

XÂY DỰNG

TẠP CHÍ ĐIỆN TỬ CỦA BỘ XÂY DỰNG
JOURNAL OF CONSTRUCTION

TẠP CHÍ XÂY DỰNG - eISSN 3030-4482

Ứng dụng BIM, IoT và AI trong quản lý chất lượng công trình xây dựng

Application of BIM, IoT and AI in construction project quality management

► Võ Hải Nhân

Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

Email: cdic.vn@gmail.com

THÔNG TIN BÀI BÁO

Chuyên mục: Khoa học công nghệ

Ngày nhận bài: 06/5/2026

Ngày sửa bài: 19/5/2026

Ngày chấp nhận đăng: 27/5/2026

Ngày xuất bản Online: 31/5/2026

Tác giả liên hệ email: cdic.vn@gamil.com

TÓM TẮT

Trong bối cảnh chuyển đổi số ngành Xây dựng ngày càng mạnh mẽ, việc tích hợp Mô hình thông tin công trình (Building Information Modeling - BIM), Internet vạn vật (Internet of Things - IoT) và Trí tuệ nhân tạo (Artificial Intelligence - AI) vào quản lý chất lượng công trình xây dựng đang trở thành xu hướng tất yếu, mang lại một hướng tiếp cận mới giúp tối ưu hoá trong công tác quản lý dự án nói chung và quản lý chất lượng công trình xây dựng nói riêng.

Bài báo này xem xét tiềm năng chuyển đổi của việc tích hợp BIM 4D, IoT và AI để hiện đại hóa quản lý chất lượng nhằm hạn chế sự sai sót trong quá trình thi công đang quản lý theo phương pháp truyền thống, đồng thời giúp cho việc minh bạch thông tin trong các dự án phức tạp. Bằng cách thiết lập các cảm biến IoT để thu thập dữ liệu hiện trường theo thời gian thực, BIM 4D cung cấp nền tảng không gian và thời gian trực quan, các thuật toán AI phân tích các dữ liệu đầu vào này để dự đoán rủi ro và tối ưu hóa việc phân bổ nguồn lực.

Mặc dù việc áp dụng quốc tế đang ngày càng tăng, việc triển khai tại Việt Nam vẫn còn rời rạc do chi phí đầu tư cao, thiếu các hướng dẫn kỹ thuật tiêu chuẩn cũng như rào cản pháp lý. Để giải quyết những thiếu sót này, nghiên cứu đề xuất một giải pháp kỹ thuật tích hợp các công nghệ BIM 4D - IoT - AI nhằm chuyển đổi công tác quản lý chất lượng công trình sang mô hình quản lý tự động, dựa trên dữ liệu hiện trường, minh bạch. Cuối cùng, bài báo lập luận rằng sự hội tụ công nghệ như vậy là cần thiết để nâng cao năng suất và đạt được các mục tiêu của công nghệ công nghiệp xây dựng 4.0.

Từ khóa: BIM, IoT, AI, quản lý chất lượng, chuyển đổi số, quản lý dự án xây dựng.

ABSTRACT

In the context of the rapidly evolving digital transformation of the construction industry, the integration of Building Information Modeling (BIM), the Internet of Things (IoT), and Artificial Intelligence (AI) into construction quality management is becoming a

trend, providing new guidance for optimizing project management in general and construction quality management in particular.

This paper examines the potential of integrating BIM 4D, IoT, and AI to modernize quality management, aiming to reduce errors in construction processes currently managed using traditional methods, while also enhancing transparency in complex contingency projects. By establishing IoT sensor variants to collect real-time field data, BIM 4D provides a spatial and temporal visualization platform, and AI algorithms analyze this data input to predict risks and optimize the analysis of additional resources.

Despite increasing international adoption, development in Vietnam still faces challenges due to high investment costs, a lack of standardized technical guidelines, and legal barriers. To address these shortcomings, the study proposes creating an integrated BIM 4D - IoT - AI solution aimed at transforming construction quality management into an automated, data-driven, and transparent management model. Finally, the paper argues that technological convergence is essential to enhance performance and achieve the goals of Construction Technology 4.0.

Key words: BIM, IoT, AI, quality management, digital transformation, construction project management.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quản lý chất lượng công trình xây dựng là một trong những nội dung cốt lõi của quản lý dự án, nhằm đảm bảo công trình đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật, tiêu chuẩn thiết kế, an toàn vận hành và hiệu quả khai thác trong suốt vòng đời công trình.

Công tác quản lý chất lượng công trình xây dựng hiện nay đang chuyển dịch mạnh mẽ từ phương pháp quản lý truyền thống sang mô hình quản lý số hóa dựa trên dữ liệu tích hợp, trong đó các công nghệ như BIM, IoT, AI, Digital Twin và Common Data Environment (CDE) nhằm nâng cao hiệu quả quản lý chất lượng theo thời gian thực [1] được xem là các nền tảng cốt lõi của quá trình chuyển đổi số ngành xây dựng. Trong môi trường quản lý hiện đại, BIM không chỉ đóng vai trò là mô hình 3D trực quan mà còn là cơ sở dữ liệu tập trung phục vụ quản lý thông tin chất lượng xuyên suốt vòng đời công trình. Theo tiêu chuẩn ISO 19650, BIM cho phép thiết lập môi trường dữ liệu chung (CDE), giúp tăng cường khả năng phối hợp, truy xuất dữ liệu, kiểm soát hồ sơ chất lượng và đảm bảo tính minh bạch giữa các chủ thể tham gia dự án [1].

Nhiều nghiên cứu cho thấy việc ứng dụng BIM trong quản lý chất lượng giúp cải thiện đáng kể khả năng kiểm soát sai sót thiết kế, quản lý hồ sơ nghiệm thu, truy vết lỗi kỹ thuật nhờ khả năng tích hợp dữ liệu đa chiều và hỗ trợ phối hợp thông tin giữa các bên tham gia dự án. Đặc biệt, BIM hỗ trợ liên kết dữ liệu kiểm tra chất lượng với từng cấu kiện công trình theo thời gian thực, từ đó nâng cao tính chính xác và hiệu quả trong công tác kiểm soát chất lượng thi công. Các quốc gia phát triển như Anh, Singapore, Hoa Kỳ và Hàn Quốc đã ban hành các tiêu chuẩn và chính sách bắt buộc áp dụng BIM trong quản lý dự án công nhằm nâng cao chất lượng và hiệu quả quản lý xây dựng. Đồng thời, các nghiên cứu gần đây cũng tập trung vào việc tích hợp BIM với AI để tự động nhận diện lỗi kỹ thuật, dự báo rủi ro chất lượng và hỗ trợ ra quyết định trong quản lý thi công [1].

