

Giải pháp tích hợp BIM 4D-EVM cho kiểm soát tiến độ xây dựng tại Việt Nam

Lê Văn Tuấn¹, Nguyễn Quốc Toàn^{1*}, Nguyễn Thành Trung², Nguyễn Đức Phong³

¹ Khoa Kinh tế và Quản lý xây dựng, trường Đại học Xây dựng Hà Nội

² Khoa Kỹ thuật môi trường, trường Đại học Xây dựng Hà Nội

³ Ban Quản lý dự án ODA, Đại học Đà Nẵng

TỪ KHOÁ

BIM 4D
Earned Value Management (EVM)
Kiểm soát tiến độ
Tích hợp BIM-EVM
Chuyển đổi số xây dựng

TÓM TẮT

Việc kiểm soát tiến độ thi công tại Việt Nam đang đối mặt với nhiều thách thức do dữ liệu phân mảnh, quy trình quản lý truyền thống và thiếu tích hợp giữa thông tin thiết kế - thi công - chi phí. BIM 4D và Earned Value Management (EVM) là hai công cụ hiện đại hỗ trợ trực quan hóa trình tự thi công và đánh giá hiệu suất tiến độ - chi phí bằng các chỉ số định lượng. Tuy nhiên, cả hai phương pháp vẫn chủ yếu được triển khai riêng rẽ và chưa hình thành mô hình tích hợp tại Việt Nam. Nghiên cứu này hệ thống hóa cơ sở lý luận về BIM 4D và EVM, phân tích thực trạng áp dụng tại Việt Nam và nhận diện các hạn chế về dữ liệu, công nghệ, nhân lực và thể chế. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất hệ thống giải pháp kỹ thuật - công nghệ - tổ chức nhằm tích hợp BIM 4D và EVM trong kiểm soát tiến độ, bao gồm chuẩn hóa mã công việc (WBS), quy trình liên kết mô hình - tiến độ - chi phí, xây dựng môi trường dữ liệu chung (CDE), ứng dụng IoT/UAV/scan 3D trong cập nhật tiến độ và hoàn thiện hành lang pháp lý. Kết quả nghiên cứu góp phần cung cấp định hướng khả thi cho quản lý tiến độ dựa trên dữ liệu, phù hợp với bối cảnh chuyển đổi số ngành xây dựng Việt Nam.

KEYWORDS

BIM 4D
Earned Value Management
Schedule control
BIM-EVM integration
Digital construction

ABSTRACT

Construction schedule control in Vietnam remains challenged by fragmented data, traditional management practices, and the lack of integration between design, execution, and cost information. Building Information Modeling (BIM) 4D and Earned Value Management (EVM) are two advanced tools that respectively support visualizing construction sequences and quantitatively evaluating schedule-cost performance. However, these methods are mostly implemented independently and an integrated BIM-EVM framework has not yet been established in Vietnam. This study synthesizes the theoretical foundations of BIM 4D and EVM, analyzes their current adoption in Vietnam, and identifies key barriers related to data standardization, technology capability, human resources, and regulatory frameworks. Based on these findings, the study proposes a set of technical, technological, and organizational solutions for integrating BIM 4D and EVM in schedule control, including standardized WBS coding systems, unified BIM-schedule-cost workflows, Common Data Environment (CDE) deployment, application of IoT/UAV/3D scanning for real-time progress data, and improvements to the legal and institutional environment. The results provide a practical and feasible direction for data-driven construction schedule management in the context of Vietnam's digital transformation.

1. Giới thiệu

Trong bối cảnh ngành xây dựng toàn cầu đang chuyển dịch mạnh mẽ sang mô hình quản lý dự án dựa trên dữ liệu và công nghệ số, việc kiểm soát tiến độ thi công ngày càng trở thành một thách thức lớn đối với các quốc gia đang phát triển, trong đó có Việt Nam. Theo R. Sacks và cộng sự (2018), hơn 70 % các dự án xây dựng trên thế giới bị chậm tiến độ và vượt chi phí, chủ yếu do thiếu minh bạch dữ liệu, phối hợp kém và phương pháp quản lý truyền thống lạc hậu [1]. Các mô hình lập tiến độ cổ điển (Gantt, CPM/PERT, Primavera, MS Project) dù phổ biến nhưng không đủ khả năng tích hợp đồng thời

thông tin không gian - thời gian - khối lượng - chi phí, dẫn đến hạn chế trong việc dự báo rủi ro và ra quyết định nhanh.

Trong khi đó, mô hình thông tin công trình (Building Information Modeling - BIM) đã chứng minh được vai trò quan trọng trong việc nâng cao hiệu quả thiết kế, thi công và vận hành công trình. Đặc biệt, BIM 4D - mô hình BIM tích hợp thông tin thời gian - cho phép mô phỏng trực quan trình tự thi công, kiểm tra xung đột, tối ưu hóa nguồn lực và dự báo tiến độ chính xác hơn [2, 3]. Song song với đó, phương pháp quản lý giá trị đạt được (Earned Value Management - EVM) từ lâu đã được coi là công cụ cốt lõi trong kiểm soát tiến độ và chi phí, dựa trên các chỉ số định lượng như EV, PV,

*Liên hệ tác giả: toannq@huce.edu.vn

Nhận ngày 27/11/2025, sửa xong ngày 26/12/2025, chấp nhận đăng ngày 29/12/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.01.2026.1193>

AC, CPI và SPI [4]. Nhiều nghiên cứu chỉ ra EVM giúp phát hiện sớm sai lệch tiến độ và chi phí, đồng thời tăng khả năng dự báo kết quả hoàn thành dự án [5].

Tuy nhiên, các nghiên cứu quốc tế gần đây chỉ ra rằng BIM 4D và EVM dù mạnh mẽ nhưng vẫn tồn tại hạn chế nếu áp dụng riêng rẽ. BIM 4D thiên về trực quan hóa nhưng chưa có cơ chế đo lường hiệu suất tiến độ. Ngược lại, EVM dựa trên số liệu nhưng thiếu khả năng biểu diễn không gian-thời gian, khiến việc phân tích nguyên nhân chậm trễ trở nên khó khăn [6]. Sự kết hợp BIM 4D và EVM (BIM-EVM Integration) được đề xuất như một hướng tiếp cận tối ưu, trong đó mô hình BIM đóng vai trò nền tảng dữ liệu và môi trường trực quan, còn EVM cung cấp các chỉ số định lượng giúp đánh giá hiệu suất thi công theo thời gian thực [7, 8].

Mặc dù các mô hình tích hợp BIM-EVM đã được thử nghiệm ở một số quốc gia (Nhật Bản, Hàn Quốc, Singapore), nhưng các nghiên cứu hiện có vẫn chỉ ra một số khoảng trống rõ rệt:

- (i) Quy trình tích hợp chưa thống nhất và khó áp dụng đại trà;
- (ii) Yêu cầu chuẩn hóa dữ liệu giữa BIM-tiến độ-chi phí chưa được giải quyết triệt để;
- (iii) Thiếu nghiên cứu về tính khả thi của tích hợp BIM-EVM trong bối cảnh các quốc gia đang phát triển, nơi năng lực công nghệ còn hạn chế.

Tại Việt Nam, mặc dù Chính phủ đã ban hành Quyết định 258/QĐ-TTg (2023) và Nghị định 175/2024/NĐ-CP nhằm đẩy mạnh áp dụng BIM trong các dự án nhóm A, nhóm B hạng mục cấp I, II, song việc triển khai BIM mới dừng lại ở mô hình 3D, phối hợp thiết kế và mô phỏng 4D ở mức hạn chế [9]. EVM gần như chưa được áp dụng hệ thống, ngoại trừ một số dự án ODA yêu cầu báo cáo theo chuẩn quốc tế. Hiện chưa có nghiên cứu trong nước nào đề xuất một mô hình kỹ thuật - công nghệ tổng thể cho việc tích hợp BIM 4D và EVM trong kiểm soát tiến độ, đặc biệt đối với dự án xây dựng quy mô lớn.

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 nghiên cứu sau:

- Làm thế nào để tích hợp dữ liệu BIM 4D và EVM một cách đồng bộ trong kiểm soát tiến độ dự án xây dựng tại Việt Nam?
- Những yêu cầu kỹ thuật và công nghệ nào là cốt lõi để triển khai tích hợp BIM-EVM trong thực tiễn?
- Mô hình tích hợp BIM-EVM cần điều chỉnh thế nào để phù hợp với điều kiện nguồn lực, công nghệ và thể chế tại Việt Nam?

