh bạch và có khả năng ra quyết định dựa trên dữ liệu theo thời gian thực.

4.4. Các thách thức trong triển khai GIS cho quản lý tọa độ tuyến

Việc triển khai hệ thống GIS trong quản lý tọa độ tuyến không chỉ là một bài toán công nghệ đơn thuần, mà còn là một quá trình tương tác phức hợp giữa yếu tố pháp lý, kỹ thuật, tổ chức và nguồn lực con người. Mỗi yếu tố đều hàm chứa các rào cản tiềm ẩn, tác động trực tiếp đến hiệu quả ứng dụng và khả năng duy trì hệ thống trong suốt vòng đời dự án.

- Chuẩn dữ liệu và tính pháp lý: Dữ liệu tọa độ tuyến chỉ có giá trị pháp lý khi tuân thủ đầy đủ các



Hình 5. Hình ảnh minh họa tích hợp GIS-BIM trong quản lý công trình tuyến [2]

tiêu chuẩn quốc tế (ISO 19111 về hệ tọa độ, ISO 19115 về siêu dữ liệu, ISO 19157 về chất lượng dữ liệu, ISO 19148 về tham chiếu tuyến), đồng thời đáp ứng các quy chuẩn trong nước như TCVN 9398:2012 và TCVN 14177:2024. Thực tế đã có dự án đô thị phải tái xử lý toàn bộ dữ liệu vì thiếu khai báo CRS gốc và tham số biến đổi ngay từ khâu thu thập, dẫn đến không thể nghiệm thu theo quy chuẩn.

- Sai số tích lũy và tính toàn vẹn topo, lý trình: Trong các dự án dài hàng chục km, sai số tích lũy qua nhiều lần chuyển hệ và biên tập là nguy cơ thường trực. Việc áp dụng kiểm soát chất lượng theo ISO 19157 kết hợp mô hình lý trình (ISO 19148) giúp duy trì độ chính xác hình học và mối quan hệ topo [1], [10]. Ví dụ, tại một đoạn cong nhỏ của tuyến đường sắt, chỉ một phép chuyển đổi “không log” đã gây lệch hàng chục cm, buộc nhóm GIS phải sử dụng Helmert 7 tham số có lưu siêu dữ liệu để khắc phục.

- Tích hợp BIM-IoT-GIS: Tích hợp đa nền tảng không chỉ là tương thích định dạng mà phải đồng bộ hóa mô hình không gian, thời gian, ngữ nghĩa. Ở lớp BIM, georeferencing sai chuẩn khiến toàn bộ mô hình lệch vị trí khi đưa vào GIS; ở lớp IoT, dữ liệu cảm biến nếu thiếu CRS và metadata rõ ràng sẽ trở thành “nhiều” hơn là giá trị [16]. Các dự án thành công đều xây dựng pipeline tích hợp dựa trên metadata-driven workflow thay vì chỉ chuyển đổi định dạng.

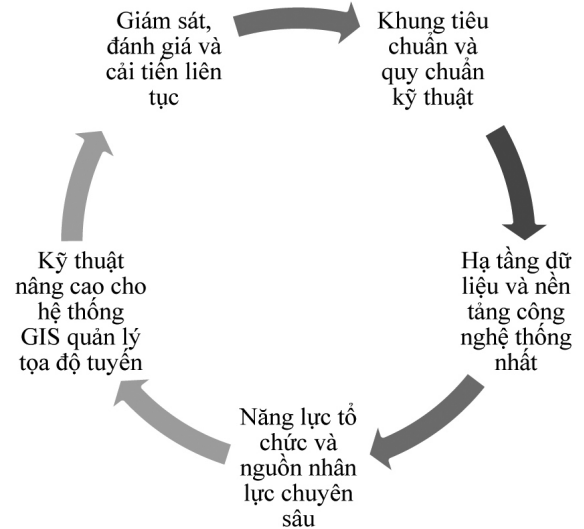
- Quy trình tổ chức và vận hành: Một quy trình bền vững cần bắt đầu từ biểu mẫu hiện trường bắt buộc khai báo CRS và thiết bị, intake dữ liệu có cơ chế QA tự động theo ISO 19157, kiểm tra topo và lý trình trước khi cập nhật cơ sở dữ liệu, và áp dụng ngưỡng nghiệm thu theo TCVN 9398 [5]. Khi ràng buộc bằng chuẩn, thời gian khắc phục lỗi nhập liệu giảm rõ rệt, đồng thời loại bỏ nguy cơ đưa dữ liệu sai vào báo cáo tiến độ.