Song song với BIM, công nghệ IoT đóng vai trò thu thập dữ liệu hiện trường tự động thông qua các cảm biến thông minh, thiết bị RFID, camera, máy quét laser, cảm biến môi trường và các hệ thống giám sát thời gian thực. Các thiết bị IoT có khả năng theo dõi liên tục các thông số kỹ thuật như nhiệt độ bê tông, độ rung kết cấu, độ nghiêng công trình, chất lượng vật liệu, điều kiện môi trường thi công hoặc trạng thái vận hành thiết bị. Dữ liệu từ IoT khi được kết nối với mô hình BIM sẽ hình thành hệ thống quản lý chất lượng số hóa theo thời gian thực, giúp nhà quản lý nhanh chóng phát hiện sai lệch kỹ thuật, cảnh báo nguy cơ sự cố và hỗ trợ đưa ra quyết định kịp thời [2].

AI đang trở thành công nghệ hỗ trợ quan trọng trong tự động hóa công tác kiểm tra và đánh giá chất lượng công trình. Các thuật toán học máy (Machine Learning) và học sâu (Deep Learning) có khả năng phân tích dữ liệu hình ảnh, dữ liệu cảm biến và dữ liệu BIM nhằm nhận diện khuyết tật, dự báo rủi ro chất lượng, đánh giá sai lệch thi công và hỗ trợ kiểm tra tuân thủ tiêu chuẩn kỹ thuật. AI cũng có thể hỗ trợ phân tích dữ liệu lịch sử để dự đoán khả năng phát sinh lỗi, tối ưu quy trình kiểm tra chất lượng và nâng cao hiệu quả ra quyết định trong quản lý dự án xây dựng. Theo nghiên cứu, AI trong xây dựng hiện được ứng dụng mạnh mẽ trong các lĩnh vực nhận diện lỗi thi công, phân tích hình ảnh công trường, dự báo rủi ro và kiểm tra tự động dựa trên dữ liệu BIM và CDE [1].

Sự tích hợp đồng bộ BIM, IoT và AI đã hình thành mô hình quản lý thông minh trong xây dựng, cho phép kết nối dữ liệu giữa thiết kế, thi công và vận hành công trình. Mô hình này không chỉ nâng cao hiệu quả kiểm soát chất lượng, giảm sai sót và chi phí sửa chữa mà còn góp phần tăng tính minh bạch, khả năng truy xuất thông tin và năng lực quản trị dự án. Tuy nhiên, việc triển khai các công nghệ này vẫn gặp nhiều thách thức liên quan đến tiêu chuẩn dữ liệu, năng lực nhân sự, chi phí đầu tư và khả năng tích hợp hệ thống, đặc biệt tại các quốc gia đang phát triển như Việt Nam [3] [4].

Tại Việt Nam, nghiên cứu về quản lý chất lượng công trình hiện nay chủ yếu tập trung vào hệ thống quản lý theo tiêu chuẩn, quản lý hồ sơ nghiệm thu, giám sát thi công. Một số nghiên cứu bước đầu đã đề cập đến khả năng ứng dụng BIM kết hợp RFID, IoT và công nghệ AR/VR trong quản lý chất lượng và bảo trì công trình. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu vẫn dừng ở mức lý thuyết, mô hình đề xuất hoặc nghiên cứu đơn lẻ theo từng công nghệ riêng biệt. Việc tích hợp đồng bộ BIM, IoT và AI trong quản lý chất lượng công trình tại Việt Nam vẫn còn hạn chế do thiếu nền tảng dữ liệu dùng chung, tiêu chuẩn kết nối dữ liệu, nguồn nhân lực công nghệ và hành lang pháp lý hỗ trợ triển khai thực tế [2].

Đa số các nghiên cứu trong nước hiện nay tập trung nhiều vào quản lý tiến độ và chi phí, trong khi nghiên cứu chuyên sâu về quản lý chất lượng công trình trên nền tảng tích hợp dữ liệu số còn khá ít. Đặc biệt, chưa có nhiều nghiên cứu xây dựng mô hình quản lý chất lượng thông minh theo thời gian thực dựa trên sự kết hợp giữa BIM, IoT và AI phù hợp với điều kiện của Việt Nam. Đây được xem là khoảng trống nghiên cứu quan trọng trong bối cảnh ngành xây dựng đang thúc đẩy chuyển đổi số [2].

Từ các thông tin thu thập được, có thể xác định một số khoảng trống nghiên cứu chính:

- Chưa có nghiên cứu nào tập trung xây dựng mô hình tích hợp BIM - IoT - AI phục vụ quản lý chất lượng công trình.

- Nhiều nghiên cứu trong nước mới dừng ở mức tổng quan hoặc đề xuất lý thuyết, chưa có nhiều nghiên cứu thực nghiệm đánh giá hiệu quả ứng dụng BIM - IoT - AI trong điều kiện thi công thực tế tại Việt Nam. Chưa giải quyết đầy đủ vấn đề xây dựng cơ sở dữ liệu chất lượng dùng chung (CDE) phục vụ quản lý, truy xuất và phân tích dữ liệu xuyên suốt vòng đời công trình.

- Thiếu nghiên cứu về tiêu chuẩn hóa và khả năng liên kết, tích hợp dữ liệu giữa BIM, IoT, AI.

Các khoảng trống này đặt ra yêu cầu cần có một nghiên cứu mang tính tổng hợp, hệ thống, nhằm trả lời các câu hỏi sau:

- Làm thế nào để xây dựng mô hình tích hợp BIM - IoT - AI phục vụ quản lý chất lượng công trình theo thời gian thực?

- Những yếu tố nào ảnh hưởng đến khả năng triển khai mô hình quản lý chất lượng số hóa tại Việt Nam?