Trả lời những câu hỏi này, bài báo hướng tới mục tiêu:

- (1) Hệ thống hóa cơ sở lý luận về BIM 4D, EVM và mô hình tích hợp BIM-EVM;
- (2) Phân tích thực trạng ứng dụng hai công cụ tại Việt Nam, chỉ ra các hạn chế và khoảng trống;
- (3) Đề xuất hệ thống giải pháp kỹ thuật-công nghệ khả thi nhằm triển khai mô hình BIM 4D kết hợp EVM trong kiểm soát tiến độ dự án xây dựng tại Việt Nam.

Để đạt được mục tiêu trên, nghiên cứu sử dụng phương pháp tổng quan tài liệu quốc tế (literature review), kết hợp phân tích thực tiễn các dự án tiêu biểu tại Việt Nam (Metro số 1, cao tốc Bắc - Nam,

Nhiệt điện Vũng Áng II...) và xây dựng khung giải pháp tích hợp theo tiếp cận công nghệ-kỹ thuật-tổ chức. Kết quả nghiên cứu kỳ vọng đóng góp cơ sở khoa học và thực tiễn để nâng cao hiệu quả ứng dụng BIM trong quản lý tiến độ, đồng thời hỗ trợ xây dựng các hướng dẫn kỹ thuật trong tương lai.

2. Cơ sở lý luận về BIM 4D và EVM

2.1. Lý thuyết về mô hình BIM và BIM 4D

2.1.1. Khái niệm và sự phát triển của BIM

Building Information Modeling (BIM) được hiểu là phương pháp tiếp cận toàn diện trong thiết kế, thi công và vận hành công trình dựa trên một mô hình thông tin số hóa chứa đựng toàn bộ dữ liệu liên quan đến hình học, vật liệu, cấu kiện, chi phí và tiến độ [1, 2]. Theo Eastman et al. (2011), BIM không chỉ là mô hình 3D mô phỏng công trình, mà còn là “một hệ cơ sở dữ liệu kỹ thuật số tích hợp” phục vụ cho việc ra quyết định trong suốt vòng đời dự án [2]. Điểm cốt lõi của BIM nằm ở khả năng liên kết và chia sẻ dữ liệu theo thời gian thực giữa các bên liên quan, qua đó giảm sai sót, nâng cao hiệu quả phối hợp và tối ưu hóa hiệu suất thi công.

Sự phát triển của BIM được xem như quá trình chuyển đổi từ mô hình hóa hình học truyền thống sang mô hình tích hợp đa chiều (nD modeling). Giai đoạn đầu, BIM xuất hiện dưới dạng mô hình 3D nhằm cải thiện chất lượng thiết kế và phát hiện xung đột giữa các bộ môn (architecture-structure-MEP). Tuy nhiên, theo thời gian, BIM đã mở rộng phạm vi ứng dụng sang nhiều chiều thông tin hơn: BIM 4D tích hợp yếu tố thời gian để mô phỏng trình tự thi công; BIM 5D liên kết chi phí nhằm hỗ trợ bóc tách khối lượng và dự toán; BIM 6D và 7D phục vụ phân tích năng lượng và quản lý vận hành công trình [3]. Cách tiếp cận đa chiều này phản ánh xu thế chuyển đổi số của ngành xây dựng, trong đó BIM trở thành nền tảng cho các hệ thống quản lý thông minh, đặc biệt trong các dự án phức tạp.

Quá trình phát triển BIM trên thế giới gắn liền với sự thúc đẩy của các tổ chức tiêu chuẩn hóa và chính phủ nhiều quốc gia. Tại châu Âu, Nhóm công tác BIM (European BIM Task Group) đã đề xuất khung hướng dẫn triển khai BIM trong các dự án công từ năm 2017, coi BIM là công cụ bắt buộc trong quản lý vòng đời công trình [8]. Tại Anh, chiến lược “BIM Level 2” được áp dụng từ năm 2016, yêu cầu tất cả dự án sử dụng ngân sách nhà nước triển khai BIM 3D tích hợp dữ liệu [4]. Ở Mỹ, Viện Khoa học Công trình Quốc gia (NIBS) đã ban hành bộ tiêu chuẩn NBIMS-US nhằm thống nhất ngôn ngữ và quy trình trao đổi dữ liệu BIM [3]. Những nỗ lực này cho thấy BIM đã phát triển từ một công cụ thiết kế đơn thuần trở thành một hệ thống quản lý dữ liệu trung tâm của toàn bộ dự án.

Trong thập kỷ gần đây, BIM tiếp tục phát triển mạnh mẽ nhờ sự kết hợp với Internet vạn vật (IoT), trí tuệ nhân tạo (AI), điện toán đám mây và các công nghệ thu thập dữ liệu thực địa như drone và quét laser 3D. Xu hướng “BIM + công nghệ số” đang mở ra khả năng hình thành mô hình sinh đôi số (Digital Twin), cho phép phản ánh trạng thái thực tế của công trình theo thời gian thực [5]. Đây được

xem là bước phát triển mới trong quản lý dự án, trong đó BIM đóng vai trò là nền tảng tích hợp dữ liệu trung tâm. Chính điều này tạo tiền đề quan trọng cho việc kết hợp BIM 4D với các phương pháp kiểm soát tiến độ hiện đại như EVM nhằm nâng cao tính minh bạch, khả năng dự báo và hiệu quả điều hành thi công.

2.1.2. BIM 4D trong quản lý tiến độ

BIM 4D là giai đoạn phát triển quan trọng của mô hình thông tin công trình, trong đó dữ liệu thời gian (schedule) được tích hợp trực tiếp vào mô hình BIM 3D nhằm mô phỏng trình tự và diễn tiến thi công theo dòng thời gian [6]. Theo Hartmann và Fischer (2012), BIM 4D cho phép thể hiện mối quan hệ phức tạp giữa tiến độ, không gian thi công và nguồn lực, giúp nhà quản lý dự án dễ dàng đánh giá độ khả thi của lịch trình và dự báo rủi ro trước khi triển khai [6]. Việc bổ sung chiều thời gian biến mô hình BIM từ một bản thiết kế tĩnh thành công cụ mô phỏng động, hỗ trợ kiểm soát tiến độ ở mức chi tiết hơn so với các phương pháp truyền thống.

Một trong những lợi ích nổi bật nhất của BIM 4D là khả năng trực quan hóa tiến độ thi công. Thay vì chỉ dựa vào biểu đồ Gantt hoặc sơ đồ mạng CPM, BIM 4D cho phép người dùng “nhìn thấy” toàn bộ quá trình thi công dưới dạng mô phỏng động. Điều này hỗ trợ các bên liên quan - chủ đầu tư, tư vấn, nhà thầu - hiểu rõ các mốc tiến độ, thứ tự thi công và xung đột không gian tiềm ẩn [7]. Các nghiên cứu đã chỉ ra BIM 4D giúp cải thiện đáng kể khả năng phối hợp giữa các bộ môn, giảm sai sót trong thiết kế biện pháp thi công và hạn chế xung đột tại công trường [3, 7].

Ngoài trực quan hóa, BIM 4D còn đóng vai trò quan trọng trong phát hiện và xử lý xung đột thời gian - không gian (time-space conflict). Khi lập tiến độ truyền thống, các xung đột do chồng lấn nguồn lực hoặc khó khăn trong tổ chức mặt bằng thường khó nhận diện. Tuy nhiên, BIM 4D cho phép mô phỏng không gian thi công của từng hạng mục theo từng giai đoạn, giúp phát hiện sớm các điểm xung đột giữa nhóm thi công, thiết bị hoặc vật liệu [8]. Theo nghiên cứu của Akinade et al. (2020), áp dụng BIM 4D có thể giảm tới 30-40 % xung đột thi công và tiết kiệm đáng kể thời gian lập tiến độ [7].

BIM 4D cũng hỗ trợ tối ưu hóa nguồn lực và biện pháp thi công. Thông qua mô phỏng các phương án tiến độ, các nhà quản lý có thể đánh giá mức độ sử dụng nhân lực, thiết bị và vật tư theo thời gian, từ đó lựa chọn phương án thi công tối ưu về tiến độ và chi phí. Một số mô hình tiên tiến còn kết hợp BIM 4D với phân tích năng suất của thiết bị hoặc dòng chảy công việc (workflow), giúp loại bỏ điểm nghẽn (bottlenecks) và nâng cao hiệu quả thi công [9].