- Hạ tầng và chi phí vòng đời: Hệ thống GIS cho quản lý tuyến cần hạ tầng đủ năng lực xử lý khối dữ liệu lớn và cập nhật liên tục. Nếu không dự trù chi phí bảo trì, nâng cấp và đào tạo, hệ thống sẽ xuống cấp nhanh sau bàn giao. Kiến trúc mô-đun, tách các khâu ingestion-validation-phân phối, được chứng minh là giải pháp tối ưu trong nhiều dự án.

- Nguồn nhân lực liên ngành: Khoảng trống kỹ năng nằm ở giao thoa giữa trắc địa, GIS, thi công và chuẩn dữ liệu. Đào tạo bắc cầu dựa trên TCVN 14177 và các tiêu chuẩn ISO 191xx giúp hình thành đội ngũ vừa thành thạo công nghệ vừa am hiểu hiện trường.

Giải quyết các thách thức này đòi hỏi kết hợp chuẩn dữ liệu quốc tế-quốc gia, quy trình kiểm soát chặt chẽ, hạ tầng phù hợp và nguồn nhân lực liên

ngành. Khi thiết kế đồng bộ các yếu tố này, dữ liệu tuyến sẽ đạt cả độ tin cậy kỹ thuật và giá trị pháp lý, phục vụ hiệu quả cho quản lý và vận hành công trình trong toàn bộ vòng đời



Hình 6. Mối quan hệ tác động qua lại giữa các giải pháp

5. Định hướng để xuất giải pháp

5.1. Hoàn thiện khung tiêu chuẩn và quy chuẩn kỹ thuật

Việc triển khai GIS trong quản lý tọa độ tuyến sẽ không thể đạt hiệu quả bền vững nếu thiếu một khung tiêu chuẩn và quy chuẩn kỹ thuật đồng bộ. Bản chất của dữ liệu tọa độ là có tính chính xác cao, tính liên kết chặt chẽ với các lớp dữ liệu khác, và được sử dụng xuyên suốt vòng đời công trình. Nếu tiêu chuẩn không thống nhất, mỗi bên tham gia dự án có thể sử dụng một hệ tọa độ, một mô hình siêu dữ liệu và tiêu chí chất lượng khác nhau, dẫn tới tình trạng “dữ liệu cục bộ” không thể tích hợp, hoặc tệ hơn là gây ra sai lệch trong thi công.

- Ở cấp độ định hướng chiến lược, khung tiêu chuẩn cần đáp ứng bốn yêu cầu cốt lõi:

+ Tương thích toàn cầu: bảo đảm dữ liệu tuân thủ chuẩn quốc tế để có thể tích hợp với các nền tảng quản lý hạ tầng, BIM hoặc IoT của các đối tác nước ngoài. Điều này đặc biệt quan trọng với các dự án có nguồn vốn ODA hoặc hợp tác quốc tế, nơi dữ liệu sẽ được trao đổi qua nhiều hệ thống khác nhau.

+ Thích nghi điều kiện địa phương: tiêu chuẩn phải phản ánh được đặc thù địa hình, quy trình thi công và quy định pháp luật Việt Nam, thay vì sao chép nguyên mẫu quốc tế một cách máy móc.