- Mức độ hiệu quả của việc ứng dụng BIM - IoT - AI trong nâng cao quản lý chất lượng công trình xây dựng?

- Cần xây dựng cơ sở pháp lý như thế nào để đảm bảo khả năng tích hợp giữa BIM, IoT và AI trong quản lý chất lượng?

Để đạt được mục tiêu trên, nghiên cứu sử dụng phương pháp tổng quan tài liệu quốc tế, nghiên cứu điều kiện Việt Nam và kết hợp phân tích thực tiễn một số dự án đã và đang áp dụng các công cụ trên.

2. CƠ SỞ LÝ LUẬN

2.1. Cơ sở lý luận của nghiên cứu về quản lý chất lượng công trình xây dựng ứng dụng BIM, IoT và AI

Cơ sở lý luận của nghiên cứu về quản lý chất lượng công trình ứng dụng BIM, IoT và AI được hình thành từ các lý thuyết nền tảng về quản lý chất lượng xây dựng, quản lý dự án, chuyển đổi số trong xây dựng và lý thuyết tích hợp dữ liệu thông minh.

2.1.1. Lý thuyết về quản lý chất lượng công trình xây dựng

Quản lý chất lượng công trình xây dựng là quá trình lập kế hoạch, kiểm soát, đảm bảo và cải tiến chất lượng nhằm đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật, tiêu chuẩn, quy chuẩn trong toàn bộ vòng đời dự án.

Mô hình quản lý chất lượng trong xây dựng hiện đại không chỉ tập trung vào kiểm tra nghiệm thu cuối cùng mà chuyển sang phương pháp quản lý phòng ngừa, kiểm soát xuyên suốt từ thiết kế, thi công đến vận hành công trình. Đây là cơ sở lý luận quan trọng cho việc ứng dụng công nghệ số nhằm tự động hóa quá trình giám sát, kiểm tra và truy xuất dữ liệu [5]

2.1.2. Lý thuyết quản lý dự án xây dựng

Cơ sở lý luận tiếp theo là lý thuyết quản lý dự án xây dựng, trong đó chất lượng là một trong ba mục tiêu cốt lõi của “tam giác quản lý dự án” bao gồm các công tác quản lý chi phí - tiến độ - chất lượng. Theo Project Management Institute, quản lý chất lượng dự án bao gồm ba nội dung chính như lập kế hoạch chất lượng, đảm bảo chất lượng và kiểm soát chất lượng.

Trong nghiên cứu ứng dụng BIM, IoT và AI, lý thuyết này là nền tảng để xây dựng hệ thống quản lý chất lượng số hóa có khả năng hỗ trợ kiểm soát chất lượng theo thời gian thực, tăng tính phối hợp và hỗ trợ ra quyết định nhanh chóng.

2.1.3. Lý thuyết về mô hình thông tin công trình (BIM) trong quản lý chất lượng

Mô hình thông tin công trình (Building Information Modeling - BIM), là “một hệ cơ sở dữ liệu kỹ thuật số tích hợp” bao gồm các thông tin cơ bản về một dự án được số hóa toàn bộ dữ liệu liên quan đến công trình từ mô hình mô phỏng 3D, vật liệu, chi phí, tiến độ từ giai đoạn thiết kế, thi công và vận hành nhằm phục vụ cho việc ra quyết định trong suốt vòng đời dự án [2]. Mô hình thông tin công trình (BIM) có ưu điểm liên kết và chia sẻ dữ liệu theo thời gian thực giữa các bên liên quan, tổng hợp các dữ liệu liên quan công trình, qua đó giảm sai sót, nâng cao hiệu quả phối hợp và tối ưu hóa hiệu suất thi công.

BIM hỗ trợ công tác quản lý chất lượng từ khâu kiểm soát thay đổi thiết kế, phát hiện xung đột kỹ thuật, liên kết hồ sơ nghiệm thu với cấu kiện công trình và hỗ trợ truy xuất thông tin theo thời gian thực.

Đây là nền tảng để tích hợp dữ liệu từ IoT và AI nhằm hình thành mô hình quản lý chất lượng số hóa [6].

2.1.4. Lý thuyết Internet vạn vật (IoT)

Internet vạn vật (IoT) là một hệ sinh thái gồm các thiết bị cảm biến, thiết bị kết nối, phần mềm điều khiển cho phép thu thập và truyền dữ liệu theo thời gian thực để phục vụ giám sát, phân tích và điều khiển từ xa [7].

IoT có các đặc điểm cơ bản: khả năng thu thập dữ liệu tự động, kết nối và cập nhật dữ liệu theo thời gian thực, theo dõi, giám sát đối tượng thi công, tích hợp với công nghệ số và hỗ trợ cảnh báo nhanh. Các đặc điểm này giúp nâng cao tính minh bạch, giúp các

bên tham gia dự án có thể sử dụng chung nguồn dữ liệu thống nhất, nâng cao khả năng phối hợp giữa hiện trường và bộ phận điều hành. Khi tích hợp với BIM 4D hoặc Digital Twin, dữ liệu IoT còn cho phép so sánh giữa hồ sơ và chất lượng thực tế theo thời gian thực. Tuy nhiên, các nghiên cứu cũng cho thấy tính tương thích dữ liệu và chuẩn giao tiếp giữa các hệ thống vẫn là thách thức lớn trong triển khai IoT xây dựng [8] [9]. Hiệu quả của IoT phụ thuộc lớn vào chất lượng hạ tầng mạng, độ chính xác của cảm biến và khả năng quản lý dữ liệu của tổ chức triển khai.

Trong quản lý chất lượng công trình, dữ liệu IoT có tính mở và khả năng tích hợp cao với các nền tảng công nghệ khác như liên kết trực tiếp với mô hình BIM 4D, AI, Big Data, Cloud Computing, CDE nhằm cập nhật tiến độ thực tế theo thời gian thực.

2.1.5. Lý thuyết về trí tuệ nhân tạo (AI)

Trí tuệ nhân tạo (AI), là công nghệ mô phỏng trí tuệ con người thông qua máy móc, giúp phân tích dữ liệu, nhận dạng mẫu và đưa ra quyết định. Trong xây dựng, AI được sử dụng trong dự báo tiến độ, rủi ro [10], quản lý vật tư, nhân lực bằng học máy (ML), phân bổ nguồn lực, nhận diện an toàn công trường qua camera (Computer Vision) [11].