Một khả năng nổi bật khác của BIM 4D là tăng cường khả năng dự báo (forecasting). Khi dữ liệu hiện trường được cập nhật liên tục vào mô hình, BIM 4D có thể phản ánh sự chậm trễ, thay đổi biện pháp hoặc điều kiện thi công bất lợi, từ đó hỗ trợ các nhà quản lý đánh giá lại đường găng và điều chỉnh lịch trình tổng thể [10]. Đây là nền tảng quan trọng để kết hợp với phương pháp Earned Value Management

(EVM), vốn đòi hỏi dữ liệu tiến độ và khối lượng hoàn thành chính xác để tính toán các chỉ số hiệu suất như SPI và CPI.

Tuy nhiên, việc triển khai BIM 4D vẫn gặp nhiều thách thức. Một số hạn chế được ghi nhận trong nghiên cứu thực nghiệm bao gồm: yêu cầu dữ liệu đầu vào lớn và chất lượng cao, sự thiếu chuẩn hóa trong mã công việc và cấu trúc dữ liệu (WBS), chi phí phần mềm/nhân lực cao và khó khăn trong liên thông với các phần mềm lập tiến độ như Primavera hoặc MSP [8]. Dù vậy, xu hướng tích hợp BIM 4D vào quản lý tiến độ là tất yếu trong bối cảnh chuyển đổi số của ngành xây dựng, đặc biệt khi công nghệ số (AI, IoT, UAV, quét 3D) cho phép tự động hóa việc cập nhật tiến độ thực tế, nâng cao hiệu suất vận hành mô hình BIM 4D trong thực tiễn.

2.2. Lý thuyết về EVM (Earned Value Management)

2.2.1. Các khái niệm cơ bản của EVM

Earned Value Management (EVM) là một phương pháp quản lý tiến độ và chi phí mang tính tích hợp, được phát triển nhằm đánh giá hiệu quả thực hiện dự án dựa trên mối quan hệ giữa khối lượng hoàn thành, chi phí thực tế và kế hoạch ban đầu [9], [10]. Không giống các phương pháp truyền thống chỉ theo dõi tiến độ dựa trên thời gian hoặc phần trăm hoàn thành mang tính chủ quan, EVM cung cấp một khung phân tích định lượng cho phép nhà quản lý xác định chính xác tình trạng của dự án tại bất kỳ thời điểm nào. Phương pháp này được áp dụng rộng rãi trong các dự án xây dựng, năng lượng, quốc phòng và hạ tầng trên thế giới, đặc biệt tại Mỹ, Anh và các tổ chức tài trợ quốc tế.

Cốt lõi của EVM nằm ở giá trị cơ bản: Giá trị kế hoạch (Planned Value - PV), Giá trị đạt được (Earned Value - EV) và Chi phí thực tế (Actual Cost - AC). Planned Value (PV) thể hiện giá trị công việc dự kiến hoàn thành tại một mốc thời gian cụ thể, được xác định từ đường cơ sở tiến độ (schedule baseline) kết hợp với ngân sách phân bổ (budget allocation). Đây là cơ sở để so sánh tiến độ thực hiện với kế hoạch. Earned Value (EV) là giá trị công việc đã thực sự hoàn thành tại thời điểm báo cáo, được tính theo tỷ lệ hoặc khối lượng công việc hoàn thành nhân với ngân sách của công việc đó. EV là đại lượng quan trọng nhất trong EVM, vì nó phản ánh “sản lượng thực” (actual accomplishment) của dự án. Actual Cost (AC) biểu thị chi phí thực đã phát sinh để thực hiện công việc cho đến thời điểm báo cáo [9].

Từ ba đại lượng nền tảng này, các chỉ số đánh giá hiệu suất (performance indices) được tính toán để phân tích tình trạng tiến độ và chi phí của dự án. Sai lệch tiến độ (Schedule Variance - SV = EV - PV) phản ánh mức độ chậm hoặc vượt tiến độ, với SV < 0 cho thấy dự án đang chậm. Sai lệch chi phí (Cost Variance - CV = EV - AC) thể hiện việc tiết kiệm hay vượt chi phí, với CV < 0 nghĩa là chi phí thực tế vượt giá trị đạt được. Hai chỉ số quan trọng khác là Hiệu suất tiến độ (Schedule Performance Index - SPI = EV / PV) và Hiệu suất chi phí (Cost Performance Index - CPI = EV / AC). SPI < 1 cho thấy tiến độ đang chậm, trong khi CPI < 1 phản ánh tình trạng vượt chi phí. Các

chỉ số này đóng vai trò là thước đo khách quan giúp nhà quản lý dự án đánh giá hiệu suất thi công theo thời gian thực [10, 11].

Ngoài việc phân tích hiện trạng, EVM còn hỗ trợ dự báo kết quả hoàn thành thông qua các chỉ số như Ước tính chi phí hoàn thành (Estimate at Completion - EAC) và Ước tính chi phí còn lại (Estimate to Complete - ETC). Các chỉ số dự báo này giúp nhà quản lý ước lượng tổng chi phí dự án khi hoàn thành dựa trên hiệu suất hiện tại (CPI, SPI), từ đó đề xuất các biện pháp điều chỉnh kịp thời. Theo PMI (2019), đưa dự báo EAC vào quản lý thực tế giúp tăng tính chủ động trong kiểm soát chi phí, đặc biệt đối với các dự án có chu kỳ thi công dài hoặc thay đổi biện pháp thi công [9].

Một đặc điểm quan trọng của EVM là tính tích hợp giữa tiến độ và chi phí, giúp nhà quản lý có cái nhìn tổng thể về “giá trị đạt được” thay vì theo dõi riêng rẽ từng yếu tố. Fleming và Koppelman (2016) nhấn mạnh rằng EVM là phương pháp duy nhất kết nối tiến độ và chi phí vào một hệ thống đánh giá thống nhất, giảm tình trạng “ảo tưởng tiến độ” (schedule illusion), khi phần trăm hoàn thành không phản ánh giá trị thực của công việc [10]. Trong bối cảnh các dự án xây dựng thường phát sinh biến động về khối lượng và điều kiện thi công, EVM được xem là công cụ đặc biệt hữu hiệu để duy trì tính minh bạch và kiểm soát chặt chẽ nguồn lực.

Tuy mang lại nhiều lợi ích, EVM vẫn tồn tại một số hạn chế nếu áp dụng độc lập, đặc biệt trong môi trường thi công phức tạp. Cụ thể, EVM dựa chủ yếu vào số liệu khối lượng hoàn thành, do đó không thể phản ánh yếu tố không gian và ngữ cảnh thi công. Vì vậy, phương pháp này gặp khó khăn trong việc xác định nguyên nhân chậm trễ hoặc phân tích trực quan các khu vực ảnh hưởng. Đây chính là lý do khiến nhiều nghiên cứu đề xuất tích hợp EVM với BIM 4D nhằm tạo ra môi trường phân tích toàn diện, kết hợp giữa trực quan hóa và đánh giá định lượng [11, 12].

2.2.2. Ưu điểm và hạn chế của EVM

Earned Value Management (EVM) được xem là một trong những phương pháp quản lý tiến độ và chi phí hiệu quả nhất hiện nay do khả năng tích hợp thông tin tiến độ, khối lượng và tài chính vào một hệ thống phân tích thống nhất [9]. Nhờ đặc tính định lượng và khả năng phản ánh chính xác “giá trị đạt được” của dự án tại từng thời điểm, EVM đã được áp dụng rộng rãi trong nhiều ngành công nghiệp, đặc biệt là quốc phòng, năng lượng, giao thông và xây dựng. Các nghiên cứu quốc tế ghi nhận EVM giúp cải thiện đáng kể năng lực kiểm soát tiến độ - chi phí, tăng tính minh bạch thông tin và hỗ trợ ra quyết định kịp thời [10, 11].