+ Tính mở và khả năng nâng cấp: hệ thống tiêu chuẩn cần có cơ chế cập nhật định kỳ để bắt kịp tiến bộ công nghệ, ví dụ tích hợp dữ liệu 3D, 4D hoặc dữ liệu cảm biến thời gian thực.

+ Ràng buộc pháp lý rõ ràng: quy định trách

nhệm, quyền hạn và chế tài đối với các bên cung cấp, xử lý và quản lý dữ liệu.

- Giải pháp thực thi, khung tiêu chuẩn cần được cụ thể hóa thành Bộ hướng dẫn kỹ thuật chi tiết bao gồm:

+ Quy định hệ quy chiếu và phép chiếu bản đồ bắt buộc;

+ Cấu trúc dữ liệu thống nhất cho tuyến, điểm nút, và các yếu tố phụ trợ;

+ Danh mục siêu dữ liệu tối thiểu phải khai báo;

+ Quy trình kiểm soát chất lượng từ khi thu thập tại hiện trường đến khi nhập vào GIS.

Ví dụ, trong dự án đường sắt đô thị tại Hà Nội, khi các đơn vị khảo sát và thiết kế cùng tuân thủ một hệ tọa độ VN-2000 với tham số thống nhất, dữ liệu tuyến thu thập từ thiết bị GPS, dữ liệu bản đồ nền và dữ liệu BIM đều được GIS tích hợp tự động mà không cần bước hiệu chỉnh thủ công. Ngược lại, chỉ cần một đơn vị sử dụng sai phép chiếu hoặc khai báo siêu dữ liệu thiếu thông tin, toàn bộ quá trình tích hợp sẽ bị đình trệ, kéo dài thời gian thi công và gia tăng chi phí.

Do đó, hoàn thiện khung tiêu chuẩn và quy chuẩn kỹ thuật không chỉ là một nhiệm vụ hành chính, mà là nền móng đảm bảo tính toàn vẹn dữ liệu, giảm thiểu rủi ro kỹ thuật và tối ưu hóa hiệu quả quản lý, tạo điều kiện để các bước tiếp theo như kiểm soát chất lượng và tích hợp liên ngành được triển khai thuận lợi.

5.2. Xây dựng hạ tầng dữ liệu và nền tảng công nghệ thống nhất

Để GIS thực sự trở thành “hệ thần kinh” của quản lý tọa độ tuyến, cần thiết lập một hạ tầng dữ liệu tập trung và nền tảng công nghệ thống nhất ngay từ giai đoạn khởi động dự án. Không chỉ là kho lưu trữ, đây phải là một hệ sinh thái số cho phép thu thập, xử lý, phân tích, chia sẻ dữ liệu một cách trơn tru giữa tất cả các bên liên quan. Cần thực hiện các giải pháp sau:

- Trung tâm dữ liệu GIS tập trung: đặt tại đơn vị chủ đầu tư hoặc cơ quan quản lý nhà nước, vận hành trên máy chủ nội bộ kết hợp điện toán đám mây để bảo đảm tính sẵn sàng và an toàn dữ liệu.

- Nền tảng đồng bộ hóa dữ liệu hiện trường: tích hợp các thiết bị GNSS, máy toàn đạc điện tử, UAV, và các cảm biến IoT, cho phép truyền dữ liệu gần thời gian thực về trung tâm GIS, kèm theo kiểm tra sơ bộ về sai số vị trí.

- Bộ API và giao diện mở: giúp các phần mềm thiết kế (CAD, BIM), hệ thống quản lý tiến độ, và ứng dụng giám sát công trường kết nối trực tiếp với GIS mà không cần chuyển đổi thủ công.

- Cơ chế phân quyền linh hoạt: bảo đảm kỹ sư

hiện trường, nhà thầu, tư vấn và cơ quan quản lý đều truy cập được phần dữ liệu cần thiết, nhưng không vượt quá phạm vi quyền hạn.