AI có khả năng xử lý và phân tích khối lượng dữ liệu lớn từ nhiều nguồn khác nhau như nhật ký công trường, dữ liệu BIM, cảm biến IoT, camera, máy móc thiết bị và báo cáo hiện trường. Trong quản lý chất lượng công trình, AI có thể tổng hợp dữ liệu theo thời gian thực để hỗ trợ nhà quản lý đánh giá tình trạng dự án nhanh và chính xác hơn so với phương pháp truyền thống.

AI có một số đặc điểm nổi bật như tự học từ dữ liệu lịch sử, có khả năng phân tích dự đoán dựa trên dữ liệu từ BIM và IoT được sử dụng để huấn luyện mô hình, tự động nhận diện mẫu bất thường, hỗ trợ dự báo rủi ro chất lượng.

Nghiên cứu cho thấy AI có khả năng phát hiện lỗi thi công từ hình ảnh từ đó đưa ra dự báo nguy cơ ảnh hưởng đến chất lượng. Phân tích dữ liệu cảm biến để tối ưu kiểm tra chất lượng và tự động hóa kiểm tra tuân thủ kỹ thuật [1].

2.1.6. Lý thuyết môi trường dữ liệu chung (CDE)

Môi trường dữ liệu dùng chung (Common Data Environment - CDE) là nền tảng quản lý dữ liệu tập trung phục vụ việc lưu trữ, chia sẻ, kiểm soát, cập nhật, phê duyệt và truy xuất thông tin dự án xây dựng theo thời gian thực. CDE là “nguồn dữ liệu thống nhất” phục vụ quản lý thông tin cho toàn bộ vòng đời công trình và được xem là “xương sống dữ liệu” của BIM, Digital Twin và tích hợp công nghệ.

Xuất phát từ việc dữ liệu xây dựng thường phân tán, công việc được quản lý qua email, server nội bộ và hồ sơ giấy, thiếu đồng bộ giữa các đơn vị như thiết kế, thi công, quản lý, vận hành. Các nước Anh, Mỹ và Bắc Âu đã thúc đẩy nhu cầu hình thành môi trường dữ liệu tập trung và quy trình chia sẻ dữ liệu chuẩn hóa.

2.2. Cơ sở lý thuyết tích hợp BIM - IoT - AI trong quản lý chất lượng

2.2.1. Cơ sở về nhu cầu quản lý chất lượng theo thời gian thực (Real-time Schedule Management)

Trong quản lý chất lượng truyền thống, dữ liệu hiện trường thường được cập nhật thủ công theo một thời gian nhất định, dẫn đến độ trễ thông tin lớn, khó phản ứng nhanh với các thay đổi tại công trường. Trong khi đó, công trường xây dựng luôn biến động theo thời gian. Vì vậy, cần một hệ thống quản lý chất lượng có khả năng cập nhật liên tục theo thời gian thực.

Dựa trên ưu nhược điểm của BIM, IoT và AI, sự tích hợp các công nghệ sẽ tạo thành một vòng phản hồi liên tục giữa kế hoạch và thực tế thi công. Nghiên cứu của Heap-Yih Chong và cộng sự cho thấy việc tích hợp BIM, AI và dữ liệu IoT giúp hình thành hệ thống quản lý chất lượng động, có khả năng cập nhật và tối ưu liên tục theo điều kiện thực tế công trường [12].

2.2.2. Cơ sở về mô hình dữ liệu số tập trung (Common Data Environment - CDE)

Một trong những nguyên nhân ảnh hưởng công tác quản lý chất lượng là dữ liệu phân tán giữa nhiều bên: chủ đầu tư và các nhà thầu. BIM cung cấp môi trường dữ liệu dùng chung (CDE) cho phép tập trung toàn bộ dữ liệu dự án vào một nền tảng thống nhất. Tuy nhiên, BIM truyền thống chủ yếu chứa dữ liệu tĩnh hoặc dữ liệu cập nhật thủ công.

Cơ sở lý luận của việc tích hợp nằm ở yêu cầu hình thành “nguồn dữ liệu duy nhất” cho toàn bộ dự án. Điều này phù hợp với tiêu chuẩn International Organization for Standardization ISO 19650 về quản lý thông tin và khả năng trao đổi dữ liệu [13].

2.2.3. Cơ sở về phân tích dự báo và hỗ trợ ra quyết định bằng AI

Quản lý chất lượng hiện đại không chỉ dừng ở giám sát mà còn phải dự báo và tối ưu. Đây là lý do cần tích hợp AI - BIM - IoT.

AI có khả năng học từ dữ liệu tiến độ lịch sử, nhận diện mẫu sai sót, dự báo nguy cơ ảnh hưởng chất lượng, tối ưu phân bổ nhân lực và thiết bị, đề xuất kịch bản điều chỉnh chất lượng.

Vai trò của BIM và IoT thì AI là công cụ phân tích thông minh. Nếu thiếu một trong ba thành phần thì hệ thống không thể vận hành hiệu quả. Nghiên cứu của Chong và cộng sự chỉ ra rằng AI giúp chuyển đổi mô hình quản lý chất lượng từ “phản ứng sau sự cố” sang “dự báo chủ động”, giúp có giải pháp trước khi xảy ra sự cố thực sự [12].

2.2.4. Cơ sở về tự động hóa quy trình quản lý chất lượng

Giám sát chất lượng công trình truyền thống phụ thuộc nhiều vào báo cáo thủ công, dễ sai lệch, tốn thời gian. Khi tích hợp BIM - IoT - AI, IoT tự động thu thập dữ liệu, BIM tự động cập nhật trạng thái mô hình và AI tự động phân tích và đưa cảnh báo.

Nhờ đó, nhiều quy trình quản lý chất lượng được tự động hóa, cảnh rủi ro, đánh giá năng suất và tối ưu lịch thi công.

2.2.5. Cơ sở về khả năng tương tác dữ liệu

Một trở ngại lớn trong quản lý chất lượng là dữ liệu từ nhiều hệ thống khác nhau khó liên kết. Việc tích hợp BIM - IoT - AI dựa trên cơ sở lý luận về khả năng tương tác dữ liệu. Các chuẩn như IFC, ISO 19650, BRICK Schema và Digital Twin Framework cho phép các hệ thống trao đổi dữ liệu với nhau.