Một trong những ưu điểm nổi bật của EVM là khả năng đo lường hiệu suất tiến độ và chi phí bằng các chỉ số định lượng. Không giống các phương pháp truyền thống chỉ phản ánh phần trăm hoàn thành mang tính cảm tính hoặc dựa vào khối lượng báo cáo chủ quan, EVM sử dụng các chỉ số như SPI (Schedule Performance Index) và CPI (Cost Performance Index) để đánh giá tiến độ và chi phí theo thời gian thực. Những chỉ số này giúp nhận biết ngay lập tức tình trạng chậm

tiến độ hoặc vượt chi phí, đồng thời cung cấp cơ sở dữ liệu cho việc xây dựng các biện pháp điều chỉnh phù hợp [9].

Ưu điểm thứ hai là khả năng dự báo (forecasting), một chức năng quan trọng mà các phương pháp kiểm soát truyền thống thường thiếu. Các chỉ số như EAC (Estimate at Completion) và ETC (Estimate to Complete) cho phép dự đoán chi phí và thời gian hoàn thành dự án dựa trên hiệu suất hiện tại. Theo Fleming và Koppelman (2016), các dự án vận dụng EVM có khả năng dự báo vượt chi phí với độ chính xác cao hơn 30-40 % so với phương pháp truyền thống [10]. Điều này đặc biệt hữu ích đối với các dự án xây dựng quy mô lớn, thường bị ảnh hưởng bởi biến động nguồn lực, thay đổi thiết kế hoặc điều kiện thi công khó lường.

EVM cũng mang lại tính minh bạch và trách nhiệm giải trình cao. Vì tất cả dữ liệu đều được định lượng và so sánh trực tiếp với đường cơ sở ban đầu, EVM giúp giảm thiểu gian lận trong báo cáo tiến độ, đồng thời buộc các bên tham gia phải tuân thủ kế hoạch đã cam kết. Trong các dự án ODA, EVM thường được xem là yêu cầu bắt buộc nhằm đảm bảo tính minh bạch trong sử dụng vốn [20]. Ngoài ra, EVM còn là công cụ hữu hiệu trong truyền thông dự án, giúp chủ đầu tư, nhà thầu và đơn vị giám sát hiểu rõ tình trạng thực hiện thông qua các chỉ số đơn giản và dễ diễn giải.

Tuy nhiên, EVM cũng tồn tại những hạn chế nhất định, đặc biệt khi áp dụng trong các dự án xây dựng tại các quốc gia đang phát triển. Hạn chế lớn nhất là sự phụ thuộc vào tính chính xác của dữ liệu đầu vào. EV chỉ phản ánh đúng hiệu suất nếu khối lượng hoàn thành được đo lường chính xác, trong khi tại nhiều công trường xây dựng, dữ liệu hiện trường thường không được cập nhật đầy đủ hoặc thiếu minh bạch. Ngoài ra, EVM không phản ánh yếu tố không gian và bối cảnh thi công, khiến các chỉ số SPI hoặc CPI khó mô tả chính xác nguyên nhân gây ra chậm trễ hoặc vượt chi phí [12].

Bên cạnh đó, EVM đòi hỏi đường cơ sở tiến độ - chi phí phải được thiết lập chi tiết và mang tính ổn định. Điều này gây khó khăn trong các dự án có sự thay đổi thiết kế thường xuyên hoặc điều kiện thi công biến động. EVM cũng yêu cầu các tổ chức phải có hệ thống dữ liệu và quy trình quản lý nghiêm ngặt, vốn là thách thức đối với các doanh nghiệp xây dựng vừa và nhỏ ở Việt Nam, nơi hệ thống quản trị chưa hoàn thiện và năng lực phân tích còn hạn chế [17].

Cuối cùng, hạn chế mang tính hệ thống của EVM là khó tích hợp với các công cụ trực quan hóa truyền thống, khiến việc trình bày chỉ số SPI, CPI hoặc đường cong S trở nên khô cứng và khó hiểu đối với nhiều bên liên quan. Chính điều này đã dẫn đến xu hướng tích hợp EVM với các công nghệ trực quan hóa hiện đại như BIM 4D để khắc phục điểm yếu cố hữu - kết nối dữ liệu định lượng với hình ảnh trực quan của quá trình thi công [11, 12].

2.3. Cơ sở lý thuyết của mô hình tích hợp BIM-EVM

Việc tích hợp BIM 4D và Earned Value Management (EVM) được hình thành trên nền tảng kết hợp hai cách tiếp cận vốn bổ trợ lẫn nhau: (i) BIM cung cấp môi trường mô hình hóa trực quan và cơ

sở dữ liệu kỹ thuật số, trong khi (ii) EVM cung cấp hệ thống đánh giá hiệu suất tiến độ - chi phí thông qua các chỉ số định lượng. Nhiều nghiên cứu quốc tế đã chỉ ra rằng sự tích hợp này là xu hướng tất yếu nhằm nâng cao hiệu quả quản lý dự án trong bối cảnh công trình ngày càng phức tạp và nhu cầu minh bạch dữ liệu ngày càng cao [11, 12].

Cơ sở lý thuyết thứ nhất của mô hình tích hợp là nguyên lý dữ liệu thống nhất (Unified Data Principle). Theo đó, thông tin tiến độ (schedule), chi phí (cost), khối lượng (quantity) và hình học (geometry) cần được liên kết trong một hệ cơ sở dữ liệu chung. BIM, với khả năng chứa đựng thông tin đa chiều theo tiêu chuẩn IFC, đóng vai trò là “nguồn dữ liệu duy nhất” (single source of truth) cho dự án [3]. Khi đó, mỗi phần tử BIM được gán mã công việc (WBS code) sẽ đóng vai trò như một “đối tượng dữ liệu” có thể được sử dụng để tính toán EV, PV và AC khi liên thông với hệ thống EVM [21].

Cơ sở lý thuyết thứ hai liên quan đến khả năng mô phỏng thời gian - không gian (4D Simulation Theory). BIM 4D cho phép mô phỏng trình tự thi công theo thời gian thực, thể hiện trực quan sự thay đổi trạng thái của các phần tử công trình qua từng giai đoạn. Khi mô hình BIM 4D được liên kết với dữ liệu EV/PV/AC, việc phân tích tiến độ không chỉ dừng lại ở biểu đồ hay bảng số liệu mà được hiển thị trực quan trên mô hình. Điều này phù hợp với quan điểm của Hartmann (2012), cho rằng trực quan hóa là công cụ quan trọng giúp “giảm khoảng cách giữa dữ liệu và nhận thức của nhà quản lý” [6].

Cơ sở lý thuyết thứ ba đề cập đến nguyên lý đo lường giá trị đạt được theo từng phần tử (Object-Based Earned Value). Truyền thống, EV thường được tính theo công tác hoặc hạng mục thi công (activity-based EV). Tuy nhiên, với BIM, EV có thể được phân bổ và tính toán ở mức đối tượng (object level) dựa trên khối lượng hoặc tỷ lệ hoàn thành của từng phần tử. Kim et al. (2013) đã chứng minh rằng cách tiếp cận này giúp tăng độ chính xác của EV, giảm sự phụ thuộc vào đánh giá chủ quan, đồng thời tạo điều kiện cho tự động hóa quá trình tính toán EV [11].

Cơ sở lý thuyết thứ tư xuất phát từ khái niệm tích hợp tiến độ - chi phí (Schedule-Cost Integration). EVM vốn được thiết kế để tích hợp tiến độ và chi phí, nhưng thiếu khả năng mô tả không gian. Khi kết hợp với BIM 4D, phương pháp này được bổ sung chiều không gian, giúp nhà quản lý vừa đánh giá tiến độ theo SPI, vừa quan sát vị trí thi công bị chậm trễ trên mô hình trực quan. Đây là minh chứng cho quan điểm của Marzouk (2014), khi tác giả nhấn mạnh rằng kết hợp BIM và EVM sẽ “nâng cao khả năng giải thích nguyên nhân tiến độ bị lệch so với kế hoạch” [12].

Cuối cùng, mô hình tích hợp dựa trên nguyên lý quản lý vòng đời dự án (Lifecycle Information Management). BIM, với vai trò là nền tảng dữ liệu xuyên suốt vòng đời công trình, giúp duy trì tính nhất quán của thông tin từ giai đoạn thiết kế đến thi công và vận hành. Khi EVM được triển khai dựa trên BIM, toàn bộ dữ liệu tiến độ - chi phí đều được ghi nhận và phản ánh trong một hệ thống thống nhất, tạo tiền đề cho việc phát triển mô hình sinh đôi số (Digital Twin) trong tương lai [5]. Điều này mở rộng phạm vi của EVM từ công cụ kiểm

soát tiến độ thuần túy sang công cụ dự báo, mô phỏng và đánh giá tổng hợp dựa trên dữ liệu thực.