5.3. Phát triển năng lực tổ chức và nguồn nhân lực chuyên sâu

Một hệ thống GIS quản lý tọa độ tuyến, dù được trang bị công nghệ tiên tiến, sẽ không thể phát huy hiệu quả nếu thiếu năng lực tổ chức và đội ngũ nhân sự có chuyên môn sâu. Năng lực này cần được xây dựng song song với hạ tầng kỹ thuật, vì yếu tố con người chính là tác nhân quyết định chất lượng dữ liệu và tính bền vững của toàn bộ hệ thống.

Trước hết, cấu trúc quản trị dữ liệu phải được thiết lập rõ ràng. Mỗi dự án tuyến cần có một “trục chỉ huy” dữ liệu – gồm các vai trò từ quản lý dữ liệu trung tâm, kỹ sư GIS, chuyên gia trắc địa đến cán bộ phân tích. Sự phân định trách nhiệm cụ thể giữa các cấp giúp tránh tình trạng chồng chéo, bỏ sót hoặc cập nhật dữ liệu thiếu đồng bộ.

Tiếp theo, đào tạo và bồi dưỡng chuyên môn phải mang tính hệ thống. Không chỉ tập huấn ngắn hạn, mà cần một lộ trình dài hạn bao gồm:

- Kiến thức nền tảng về hệ tọa độ, tiêu chuẩn dữ liệu không gian và các quy chuẩn kỹ thuật liên quan.

- Kỹ năng sử dụng, cấu hình và vận hành các phần mềm GIS/BIM, thiết bị đo đạc hiện trường, và các công cụ tích hợp IoT.

- Năng lực phân tích, đánh giá chất lượng dữ liệu và ra quyết định dựa trên thông tin không gian.

Về dài hạn, việc xây dựng “văn hóa dữ liệu” trong tổ chức là điều then chốt. Khi mọi cá nhân, từ kỹ sư hiện trường đến lãnh đạo dự án, đều hiểu tầm quan trọng của việc cập nhật dữ liệu chính xác và kịp thời, hệ thống GIS sẽ trở thành một phần tự nhiên của quy trình làm việc thay vì gánh nặng thủ tục.

Cuối cùng, để duy trì và phát triển năng lực nhân sự, cần áp dụng cơ chế khuyến khích và đánh giá hiệu quả công việc dựa trên chất lượng dữ liệu. Đây vừa là động lực, vừa là thước đo đảm bảo rằng các giải pháp kỹ thuật đã đầu tư được vận hành và khai thác tối đa giá trị.

5.4. Giải pháp kỹ thuật nâng cao cho hệ thống GIS quản lý tọa độ tuyến

Để đạt được độ chính xác, khả năng tích hợp và tính ổn định lâu dài, hệ thống GIS quản lý tọa độ tuyến cần được triển khai trên một nền tảng kỹ thuật có khả năng mở rộng, tương thích đa dạng công nghệ và tuân thủ nghiêm ngặt các tiêu chuẩn dữ liệu không gian.

Thứ nhất, kiến trúc hệ thống mở và linh hoạt

là điều kiện tiên quyết. Hệ thống nên được xây dựng theo mô hình dịch vụ (Service-Oriented Architecture – SOA) hoặc kiến trúc hướng microservices, cho phép các mô-đun như quản lý hệ tọa độ, xử lý dữ liệu đo đạc, tích hợp BIM/IoT được phát triển, nâng cấp hoặc thay thế độc lập mà không ảnh hưởng đến toàn bộ hệ thống.

Thứ hai, nâng cấp hạ tầng thu thập và đồng bộ dữ liệu hiện trường. Việc sử dụng các thiết bị GNSS độ chính xác cao kết hợp với công nghệ đo toàn đạc điện tử, máy bay không người lái (UAV) và cảm biến IoT sẽ giúp thu thập dữ liệu đa nguồn, cập nhật gần thời gian thực. Các thiết bị này cần được cấu hình đồng bộ về hệ tọa độ, định dạng và metadata để giảm thiểu sai lệch khi nhập vào hệ thống GIS.