Nghiên cứu BIM-to-BRICK cho thấy việc chuyển đổi dữ liệu BIM sang hệ thống dữ liệu IoT giúp hình thành mô hình quản lý thông minh có khả năng kết nối dữ liệu đa nguồn trong thời gian ngắn và giảm thao tác thủ công [14].

Tổng hợp các cơ sở lý thuyết trên cho thấy rằng việc tích hợp BIM - IoT - AI không chỉ là xu hướng công nghệ, mà còn là yêu cầu tất yếu để xây dựng hệ thống kiểm soát tiến độ dự án dựa trên dữ liệu, trực quan hóa và phân tích tự động một cách nhanh chóng. Đây cũng là nền tảng để phát triển mô hình quản lý dự án thông minh, hướng tới tự động hóa và ra quyết định dựa trên dữ liệu được cập nhật theo thời gian thực.

3. THỰC TRẠNG VỀ QUẢN LÝ CHẤT LƯỢNG VÀ ỨNG DỤNG BIM 4D, IOT, AI TRONG QUẢN LÝ CHẤT LƯỢNG CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG HIỆN NAY Ở VIỆT NAM

3.1. Thực trạng ứng dụng BIM tại Việt Nam

BIM bắt đầu được biết đến tại Việt Nam vào khoảng đầu thập niên 2010 thông qua các doanh nghiệp tư vấn thiết kế nước ngoài, các dự án FDI và các phần mềm của Autodesk, Bentley Systems, Graphisoft. Trong giai đoạn này, BIM chủ yếu được hiểu như một công cụ dựng mô hình 3D phục vụ thiết kế kiến trúc và phối hợp kỹ thuật [15].

Năm 2021, Chính phủ và Bộ Xây dựng bắt đầu đưa BIM vào hệ thống quy định quản lý đầu tư xây dựng.

Luật Xây dựng 2014 (và bổ sung sửa đổi năm 2020) cũng yêu cầu tăng cường ứng dụng công nghệ thông tin trong quản lý dự án. Bên cạnh đó, các chính sách chuyển đổi số quốc gia (Nghị quyết 52-NQ/TW, chương trình chuyển đổi số đến 2030) xác định xây dựng là lĩnh vực ưu tiên triển khai BIM và các công nghệ số. Năm 2023, Chính phủ Việt Nam đã ban hành Quyết định 258/QĐ-TTg, quy định lộ trình bắt buộc áp dụng BIM cho

các dự án nhóm A, công trình cấp I từ năm 2023 và mở rộng sang nhóm B, công trình cấp II từ năm 2025, đánh dấu bước chuyển từ thí điểm sang áp dụng rộng rãi [16]. Nghị định 175/2024/NĐ-CP tiếp tục cụ thể hóa yêu cầu áp dụng BIM trong thiết kế, thẩm định và thi công [17], đặt nền móng xây dựng cơ sở dữ liệu BIM quốc gia.

Tuy nhiên, hệ thống pháp lý hiện hành vẫn thiếu các hướng dẫn cụ thể cho tích hợp BIM - IoT - AI, quy định liên thông dữ liệu với các phần mềm và công nhận dữ liệu đồng bộ từ BIM - IoT - AI có tính pháp lý trong công tác quản lý dự án. Việc hoàn thiện các quy định này là điều kiện tiên quyết để triển khai mô hình quản lý chất lượng dựa trên dữ liệu trong thực tiễn.

Mặc dù, Chính phủ đã có nhiều nỗ lực thúc đẩy ứng dụng BIM, tuy nhiên thực tế được áp dụng ở mức độ hạn chế, tập trung vào một số dự án quy mô lớn hoặc có sự tham gia của các tổng thầu quốc tế. Theo báo cáo của Bộ Xây dựng năm 2023, khoảng 40 - 50 dự án đã áp dụng BIM ở nhiều mức độ [18].

Một trong những ví dụ điển hình đã áp dụng BIM trong quá trình thi công đã cho kết quả khả quan như dự án Landmark 81 là ví dụ nổi bật ở TP. HCM, các nhà thầu đã sử dụng giải pháp BIM (Tekla/Trimble, Revit...) để phát hiện xung đột, chi tiết thép và hỗ trợ thi công bê tông lõi chính, BIM góp phần rút ngắn chất lượng công trình [19]. Tuy vậy, việc ứng dụng BIM vẫn gặp khó khăn do sự phân tán năng lực của các nhà thầu, tính đa dạng của hạ tầng số và đặc biệt thiếu hướng dẫn thống nhất để liên kết dữ liệu.

Các khảo sát thực nghiệm chỉ ra bốn nhóm hạn chế chính trong triển khai BIM tại Việt Nam gồm:

- Thiếu chuẩn hóa hệ thống và liên thông dữ liệu giữa các phần mềm như Navisworks, Synchro, MSP hoặc Primavera.

- Hạn chế nhân sự: Tỷ lệ kỹ sư thành thạo BIM chỉ từ 5 - 7% tổng lao động kỹ thuật; đa phần mới chỉ sử dụng được BIM 3D.

- Chi phí đầu tư ban đầu cao: BIM yêu cầu phần mềm, máy tính cấu hình cao gây khó khăn cho doanh nghiệp vừa và nhỏ.

- Thiếu hướng dẫn kỹ thuật và quy trình triển khai thống nhất: Hiện chưa có TCVN quy định chi tiết về mức độ phát triển mô hình (LOD) phục vụ thi công.

3.2. Thực trạng ứng dụng IoT trong công tác quản lý chất lượng công trình xây dựng tại Việt Nam

IoT cũng bắt đầu được nghiên cứu và thử nghiệm trong quản lý chất lượng xây dựng tại Việt Nam thông qua các thiết bị cảm biến, RFID, camera giám sát, UAV và hệ thống thu thập dữ liệu hiện trường. Một số nghiên cứu đã đề cập đến khả năng ứng dụng IoT để giám sát chất lượng vật liệu, nhiệt độ bê tông, điều kiện môi trường thi công và trạng thái kết cấu công trình. Tuy nhiên, theo nghiên cứu của nhóm tác giả Hanoi University of Civil Engineering, mức độ sẵn sàng ứng dụng IoT trong xây dựng tại Việt Nam vẫn còn hạn chế do chi phí đầu tư cao, thiếu hạ tầng dữ liệu, khó khăn trong kết nối thiết bị và chưa có cơ chế đồng bộ dữ liệu với mô hình BIM. Phần lớn các doanh nghiệp xây dựng hiện nay mới chỉ ứng dụng IoT ở mức thử nghiệm cục bộ thay vì triển khai đồng bộ trong toàn bộ quy trình quản lý chất lượng công trình [2].