Tổng hợp các cơ sở lý thuyết trên cho thấy rằng việc tích hợp BIM 4D và EVM 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 định lượng. 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.

Dù có nhiều nghiên cứu quốc tế, nhưng tồn tại các khoảng trống sau:

- Thiếu mô hình tích hợp phù hợp với bối cảnh nguồn lực hạn chế (như Việt Nam).
- Thiếu hướng dẫn kỹ thuật chi tiết về chuẩn hóa dữ liệu BIM-EVM.
- Ít nghiên cứu xem xét vai trò của công nghệ IoT, AI, scan 3D trong cập nhật EV tự động.
- Thiếu khảo sát thực nghiệm các dự án thực tế tại Việt Nam - hiện mới chủ yếu dừng ở mô phỏng hoặc thử nghiệm cục bộ.

Vì vậy, chưa có nghiên cứu nào tại Việt Nam đề xuất một bộ giải pháp kỹ thuật - công nghệ - tổ chức cho tích hợp BIM 4D kết hợp EVM trong quản lý tiến độ dự án xây dựng.

3. Thực trạng ứng dụng BIM 4D và EVM trong quản lý tiến độ tại Việt Nam

Trong những năm gần đây, Chính phủ Việt Nam đã ban hành nhiều chính sách quan trọng nhằm thúc đẩy chuyển đổi số trong ngành xây dựng, tạo nền tảng pháp lý cho việc ứng dụng các công nghệ như BIM, IoT và các hệ thống quản lý dự án hiện đại. Quyết định 258/QĐ-TTg (2023) 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 [14]. Nghị định 175/2024/NĐ-CP tiếp tục cụ thể hóa yêu cầu áp dụng BIM trong thiết kế, thẩm định và thi công, đồng thời đặt nền móng xây dựng cơ sở dữ liệu BIM quốc gia, tạo điều kiện cho các mô hình quản lý tiến độ dựa trên dữ liệu, bao gồm BIM 4D-EVM [22].

Luật Xây dựng 2014 (sửa đổi 2020) cũng yêu cầu tăng cường ứng dụng CNTT trong quản lý tiến độ, khối lượng và chi phí, nhưng chưa đề cập trực tiếp đến EVM, dẫn đến việc áp dụng EVM vẫn mang tính tự phát. 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 [17, 18].

Tuy nhiên, hệ thống pháp lý hiện hành vẫn thiếu các hướng dẫn cụ thể cho tích hợp BIM-EVM, như tiêu chuẩn TCVN về EVM, chuẩn hóa WBS chung cho BIM-tiến độ-chi phí, quy định liên thông dữ liệu với MS Project/Primavera/ERP và công nhận dữ liệu BIM-EVM trong hồ sơ nghiệm thu. Việc hoàn thiện các quy định này là điều kiện tiên quyết để triển khai mô hình quản lý tiến độ dựa trên dữ liệu trong thực tiễn.

3.1. Thực trạng ứng dụng BIM 4D tại Việt Nam

Ứng dụng BIM tại Việt Nam đã có những bước tiến đáng kể trong giai đoạn 2016-2025, đặc biệt sau khi Chính phủ ban hành Quyết định 2500/QĐ-TTg (2016) về thí điểm BIM và Quyết định 258/QĐ-TTg (2023) quy định lộ trình áp dụng bắt buộc. Tuy nhiên, BIM 4D - với chức năng mô phỏng tiến độ thi công theo thời gian - vẫn chủ yếu 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 (2023), khoảng 40-50 dự án đã áp dụng BIM ở nhiều mức độ, nhưng chỉ dưới 20 % dự án có sử dụng BIM 4D để hỗ trợ lập và kiểm soát tiến độ [17].

Một trong những ví dụ điển hình là Tuyến Metro số 1 TP. Hồ Chí Minh, nơi mô hình BIM được sử dụng trong phối hợp thiết kế, mô phỏng không gian hệ thống hầm - nhà ga và tích hợp GIS cho vận hành. Tuy nhiên, BIM 4D chỉ được áp dụng thí điểm tại một số hạng mục do sự không đồng nhất giữa các nhà thầu và hạn chế về chuẩn hóa dữ liệu [18]. Điều này phản ánh thực tế phổ biến tại Việt Nam: BIM thường được sử dụng mạnh ở giai đoạn thiết kế, nhưng ít được triển khai trong thi công, đặc biệt là chức năng 4D và 5D.

Tương tự, dự án Cao tốc Bắc - Nam giai đoạn 2 đã bắt đầu ứng dụng BIM để lập mô hình cầu, hầm và mặt cắt điển hình, đồng thời thử nghiệm mô phỏng 4D trong một số gói thầu nhằm hỗ trợ kiểm tra trình tự thi công và phát hiện xung đột biện pháp thi công [19]. Tuy vậy, việc ứng dụng BIM 4D trên toàn tuyến vẫn gặp khó khăn do sự phân tán trong năng lực của các nhà thầu, tính đa dạng của điều kiện địa hình và thiếu hướng dẫn thống nhất về mã công việc (WBS) để liên kết dữ liệu mô hình - tiến độ.

Trong lĩnh vực công trình dân dụng và công nghiệp, một số tổng thầu lớn như Coteccons, Ricons, Hòa Bình và Delta đã triển khai BIM 3D và một phần BIM 4D trong các dự án cao tầng và nhà máy. Các thử nghiệm BIM 4D tại Delta cho thấy khả năng giảm xung đột thi công khoảng 25 đến 30 % và rút ngắn thời gian lập tiến độ từ 15 đến 20 % nhờ mô phỏng trực quan [17]. Tuy vậy, phần lớn doanh nghiệp vừa và nhỏ vẫn chưa tiếp cận BIM 4D do hạn chế về chi phí phần mềm, hạ tầng số và đội ngũ kỹ sư có chuyên môn.

Các khảo sát thực nghiệm chỉ ra bốn nhóm hạn chế chính trong triển khai BIM 4D tại Việt Nam:

- Thiếu chuẩn hóa hệ thống mã công việc (WBS): Mỗi nhà thầu và tư vấn sử dụng hệ thống mã riêng, gây khó khăn trong việc gắn tiến độ vào mô hình BIM và liên thông dữ liệu giữa các phần mềm như Navisworks, Synchro, MSP hoặc Primavera.
- Hạn chế về năng lực nhân sự và đào tạo: Tỷ lệ kỹ sư thành thạo BIM 4D chỉ từ 5 đến 7 % tổng lao động kỹ thuật; đa phần mới chỉ sử dụng được BIM 3D ở mức cơ bản [17].
- Chi phí đầu tư ban đầu cao: Việc triển khai BIM 4D yêu cầu phần mềm bản quyền, máy tính cấu hình cao và xây dựng hệ thống dữ liệu, 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 phương pháp tích hợp BIM

4D với tiến độ hoặc yêu cầu về mức độ phát triển mô hình (LOD) phục vụ thi công.

Mặc dù tồn tại những hạn chế nêu trên, xu hướng ứng dụng BIM 4D trong kiểm soát tiến độ được dự báo sẽ tăng mạnh từ năm 2025 trở đi, nhờ sự bắt buộc của chính sách, sự phát triển của hạ tầng số và yêu cầu minh bạch trong đầu tư công. Cùng với sự phổ biến của công nghệ IoT, UAV, quét 3D và nền tảng dữ liệu chung (CDE), BIM 4D ngày càng có nhiều cơ hội để tích hợp với các mô hình phân tích hiệu suất như EVM nhằm tạo ra hệ thống kiểm soát tiến độ thông minh và toàn diện.

3.2. Thực trạng ứng dụng EVM trong quản lý tiến độ tại Việt Nam

Earned Value Management (EVM) là một trong những phương pháp kiểm soát tiến độ - chi phí tiên tiến, được áp dụng rộng rãi tại nhiều quốc gia có ngành xây dựng phát triển. Tuy vậy, tại Việt Nam, mức độ triển khai EVM vẫn còn hạn chế và chưa trở thành công cụ quản lý phổ biến trong các dự án xây dựng. Điều này được thể hiện rõ qua các khảo sát của Bộ Giao thông Vận tải (2022), Viện Kinh tế Xây dựng (2023), cùng thực tiễn triển khai trong các dự án ODA và dự án trọng điểm quốc gia [17, 20].