Thứ ba, tích hợp cơ chế kiểm soát chất lượng dữ liệu tự động. Thay vì dựa hoàn toàn vào kiểm tra thủ công, hệ thống cần có các thuật toán kiểm tra logic không gian, so sánh chéo giữa dữ liệu hiện trường và mô hình thiết kế, phát hiện sai số vượt ngưỡng, đồng thời tự động thông báo hoặc gắn cờ (flag) dữ liệu nghi vấn để xử lý.

Thứ tư, chuẩn hóa và tự động hóa quy trình chuyển đổi hệ tọa độ. Các dự án tuyến thường phải tương tác với nhiều hệ quy chiếu (VD: VN-2000, WGS84, hệ cục bộ), do đó cần xây dựng bộ công cụ chuyển đổi với tham số kiểm định chính thức, đảm bảo khi tích hợp dữ liệu từ nhiều nguồn không phát sinh biến dạng hình học hoặc sai số tích lũy.

Thứ năm, đảm bảo tính an toàn và bảo mật dữ liệu. Hệ thống GIS cần được triển khai với cơ chế phân quyền chi tiết, mã hóa dữ liệu nhạy cảm và duy trì nhật ký thao tác (audit trail) để phục vụ kiểm toán kỹ thuật. Điều này không chỉ bảo vệ thông tin trước rủi ro an ninh mạng mà còn đảm bảo trách nhiệm giải trình trong toàn bộ vòng đời dự án.

Việc áp dụng đồng bộ các giải pháp kỹ thuật nâng cao này sẽ tạo ra một hệ thống GIS vừa chính xác, vừa bền vững, đủ khả năng đáp ứng nhu cầu quản lý tọa độ tuyến ở quy mô lớn và trong bối cảnh các dự án xây dựng ngày càng phức tạp.

5.5. Cơ chế giám sát, đánh giá và cải tiến liên tục

Một hệ thống GIS quản lý tọa độ tuyến chỉ thực sự bền vững khi được vận hành trong một chu trình giám sát, đánh giá, cải tiến liên tục, thay vì hoạt động theo mô hình triển khai một lần rồi duy trì thụ động. Điều này đòi hỏi thiết lập một khung quản trị dữ liệu và vận hành hệ thống có khả năng phản ứng nhanh trước biến động của hiện trường, công nghệ và yêu cầu pháp lý.

Trước hết, thiết lập các chỉ số hiệu suất chính (KPI) cho hệ thống. Các KPI cần phản ánh được cả khía cạnh kỹ thuật (độ chính xác tọa độ, tỷ lệ

dữ liệu đạt chuẩn, thời gian cập nhật) và khía cạnh vận hành (tần suất sai số vượt ngưỡng, thời gian phản hồi khi phát hiện lỗi, mức độ tích hợp thành công với các hệ thống khác). KPI đóng vai trò như “thuốc đo sức khỏe” của hệ thống, giúp nhận diện sớm xu hướng suy giảm chất lượng dữ liệu hoặc năng lực xử lý.

Tiếp theo, duy trì cơ chế giám sát theo thời gian thực. Hệ thống cần tích hợp dashboard trực quan, kết nối trực tiếp với nguồn dữ liệu hiện trường (GNSS, UAV, IoT) và các cơ sở dữ liệu thiết kế, để phát hiện tức thời sai lệch vị trí, trùng lặp dữ liệu hoặc sự cố truyền dẫn. Đối với các dự án tuyến dài hàng chục km, việc giám sát liên tục này đặc biệt quan trọng nhằm ngăn chặn sai số lan truyền và giảm chi phí khắc phục.