Các dữ liệu thu thập từ IoT bước đầu được tích hợp với nền tảng BIM hoặc phần mềm quản lý dự án nhằm hỗ trợ cập nhật và cảnh báo nguy cơ ảnh hưởng đến chất lượng công trình [20] [2]. Tuy nhiên, mức độ tích hợp hiện nay vẫn còn hạn chế do thiếu chuẩn dữ liệu và nền tảng kết nối đồng bộ [20] [21]. Bên cạnh các kết quả tích cực, việc ứng dụng IoT trong quản lý chất lượng công trình tại Việt Nam vẫn gặp nhiều khó khăn. Thứ nhất, chi phí đầu tư ban đầu cho hệ thống thiết bị, hạ tầng mạng và nền tảng dữ liệu còn cao. Thứ hai, thiếu nhân lực triển khai và vận hành hệ thống IoT. Thứ ba, chưa có tiêu chuẩn kỹ thuật và quy trình thu thập, lưu trữ và khai thác dữ liệu IoT trong quản lý xây dựng. Ngoài ra, liên kết dữ liệu giữa IoT - BIM - AI và các phần mềm vẫn chưa đồng bộ [21] [2].

Khả năng chia sẻ dữ liệu giữa các chủ thể dự án còn hạn chế, là rào cản lớn đối với việc triển khai IoT trong thực tế. Hầu hết các dự án chưa xây dựng CDE, dẫn đến dữ liệu IoT chưa được khai thác hiệu quả cho quản lý. Nhiều doanh nghiệp vẫn xem IoT là công nghệ hỗ trợ riêng lẻ thay vì một phần của hệ sinh thái quản lý số tổng thể [20].

Xu hướng ứng dụng IoT trong xây dựng tại Việt Nam đang gia tăng mạnh. Các nghiên cứu quốc tế cho thấy IoT đang trở thành nền tảng quan trọng của quản lý dự án xây dựng thông minh nhờ các ưu điểm của nó. Đây được xem là cơ sở quan trọng để Việt Nam từng bước triển khai các mô hình quản lý chất lượng tích hợp BIM - IoT - AI trong thời gian tới [22].

3.3. Thực trạng ứng dụng AI trong công tác quản lý chất lượng công trình xây dựng tại Việt Nam

Song song với BIM và IoT, AI đang trở thành xu hướng nghiên cứu mới trong quản lý xây dựng tại Việt Nam. Nhờ các đặc điểm nổi bật AI đang dần được ứng dụng nhiều trên thế giới trong quản lý dự án. Tuy nhiên, tại Việt Nam, việc ứng dụng AI trong quản lý hiện trường vẫn còn rất hạn chế và chưa có nhiều nghiên cứu thực nghiệm quy mô lớn. Nguyên nhân chủ yếu xuất phát từ việc thiếu dữ liệu số hóa phục vụ huấn luyện mô hình AI, hạn chế về năng lực công nghệ và chưa hình thành hệ sinh thái dữ liệu xây dựng đồng bộ.

Ngoài các khó khăn về công nghệ, thực trạng quản lý chất lượng công trình tại Việt Nam còn chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như thiếu tiêu chuẩn dữ liệu thống nhất cho BIM - IoT - AI, thiếu CDE, năng lực số hóa của doanh nghiệp còn hạn chế, chưa có quy trình tích hợp dữ liệu thời gian thực, chi phí đầu tư công nghệ cao và thiếu nguồn nhân lực có chuyên môn về xây dựng và công nghệ.

Nghiên cứu quốc tế gần đây cũng chỉ ra rằng một trong những thách thức lớn nhất của tích hợp BIM - IoT - AI là vấn đề khả năng tương tác dữ liệu giữa các nền tảng công nghệ. Đây cũng là vấn đề đang tồn tại phổ biến tại Việt Nam khi nhiều doanh nghiệp sử dụng các phần mềm quản lý riêng lẻ, chưa có khả năng kết nối và chia sẻ dữ liệu đồng bộ.

Mặc dù còn nhiều hạn chế, xu hướng ứng dụng BIM, IoT và AI trong quản lý chất lượng công trình tại Việt Nam đang ngày càng rõ nét. Một số dự án lớn tại Hà Nội, TP Hồ Chí Minh đã bắt đầu triển khai mô hình BIM kết hợp dữ liệu số nhằm nâng cao khả năng quản lý chất lượng và vận hành công trình.

4. GIẢI PHÁP KỸ THUẬT VÀ CÔNG NGHỆ TÍCH HỢP BIM, IOT VÀ AI TRONG QUẢN LÝ CHẤT LƯỢNG CÔNG TRÌNH

Việc tích hợp BIM, IoT và AI trong quản lý chất lượng công trình đòi hỏi một hệ thống kỹ thuật đồng bộ nhằm đảm bảo khả năng thu thập, đồng bộ, xử lý và phân tích dữ liệu theo thời gian thực. Các nghiên cứu hiện nay cho thấy giải pháp kỹ thuật tích hợp cần được tổ chức theo kiến trúc nhiều lớp gồm: Lớp dữ liệu hiện trường, lớp mô hình BIM, lớp nền tảng dữ liệu trung tâm và lớp phân tích AI.

4.1. Xây dựng nền tảng dữ liệu BIM phục vụ quản lý chất lượng

Giải pháp đầu tiên là xây dựng nền tảng BIM và BIM 4D làm trung tâm quản lý dữ liệu chất lượng công trình. Trong mô hình tích hợp, BIM không chỉ đóng vai trò trực quan hóa công trình mà còn là cơ sở dữ liệu số phục vụ lưu trữ hồ sơ nghiệm thu, nhật ký thi công, kết quả kiểm tra chất lượng và dữ liệu hiện trường theo từng cấu kiện.