Một trong những nguyên nhân chính dẫn đến việc EVM chưa được áp dụng rộng rãi là thiếu hành lang pháp lý chính thức. Luật Xây dựng hiện hành và các nghị định hướng dẫn thi hành chưa có quy định cụ thể về yêu cầu sử dụng EVM trong quản lý tiến độ - chi phí, mà chỉ dừng lại ở yêu cầu chung về “giám sát tiến độ, khối lượng, chi phí theo kế hoạch” [16]. Do đó, việc áp dụng EVM chủ yếu phụ thuộc vào năng lực và nhận thức của chủ đầu tư hoặc yêu cầu từ các tổ chức tài trợ quốc tế. Điều này dẫn đến sự thiếu nhất quán trong phương pháp báo cáo và cách tính EV, PV, AC giữa các dự án.

EVM hiện được sử dụng phổ biến nhất trong các dự án ODA từ WB, ADB hoặc JICA, nơi phương pháp này được yêu cầu bắt buộc để đảm bảo minh bạch và kiểm soát chặt chẽ dòng vốn. Các dự án tiêu biểu như *cầu Nhật Tân, đường sắt đô thị Hà Nội, cao tốc Nội Bài - Lào Cai* đều phải lập báo cáo CPI/SPI định kỳ theo các mẫu chuẩn quốc tế [20]. Tuy nhiên, việc áp dụng này chỉ giới hạn ở một số nhà thầu và tư vấn có kinh nghiệm, trong khi phần lớn đơn vị trong nước chỉ coi EVM như yêu cầu báo cáo thay vì công cụ quản lý thực sự.

Trong lĩnh vực xây dựng dân dụng và công nghiệp, một số tổng thầu lớn (Vinaconex, Coteccons, Hòa Bình, Delta) đã bắt đầu ứng dụng EVM ở mức độ nhất định thông qua phần mềm Primavera P6 hoặc MS Project. Tuy nhiên, khảo sát của Viện Kinh tế Xây dựng (2023) cho thấy chỉ khoảng 10 đến 15 % dự án trong nước sử dụng EVM đúng quy trình, và hầu hết chỉ tính toán EV hoặc AC mà không thực hiện đầy đủ các phân tích dự báo như EAC hoặc ETC [17]. Điều này phản ánh thực tế rằng EVM thường bị xem nhẹ do thiếu sự tích hợp sâu với hệ thống kế toán, tiến độ và quản lý công trường.

Có ba nhóm rào cản chính khiến việc triển khai EVM gặp khó khăn:

(1) Rào cản về dữ liệu và quy trình

Hầu hết dữ liệu khối lượng hoàn thành tại công trường được thu thập thủ công, thiếu tính chính xác và không được cập nhật kịp thời.

Điều này trực tiếp làm giảm độ tin cậy của EV và AC, dẫn đến kết quả phân tích EVM không phản ánh đúng thực tế. Việc thiếu chuẩn hóa WBS cũng cản trở việc liên kết dữ liệu tiến độ - chi phí - khối lượng [17].

(2) Rào cản về năng lực và nhận thức

Tỷ lệ cán bộ quản lý dự án nắm vững phương pháp EVM còn thấp. Nhiều nhà thầu cho rằng EVM “phức tạp” và “khó triển khai” vì yêu cầu khắt khe về dữ liệu và quy trình. Theo Bộ GTVT (2022), chỉ khoảng 8-12 % nhân sự quản lý tiến độ có khả năng phân tích CPI/SPI một cách bài bản [20].

(3) Rào cản về công nghệ

Phần lớn các đơn vị sử dụng phần mềm tiến độ (MS Project, Primavera) nhưng không tích hợp với hệ thống kế toán hoặc mô hình BIM. Điều này khiến EV/PV/AC chỉ tồn tại trên bảng tính, không tạo được môi trường phân tích tương tác. Sự thiếu liên thông dữ liệu này là lý do chính khiến EVM khó áp dụng ở quy mô lớn.

Mặc dù vậy, một số tín hiệu tích cực đang xuất hiện. Việc triển khai BIM và các nền tảng dữ liệu dùng chung (CDE) theo Nghị định 175/2024 đang tạo điều kiện thuận lợi cho việc tích hợp dữ liệu tiến độ - chi phí trong tương lai. Bên cạnh đó, nhu cầu minh bạch hóa đầu tư công đang thúc đẩy các chủ đầu tư quan tâm nhiều hơn đến các phương pháp quản lý định lượng như EVM. Sự phát triển của công nghệ số - đặc biệt IoT, UAV và AI - cũng góp phần giải quyết hạn chế lớn nhất của EVM, đó là thiếu dữ liệu thực tế cập nhật.

Tổng hợp lại, có thể thấy rằng EVM tại Việt Nam mới ở giai đoạn khởi đầu và phân tán, chưa có sự áp dụng thống nhất trên phạm vi toàn ngành. Tuy nhiên, với sự thúc đẩy của khung pháp lý về BIM, chuyển đổi số và yêu cầu minh bạch vốn đầu tư, EVM được dự báo sẽ ngày càng có vai trò quan trọng hơn trong kiểm soát tiến độ, đặc biệt khi được tích hợp với BIM 4D để hình thành mô hình quản lý dự án dựa trên dữ liệu.

Tổng hợp các yếu tố trên cho thấy Việt Nam đã đạt được những bước đầu quan trọng trong thúc đẩy BIM, nhưng ứng dụng BIM 4D và đặc biệt EVM vẫn còn rất hạn chế. Chưa có dự án nào triển khai tích hợp BIM-EVM ở mức hệ thống, chủ yếu do thiếu chuẩn hóa dữ liệu, thiếu công nghệ tích hợp và khoảng trống pháp lý đối với EVM. Đây chính là cơ sở để nghiên cứu đề xuất mô hình và hệ thống giải pháp kỹ thuật-công nghệ phù hợp cho điều kiện Việt Nam.

4. Giải pháp kỹ thuật - công nghệ cho tích hợp BIM 4D và EVM

Việc tích hợp BIM 4D và EVM đòi hỏi một hệ thống giải pháp đa lớp, bao gồm chuẩn hóa dữ liệu kỹ thuật, hạ tầng công nghệ và cơ chế tổ chức - thể chế đồng bộ. Dựa trên tổng quan lý thuyết và thực trạng tại Việt Nam, nghiên cứu đề xuất bảy nhóm giải pháp trọng tâm dưới đây.

4.1. Giải pháp kỹ thuật

Việc tích hợp BIM 4D với Earned Value Management (EVM) đòi hỏi một nền tảng kỹ thuật vững chắc nhằm đảm bảo dữ liệu được liên kết chặt chẽ, nhất quán và có khả năng phân tích theo thời gian thực.

Đây là điều kiện tiên quyết để xây dựng mô hình quản lý tiến độ dựa trên dữ liệu, thay thế cách thức theo dõi truyền thống vốn rời rạc và thiếu tính tích hợp. Nghiên cứu đề xuất ba nhóm giải pháp kỹ thuật cốt lõi: (i) chuẩn hóa dữ liệu và hệ thống mã công việc; (ii) xây dựng quy trình tích hợp BIM-EVM; và (iii) thiết kế hệ thống chỉ số và báo cáo hỗ trợ kiểm soát tiến độ.

4.1.1. Chuẩn hóa hệ thống mã công việc (WBS) và cấu trúc dữ liệu liên kết

Một trong những rào cản lớn nhất trong triển khai mô hình BIM-EVM là sự thiếu thống nhất trong cách mã hóa công việc và khối lượng. Hiện nay phần lớn các dự án xây dựng tại Việt Nam sử dụng hệ thống mã công việc nội bộ của từng nhà thầu, thiếu tính chuẩn hóa và không liên thông với các phần mềm BIM hoặc phần mềm quản lý tiến độ [17]. Điều này gây khó khăn trong việc gắn tiến độ vào mô hình BIM 4D và tính toán EV theo từng hạng mục công việc.

Do đó, nghiên cứu đề xuất thiết lập hệ thống mã công việc (Work Breakdown Structure - WBS) chuẩn, được xây dựng dựa trên thông lệ quốc tế (PMBOK, ISO 21500) và quy chuẩn Việt Nam (định mức - đơn giá). Mỗi mã công việc cần được gán cho từng phần tử BIM và từng nhiệm vụ trong tiến độ, đảm bảo dữ liệu hình học, dữ liệu tiến độ và dữ liệu chi phí có thể liên thông tự động trên các nền tảng Revit-Navisworks-Synchro-Primavera.