Bên cạnh giám sát, quy trình đánh giá định kỳ là yếu tố không thể thiếu. Định kỳ (ví dụ 3 hoặc 6 tháng), cần thực hiện các cuộc rà soát toàn diện bao gồm: kiểm định ngẫu nhiên mẫu dữ liệu, đánh giá mức độ tuân thủ quy trình nhập – xử lý – chuyển đổi hệ tọa độ, và phân tích nguyên nhân gốc rễ của các sai lệch. Các báo cáo đánh giá cần được lưu trữ trong hệ thống quản trị dự án, làm cơ sở cho quyết định nâng cấp hoặc điều chỉnh quy trình.

Cuối cùng, cơ chế cải tiến liên tục phải được tích hợp ngay từ thiết kế ban đầu của hệ thống. Mọi kết quả đánh giá, phản hồi từ người dùng và thay đổi của tiêu chuẩn kỹ thuật cần được chuyển hóa thành hành động: cập nhật thuật toán kiểm soát chất lượng, tinh chỉnh quy trình xử lý dữ liệu, đào tạo lại nhân lực hoặc bổ sung thiết bị. Cách tiếp cận này giúp hệ thống GIS luôn tiến hóa theo nhu cầu thực tiễn, thay vì bị “lỗi thời” chỉ sau vài năm vận hành.

Với một cơ chế giám sát, đánh giá và cải tiến liên tục, GIS quản lý tọa độ tuyến sẽ duy trì được tính chính xác, tính thích ứng và giá trị lâu dài, trở thành công cụ quản lý không chỉ phục vụ giai đoạn thi công mà còn đồng hành trong toàn bộ vòng đời công trình.

6. Kết luận

Nghiên cứu đã làm rõ cơ sở lý luận, tiêu chuẩn kỹ thuật và thực tiễn áp dụng GIS trong quản lý tọa độ tuyến cho các dự án hạ tầng. Kết quả cho thấy, GIS giữ vai trò trung tâm trong việc bảo đảm độ chính xác, khả năng tích hợp và tính liên thông dữ liệu, đặc biệt khi kết hợp với BIM và IoT.

Phân tích tiêu chuẩn quốc tế và quy chuẩn Việt Nam cho thấy đã có nền tảng pháp lý, song vẫn tồn tại khoảng trống về hướng dẫn triển khai, nhân lực và sự đồng bộ dữ liệu. Từ đó, nghiên cứu đề xuất bộ giải pháp tổng thể từ chuẩn hóa dữ liệu, xây dựng

Xem tiếp trang 40

thành vùng làm việc phức tạp về ứng suất. Tại đây xuất hiện đồng thời ứng suất nén cục bộ và nội lực từ bản sàn, làm tăng nguy cơ phá hoại cục bộ. Do đó, việc nghiên cứu sâu hơn về cơ chế làm việc và giải pháp cấu tạo cho các nút liên kết này là cần thiết.

- Việc bố trí cốt thép chống chọc thủng có thể làm giảm đáng kể sự phụ thuộc của khả năng chịu lực vào cấp bê tông. Điều này mở ra hướng tiếp cận hợp lý trong thiết kế, trong đó thay vì tăng cấp bê tông, có thể sử dụng các giải pháp cấu tạo để nâng cao hiệu quả chịu lực của sàn.

Kết quả nghiên cứu có thể sử dụng làm cơ sở tham khảo trong thiết kế sơ bộ sàn phẳng bê tông cốt thép theo TCVN 5574:2018, đồng thời hỗ trợ lựa chọn cấp bê tông hợp lý cho từng nhóm cấu kiện trong công trình nhà nhiều tầng.

Trong thiết kế thực tế, việc lựa chọn cấp bê tông

cho sàn nên cân nhắc giữa hiệu quả chịu lực và chi phí, thay vì chỉ tăng cường độ vật liệu. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции: Общий курс: учебник для вузов. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1991. - 767 с.: ил.
2. Дорфман А.Э., Левонтин Л.Н. Проектирование безбалочных перекрытий. - М.: Стройиздат, 1975. - 124 с.
3. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения
4. TCVN 5574:2018, Thiết kế Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép.
5. TCVN 2737:2023, Tải trọng và tác động.