Theo tiêu chuẩn ISO 19650, mô hình BIM cần được tổ chức thông qua môi trường dữ liệu chung (CDE) nhằm đảm bảo khả năng đồng bộ và chia sẻ dữ liệu giữa các chủ thể tham gia dự án. Việc áp dụng CDE giúp chuẩn hóa quy trình quản lý thông tin chất lượng, hạn chế thất lạc hồ sơ và tăng khả năng truy xuất dữ liệu theo thời gian thực. Trong thực tiễn quản lý chất lượng, BIM 4D cho phép liên kết trực tiếp dữ liệu kiểm tra

hiện trường với từng cấu kiện trên mô hình số, hỗ trợ phát hiện sớm sai lệch kỹ thuật và kiểm soát chất lượng thi công theo từng giai đoạn xây dựng.

4.2. Xây dựng IoT trong giám sát chất lượng công trình theo thời gian thực

Triển khai hệ thống IoT nhằm tự động thu thập dữ liệu hiện trường phục vụ giám sát chất lượng công trình theo thời gian thực. Tích hợp BIM - IoT - AI, IoT đóng vai trò kết nối giữa công trường vật lý và môi trường dữ liệu số thông qua các thiết bị cảm biến và hệ thống truyền dữ liệu. Các thiết bị IoT phục vụ công tác quản lý chất lượng có thể bao gồm các thiết bị như cảm biến nhiệt độ bê tông, cảm biến độ rung và chuyển vị kết cấu, RFID quản lý vật liệu, GPS giám sát thiết bị thi công, UAV và camera AI giám sát hiện trường, máy quét laser 3D và LiDAR.

Dữ liệu thu thập từ các cảm biến được truyền liên tục về nền tảng BIM thông qua hệ thống mạng không dây và điện toán đám mây, giúp nhà quản lý theo dõi tình trạng chất lượng công trình theo thời gian thực. Hệ thống này cho phép phát hiện nhanh các sai lệch kỹ thuật như biến dạng kết cấu, điều kiện bảo dưỡng bê tông không đạt yêu cầu...

Theo nghiên cứu, tích hợp BIM với IoT giúp hình thành hệ thống giám sát xây dựng thông minh có khả năng đồng bộ dữ liệu hiện trường với mô hình số nhằm nâng cao hiệu quả kiểm soát chất lượng và giảm thiểu rủi ro thi công.

4.3. Ứng dụng AI trong phân tích và dự báo chất lượng công trình

AI là thành phần cốt lõi giúp nâng cao tính thông minh của hệ thống quản lý. Trong mô hình tích hợp BIM - IoT - AI, AI thực hiện chức năng xử lý dữ liệu lớn, nhận diện mẫu dữ liệu bất thường và hỗ trợ dự báo rủi ro chất lượng.

Thông qua dữ liệu từ BIM và IoT, AI có thể tự động nhận diện lỗi thi công từ hình ảnh công trường, phân tích dữ liệu cảm biến để phát hiện bất thường, dự báo nguy cơ không phù hợp chất lượng, đánh giá mức độ sai lệch thi công, hỗ trợ cảnh báo sớm rủi ro. Nghiên cứu cũng cho thấy AI đang trở thành công nghệ chủ đạo trong tự động hóa quản lý xây dựng.

4.4. Giải pháp tiêu chuẩn hóa dữ liệu và môi trường dữ liệu chung (CDE)

Một trong những điều kiện tiên quyết để tích hợp BIM - IoT - AI hiệu quả là xây dựng hệ thống tiêu chuẩn dữ liệu và môi trường dữ liệu chung (CDE). Thực tế, dữ liệu xây dựng thường bị phân tán giữa nhiều phần mềm và đơn vị quản lý khác nhau, gây khó khăn cho việc tích hợp và khai thác dữ liệu. Do đó, cần chuẩn hóa dữ liệu và xây dựng cơ chế đồng bộ dữ liệu và phát triển cơ sở dữ liệu dùng chung phục vụ quản lý dự án.

CDE đóng vai trò là trung tâm tích hợp dữ liệu BIM, IoT và AI, cho phép các bên tham gia dự án truy cập, cập nhật và khai thác dữ liệu thống nhất trên cùng một nền tảng số. Từ đó giúp nâng cao phối hợp và tăng hiệu quả quản lý.

4.5. Giải pháp triển khai phù hợp với điều kiện Việt Nam

Đối với Việt Nam, việc tích hợp BIM 4D, IoT và AI trong quản lý chất lượng công trình cần được triển khai theo lộ trình phù hợp với điều kiện thực tế. Trước mắt, cần ưu tiên hoàn thiện hành lang pháp lý cho việc sử dụng, kết nối công nghệ trong quản lý dự án. Đồng thời tập trung đào tạo nguồn nhân lực liên ngành xây dựng - công nghệ thông tin và thí điểm mô hình quản lý chất lượng thông minh tại các dự án lớn.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

5.1. Kết luận

Việc tích hợp BIM 4D, IoT và AI trong quản lý chất lượng công trình là giải pháp có tính tất yếu nhằm nâng cao hiệu quả tại Việt Nam. Kết quả tổng hợp và phân tích cho thấy BIM 4D đóng vai trò là nền tảng dữ liệu trung tâm; IoT hỗ trợ thu thập dữ liệu hiện trường theo thời gian thực; AI cung cấp khả năng phân tích, dự báo và hỗ trợ ra quyết định thông minh.

Nghiên cứu cũng cho thấy việc tích hợp BIM 4D, IoT và AI mang lại nhiều lợi ích trong quản lý chất lượng: Nâng cao khả năng kiểm soát chất lượng theo thời gian thực, nhận diện sai lệch kỹ thuật và hỗ trợ cảnh báo sớm các nguy cơ ảnh hưởng đến chất lượng công trình. Sự tích hợp các công nghệ này góp phần hình thành mô hình quản lý chất lượng thông minh theo thời gian thực, nâng cao tính minh bạch, khả năng truy xuất dữ liệu và hiệu quả phối hợp giữa các chủ thể tham gia dự án.