Ngoài ra, việc sử dụng chuẩn trao đổi dữ liệu mở như Industry Foundation Classes (IFC 4.0) là rất cần thiết nhằm đảm bảo mô hình BIM có thể trao đổi dữ liệu với các hệ thống phân tích khác, bao gồm hệ thống tính EV và phần mềm lập tiến độ [3]. Kim et al. (2013) cũng chỉ ra rằng việc chuẩn hóa mã công việc ở mức đối tượng (object level) giúp tự động hóa tính toán EV và tăng độ chính xác của phân tích hiệu suất [11].

4.1.2. Xây dựng quy trình tích hợp BIM-EVM theo chu trình khép kín

Để mô hình tích hợp thực sự đi vào vận hành, cần thiết lập quy trình kỹ thuật rõ ràng, thống nhất giữa các bên tham gia dự án. Nghiên cứu đề xuất quy trình tích hợp gồm năm bước cơ bản:

- Thiết lập đường cơ sở tiến độ - chi phí (Baseline): Bao gồm lập schedule baseline theo phương pháp CPM và xác định ngân sách phân bổ theo từng công tác (Budget at Completion - BAC).
- Liên kết mô hình BIM với tiến độ (4D Linking): Gắn mã WBS vào từng phần tử BIM và liên kết với các nhiệm vụ trong tiến độ bằng công cụ Navisworks hoặc Synchro.
- Gán trọng số giá trị (Value Distribution): Xác định giá trị EV cho từng phần tử/hạng mục theo khối lượng hoặc đơn giá, tạo cơ sở cho tính toán EV tự động.
- Cập nhật dữ liệu thực tế (Actual Data Capture): Thu thập dữ liệu khối lượng hoàn thành và chi phí thực tế (AC) từ công trường thông qua báo cáo, IoT hoặc UAV và nhập vào hệ thống.
- Phân tích kết quả và phản hồi (EVM-4D Analysis): Tính SPI/CPI, dự báo EAC, cập nhật mô hình BIM để thể hiện tình trạng

công việc qua màu sắc hoặc lớp thông tin.

Quy trình khép kín này phản ánh nguyên lý *model-based management*, trong đó mọi dữ liệu kiểm soát tiến độ được phản ánh trực quan thông qua mô hình BIM 4D. Cách tiếp cận này phù hợp với nghiên cứu của Marzouk (2014), cho rằng BIM có thể trở thành “cầu nối” giữa dữ liệu tiến độ và dữ liệu chi phí trong đánh giá hiệu suất dự án [12].

4.1.3. Xây dựng hệ thống chỉ số (KPI) và bảng điều khiển (Dashboard) trực quan

Để khai thác tối đa lợi ích của tích hợp BIM-EVM, cần phát triển hệ thống chỉ số (KPI) đánh giá tiến độ và chi phí trên cả phương diện định lượng và trực quan. Trong đó, các KPI cốt lõi gồm:

- SPI (Schedule Performance Index) - đánh giá hiệu suất tiến độ;
- CPI (Cost Performance Index) - đánh giá hiệu suất chi phí;
- SV và CV - nhận diện độ lệch so với kế hoạch;
- EAC (Estimate at Completion) - dự báo chi phí hoàn thành;
- LOD (Level of Development) - mức độ phát triển mô hình;
- Data Update Rate - mức độ cập nhật dữ liệu.

Các chỉ số này cần được hiển thị trực quan thông qua bảng điều khiển (dashboard) tích hợp trong mô hình BIM 4D, cho phép nhà quản lý nắm bắt nhanh tình trạng dự án và xác định chính xác khu vực thi công bị chậm trễ. Benjaoran và Dawood (2019) khẳng định rằng dashboard kết hợp BIM-EVM có thể rút ngắn thời gian ra quyết định đến 20 % và tăng độ tin cậy của báo cáo tiến độ [22].

Các giải pháp kỹ thuật trên tạo nền tảng cốt lõi cho việc tích hợp BIM 4D và EVM trong kiểm soát tiến độ, đồng thời khắc phục những hạn chế hiện nay trong dữ liệu rời rạc, quy trình chưa chuẩn hóa và thiếu công cụ phân tích trực quan. Đây là điều kiện cần để triển khai thành công mô hình quản lý tiến độ dựa trên dữ liệu trong các dự án xây dựng tại Việt Nam.

4.2. Giải pháp công nghệ

Nếu như các giải pháp kỹ thuật đóng vai trò nền tảng dữ liệu và quy trình, thì các giải pháp công nghệ là động lực giúp mô hình tích hợp BIM 4D - EVM vận hành hiệu quả và có khả năng cập nhật theo thời gian thực. Trong bối cảnh chuyển đổi số ngành xây dựng, việc đầu tư vào hệ thống hạ tầng công nghệ số (digital infrastructure) là yêu cầu tất yếu để khai thác tối đa năng lực của BIM - EVM, đồng thời khắc phục các hạn chế cố hữu của phương pháp quản lý tiến độ truyền thống. Nghiên cứu đề xuất ba nhóm giải pháp công nghệ trọng tâm: (i) xây dựng Môi trường dữ liệu chung (CDE); (ii) ứng dụng IoT, UAV và quét 3D để cập nhật tiến độ tự động; và (iii) phát triển các công cụ phân tích dữ liệu và trí tuệ nhân tạo (AI) trong dự báo hiệu suất.

4.2.1. Phát triển Môi trường dữ liệu chung (Common Data Environment - CDE)

Common Data Environment (CDE) là nền tảng trung tâm cho toàn bộ hệ thống BIM-EVM, cho phép lưu trữ, quản lý và chia sẻ thông tin giữa các bên liên quan trong môi trường hợp nhất. Theo

tiêu chuẩn ISO 19650, CDE giúp đảm bảo tính nhất quán của dữ liệu, kiểm soát phiên bản (version control) và phân quyền truy cập theo vai trò [23]. Nhiều nghiên cứu khẳng định rằng việc thiếu CDE là nguyên nhân chính khiến dữ liệu BIM - tiến độ - chi phí bị phân mảnh, không thể tích hợp được vào hệ thống đánh giá hiệu suất [12].

Nghiên cứu đề xuất triển khai CDE cho các dự án quy mô lớn dựa trên các nền tảng hiện đại như Autodesk Construction Cloud, Trimble Connect, hoặc Bentley ProjectWise, hoặc phát triển CDE nội địa theo chuẩn mở IFC để giảm chi phí đầu tư. CDE cần được kết nối với:

- Mô hình BIM (Revit, Tekla, ArchiCAD),
- Phần mềm lập tiến độ (MS Project, Primavera),
- Hệ thống kế toán hoặc ERP (để cập nhật AC),
- Hệ thống phân tích EV/PV/AC.

Quan trọng hơn, CDE giúp đảm bảo nguyên tắc “một nguồn dữ liệu duy nhất” (single source of truth), là điều kiện tiên quyết để vận hành EVM mà không bị sai lệch dữ liệu.

4.2.2. Ứng dụng IoT, UAV và quét 3D trong thu thập dữ liệu tiến độ

Một trong những hạn chế lớn của các phương pháp kiểm soát tiến độ truyền thống là sự phụ thuộc vào báo cáo thủ công, vốn thiếu kịp thời và dễ sai lệch. Việc ứng dụng IoT, UAV và công nghệ quét 3D (LiDAR/Scan-to-BIM) tạo điều kiện thu thập dữ liệu tiến độ theo thời gian thực, nâng cao độ chính xác của các chỉ số PV-EV-AC trong hệ thống BIM-EVM. Đây cũng là xu hướng chủ đạo trong các mô hình giám sát thi công dựa trên dữ liệu số [24, 25].