QUẢN LÝ CÁC TỌA ĐỘ CÔNG TRƯỜNG XÂY DỰNG THEO TUYẾN BẰNG...

Tiếp theo trang 36

kiến trúc tích hợp đến quy trình kiểm soát chất lượng, hướng tới quản lý tọa độ tuyến chính xác, minh bạch và bền vững.

Kết quả nghiên cứu vừa bổ sung giá trị lý luận, vừa có khả năng ứng dụng ngay trong thực tiễn, đồng thời mở ra hướng nghiên cứu mở rộng với AI và Big Data để tối ưu quản lý trong tương lai. □

Tài liệu tham khảo

- [1]. ArcMap (2025) LRS data model. Available at: <https://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/latest/extensions/roads-and-highways/alrs-data-model.htm>
- [2]. Autodesk (2025) A Hitchhiker's Guide to ArcGIS GeoBIM and Autodesk Construction Cloud. Available at: <https://next.au-uw2-test.autodesk.com/autodesk-university/zh-hans/article/Hitchhikers-Guide-ArcGIS-GeoBIM-and-Autodesk-Construction-Cloud-2021>
- [3]. Azari, P., Li, S., Shaker, A., Satter, S. (2025) 'Georeferencing Building Information Models for BIM/GIS integration', ISPRS International Journal of Geo-Information, 14(5), p. 180.
- [4]. Brodeur, J., Coetzee, S., Danko, D., Garcia, S. and Hjelmager, J. (2019) 'Geographic Information Metadata—An Outlook from the International Standardization Perspective', ISPRS International Journal of Geo-Information, 8(6), p. 280. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijgi8060280>
- [5]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2012) TCVN 9398:2012 – Công tác trắc địa trong xây dựng công trình – Yêu cầu chung. Hà Nội.
- [6]. Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam (2024a) TCVN 14177-1:2024 – Phần 1: Khái niệm và nguyên tắc về mô hình hóa

thông tin công trình (BIM). Hà Nội.

- [7]. Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam (2024b) TCVN 14177-2:2024 – Phần 2: Giai đoạn chuyển giao tài sản. Hà Nội.
- [8]. International Organization for Standardization (2012) ISO 19148:2012 – Geographic information — Linear referencing.
- [9]. International Organization for Standardization (2013) ISO 19157:2013 – Geographic information — Data quality.
- [10]. International Organization for Standardization (2014) ISO 19115-1:2014 – Geographic information — Metadata — Part 1: Fundamentals.
- [11]. International Organization for Standardization (2019) ISO 19111:2019 – Geographic information — Spatial referencing by coordinates.
- [12]. Khanh Giang, L. and Quang Hoc, T. (2021) 'The sustainable development of railway system in Vietnam by GIS-based technologies', E3S Web of Conferences, 310, p. 03003.
- [13]. Kresse, W. (2004) 'Standardization of geographic information', ISPRS Commission II, WG II/4, University of Applied Sciences, Neubrandenburg, Germany.
- [14]. Liu, X. et al. (2025) 'BIM, IoT, and GIS integration in construction resource monitoring', Automation in Construction, 174, 106149
- [15]. Piras, G., Muzi, F. and Zylka, C. (2024) 'Integration of BIM and GIS for the digitization of the built environment', Applied Sciences, 14(23), p. 11171.
- [16]. Thellakula, V. et al. (2021) 'A web-based GIS tool for progress monitoring of linear construction projects', ISARC Conference Proceedings.
- [17]. Tripathi, A. et al. (2023) 'Applicability of BIM-IoT-GIS integrated digital twins for post-occupancy evaluations', Frontiers in Built Environment, 9, p. 1103743.