Hệ thống dữ liệu xây dựng chưa đồng bộ, thiếu môi trường dữ liệu chung (CDE), chưa có tiêu chuẩn tích hợp dữ liệu thống nhất và năng lực số hóa của nhiều doanh nghiệp xây dựng còn hạn chế. Các nghiên cứu hiện nay chủ yếu ở mức thử nghiệm, riêng lẻ, chưa hình thành hệ thống tích hợp hoàn chỉnh phù hợp với điều kiện thực tiễn ngành xây dựng Việt Nam.

Do đó, nghiên cứu về tích hợp BIM 4D, IoT và AI trong quản lý chất lượng công trình là hướng nghiên cứu cần thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao trong bối cảnh chuyển đổi số ngành xây dựng hiện nay.

5.2. Kiến nghị

Để thúc đẩy hiệu quả việc tích hợp BIM 4D, IoT và AI trong quản lý chất lượng công trình xây dựng tại Việt Nam, nghiên cứu đề xuất một số kiến nghị chính như sau:

- Hoàn thiện hành lang pháp lý và tiêu chuẩn kỹ thuật liên quan đến BIM, IoT và AI trong xây dựng nhằm tạo cơ sở pháp lý cho việc triển khai đồng bộ trong thực tế. Các tiêu chuẩn về CDE, trao đổi dữ liệu BIM-IoT, bảo mật và quản lý dữ liệu phù hợp với điều kiện Việt Nam.

- Xây dựng hạ tầng dữ liệu số và nền tảng dữ liệu dùng chung (CDE) nhằm tạo nền tảng cho việc tích hợp BIM, IoT và AI.

- Tăng cường đầu tư công nghệ và thí điểm thực tế tại các dự án hoàn thiện quy trình triển khai và xây dựng cơ sở dữ liệu thực tế phục vụ nghiên cứu và mở rộng ứng dụng trong tương lai.

- Phát triển nguồn nhân lực số cho ngành xây dựng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Reinaldo Valdebenito, Eric Forcael, Integrating Artificial Intelligence and BIM in Construction: Systematic Review and Quantitative Comparative Analysis, MDPI, vol. 15(23), no. 12470, 2025.

[2] Quynh To Thi Huong, Phuong Luu Quang, Nam Le Hoai, Applying BIM and Related Technologies for Maintenance and Quality Management of Construction Assets in Vietnam, International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology, vol. 12(5), pp. 125-135, 2022.

[3] Qi Liu, Juntong Li, Research Progress and Trends of Quality Management of Engineering Projects based on Building Information Modeling (BIM), International Core Journal of Engineering, vol. 11, no. 6 .

[4] Alhadi Alsaffar, Thomas Beach and dYacine Rezgui, Knowledge-Informed Technology-Enabled Asset Management and Compliance Assurance in Construction: A Systematic Grey Literature Review, MDPI, vol. 16(7), no. 1434, 2026.

[5] "ISO 9000:2015 Quality management systems - Fundamentals and vocabulary, 4 2015. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/45481.html?>

[6] 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, 2018.

[7] M. Bilal et al., Smart construction: integrating IoT with BIM," Internet of Things Journal, vol. 6, p. 5091-5100, 2019.

- [8] Qinghua Liu, Khoon Hwee Ah, Xiaoke Li et al, Review of AI-IoT frameworks for modular integrated construction: Toward zero-waiting coordination, *Automation in Construction*, vol. 187.
- [9] SURVIOT, Enabling Smart Infrastructure with IoT and BIM, <https://www.iotforall.com/iot-bim-smart-infrastructure>, 11 February 2026. [Online]. Available: <https://www.iotforall.com/iot-bim-smart-infrastructure?>
- [10] S. Bock and W. L. Goh., Modeling construction schedule using AI, *Automation in Construction*, vol. 96, p. 256-264, 2018.
- [11] N. Sacks, The future of AI in construction, *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 27, pp. 201-215, 2021.
- [12] Heap-Yih Chong, et al, BIM and AI Integration for Dynamic Schedule Management: A Practical Framework and Case Study, 2025.
- [13] Xiaofeng Liao et al, Integrating CAD, BIM, immersive technology, and 3D Gaussian Splatting for construction model coordination with ISO 19650, 2410, 2026.
- [14] Filippo Vittori, Chuan Fu Tan, Anna Laura Pisello et al, BIM-to-BRICK: Using graph modeling for IoT/BMS and spatial semantic data interoperability within digital data models of buildings, *Energy and Buildings*, vol. 348, no. 116368, 1 December 2025.
- [15] Bộ Xây dựng - Ban chỉ đạo BIM, bim.gov.vn, [Online]. Available: <https://bim.gov.vn/>.
- [16] Thủ tướng Chính phủ, Quyết định số 258/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ: Phê duyệt Lộ trình áp dụng Mô hình thông tin công trình (BIM) trong hoạt động xây dựng, 2023.
- [17] Chính phủ, Nghị định 175/2024/NĐ-CP ngày 30/12/2024 quy định chi tiết một số điều và biện pháp thi hành Luật Xây dựng về quản lý hoạt động xây dựng, 2024.
- [18] Bộ Xây dựng, Báo cáo hiệu quả áp dụng công nghệ số trong dự án cao tốc, 2023.
- [19] Trimble, [trimble.com](https://www.trimble.com), 14 4 2025. [Online]. Available: <https://www.trimble.com/blog/construction/en-US/article/the-tallest-building-in-sea-built-with-tekla-and-trimble?>
- [20] Lê Văn Tuấn, Nguyễn Quốc Toàn, Nguyễn Thành Trung, Nguyễn Đức Phong, Giải pháp tích hợp BIM 4D-EVM cho kiểm soát tiến độ xây dựng tại Việt Nam, vol. 16, pp. 99-100, 1 2026.
- [21] Le Hoai Nam, Vu Thi Kim Dung, Hoang Van Giang, Dinh Nho Cang, BIM cho các công trình hạ tầng kỹ thuật ở Việt Nam: Thực trạng, rào cản ứng dụng và giải pháp, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, vol. 12(1), p. tr.53-64, 2018.
- [22] Ali Tighnavard Balasbaneh, et al, A Systematic Literature Review of Internet of Things (IoT) Applications in Sustainable Construction Project Management, *MDPI*, vol. 18(5), no. 2614, 20 January 2026.