IoT đóng vai trò quan trọng trong theo dõi quá trình thi công thông qua hệ thống cảm biến gắn trên máy móc, cấu kiện hoặc môi trường. Dữ liệu như thời gian vận hành thiết bị, vị trí cấu kiện hoặc điều kiện thi công được ghi nhận liên tục, cho phép tự động hóa việc cập nhật EV và AC. Nhờ đó, sai lệch do ghi nhận thủ công được giảm đáng kể, đồng thời cải thiện khả năng đánh giá hiệu suất thi công theo từng giai đoạn. Bên cạnh IoT, UAV (drone) đang được sử dụng ngày càng phổ biến để chụp ảnh và quay video công trường theo chu kỳ. Hình ảnh thu được được xử lý bằng kỹ thuật photogrammetry để tạo mô hình hiện trạng và so sánh với mô hình BIM 4D. UAV giúp mở rộng phạm vi quan sát và tăng khả năng theo dõi tiến độ ở các vị trí khó tiếp cận, đặc biệt trong các dự án hạ tầng hoặc nhà cao tầng. Ứng dụng quét laser 3D cung cấp dữ liệu hình học chính xác dưới dạng đám mây điểm (point cloud), là cơ sở để đánh giá khối lượng hoàn thành thực tế theo từng thời điểm. Khi dữ liệu quét 3D được tích hợp vào BIM, mức độ hoàn thành của từng cấu kiện có thể được xác định tự động, tăng độ tin cậy của EV so với các phương pháp đo đạc truyền thống.

Việc ứng dụng IoT, UAV và quét 3D không chỉ cải thiện chất lượng dữ liệu tiến độ mà còn củng cố nền tảng công nghệ cho mô hình BIM-EVM, hướng tới hệ thống giám sát tiến độ thông minh và tự động hóa trong các dự án xây dựng.

4.2.3. Tích hợp phân tích dữ liệu và trí tuệ nhân tạo (AI) vào dự báo tiến độ

Trong bối cảnh dữ liệu từ BIM, IoT và UAV ngày càng phong phú, việc ứng dụng trí tuệ nhân tạo (AI) và phân tích dữ liệu lớn (Big Data Analytics) trở thành xu hướng tất yếu nhằm nâng cao khả năng dự báo và tối ưu hóa tiến độ. Các nghiên cứu gần đây cho thấy AI có thể hỗ trợ dự báo SPI/CPI, nhận diện rủi ro thi công, và đề xuất các kịch bản tối ưu hóa tiến độ [25].

Ba nhóm ứng dụng chính bao gồm:

1. Machine Learning dự báo hiệu suất tiến độ - chi phí: Mô hình học máy có thể phân tích dữ liệu lịch sử và dữ liệu thực địa để dự báo SPI, CPI hoặc EAC. Điều này cải thiện đáng kể khả năng ra quyết định của nhà quản lý, đặc biệt trong môi trường thi công phức tạp.

2. Computer Vision tự động phân tích hình ảnh UAV: Thuật toán nhận diện hình ảnh có thể xác định phần trăm hoàn thành của các cấu kiện, đối chiếu với mô hình BIM để tính EV tự động.

3. Tối ưu hóa tiến độ thi công (AI-based Scheduling Optimization): AI hỗ trợ lựa chọn biện pháp thi công tối ưu, phân bổ nguồn lực phù hợp khi tiến độ bị chậm hoặc đường găng bị thay đổi.

Việc tích hợp AI vào BIM-EVM không chỉ nâng cao hiệu quả phân tích mà còn mở ra khả năng phát triển hệ thống quản lý tiến độ thông minh (Smart Schedule Control System).

Nhóm giải pháp công nghệ đóng vai trò then chốt trong việc tạo dựng hệ sinh thái dữ liệu phục vụ tích hợp BIM 4D - EVM. Việc ứng dụng CDE, IoT, UAV, quét 3D và AI giúp đảm bảo tính chính xác, kịp thời và minh bạch của dữ liệu, từ đó tăng hiệu quả kiểm soát tiến độ và hỗ trợ ra quyết định trong dự án xây dựng. Đây là bước tiến quan trọng hướng tới mô hình quản lý dự án xây dựng dựa trên dữ liệu và tự động hóa.

4.3. Giải pháp về tổ chức - nhân lực - thể chế

Bên cạnh các giải pháp kỹ thuật và công nghệ, yếu tố tổ chức - nhân lực - thể chế đóng vai trò quyết định đối với khả năng triển khai thành công mô hình tích hợp BIM 4D - EVM trong quản lý tiến độ dự án xây dựng. Các kinh nghiệm quốc tế cho thấy rằng ngay cả khi sở hữu hệ thống công nghệ tiên tiến, dự án vẫn khó đạt hiệu quả nếu thiếu cấu trúc tổ chức phù hợp, nguồn nhân lực đáp ứng yêu cầu và hành lang pháp lý rõ ràng [3, 12]. Trong bối cảnh Việt Nam, ba nhóm giải pháp dưới đây được xác định là có tính khả thi và ảnh hưởng trực tiếp nhất.

4.3.1. Thiết lập bộ phận BIM-EVM trong tổ chức quản lý dự án

Một trong những hạn chế chính tại Việt Nam là mô hình tổ chức quản lý dự án chưa được tối ưu để hỗ trợ triển khai công nghệ BIM và EVM, đặc biệt ở giai đoạn thi công. Do đó, nghiên cứu đề xuất thành lập bộ phận BIM-EVM chuyên trách trong Ban Quản lý dự án hoặc tại các tổng thầu. Bộ phận này gồm ba vị trí nòng cốt:

- BIM Manager: phụ trách xây dựng, quản lý và duy trì mô hình BIM theo các tiêu chuẩn (IFC, ISO 19650).
- EVM Analyst: phân tích dữ liệu PV-EV-AC, đánh giá SPI/CPI, lập báo cáo hiệu suất tiến độ - chi phí định kỳ.
- Digital Engineer: vận hành hệ thống IoT, UAV, quét 3D và thực hiện cập nhật dữ liệu thực tế vào mô hình.

Cách tổ chức này bảo đảm rằng quá trình thu thập - xử lý - phân tích dữ liệu được thực hiện tuần tự, giảm phụ thuộc vào báo cáo thủ công và tăng tính chính xác trong tính toán EV. Đồng thời, sự phối hợp giữa ba vai trò này giúp rút ngắn thời gian cập nhật tiến độ và tăng cường tính minh bạch trong báo cáo.

4.3.2. Nâng cao chất lượng nguồn nhân lực và năng lực số

Năng lực nhân sự là yếu tố then chốt quyết định khả năng áp dụng BIM 4D và EVM. Hiện nay, tỷ lệ kỹ sư trong nước thành thạo BIM 4D thấp (5-7 %) và hiểu biết sâu về EVM còn hạn chế [17, 20]. Do đó, cần xây dựng chương trình đào tạo nhân lực số chuyên sâu, bao gồm:

- Đào tạo chuẩn quốc tế về BIM (ISO 19650) và EVM (PMI, ANSI/EIA-748).
- Tích hợp các môn học “BIM 4D”, “BIM 5D”, “EVM”, “Phân tích tiến độ” vào chương trình đào tạo khối ngành xây dựng.
- Tổ chức khóa đào tạo ngắn hạn cho chủ đầu tư, tư vấn và nhà thầu nhằm nâng cao nhận thức về lợi ích của BIM-EVM.
- Khuyến khích hình thành cộng đồng thực hành (Community of Practice) để chia sẻ kinh nghiệm triển khai.

Bên cạnh đào tạo, cần nâng cao năng lực quản trị chuyển đổi số tại doanh nghiệp, bao gồm kỹ năng quản lý dữ liệu, vận hành hệ thống CDE và phân tích dữ liệu lớn. Điều này phù hợp với định hướng Chuyển đổi số Quốc gia, vốn xác định nhân lực số là một trong ba trụ cột quan trọng nhất [18].

4.3.3. Hoàn thiện hành lang pháp lý cho BIM-EVM

Mặc dù BIM đã có lộ trình bắt buộc, Việt Nam vẫn thiếu quy định pháp lý cụ thể về tích hợp dữ liệu tiến độ - chi phí - mô hình BIM, cũng như thiếu chuẩn mực quốc gia về áp dụng EVM trong xây dựng. Do đó, để tạo nền tảng thể chế cho mô hình tích hợp BIM 4D - EVM, nghiên cứu đề xuất:

1. Ban hành tiêu chuẩn quốc gia về EVM (TCVN-EVM):
 - Dựa trên tiêu chuẩn ANSI/EIA-748 và thực tiễn Việt Nam;
 - Quy định phương pháp tính EV, PV, AC;
 - Yêu cầu báo cáo SPI/CPI định kỳ cho các dự án sử dụng vốn nhà nước.
2. Sửa đổi bổ sung Nghị định 175/2024 để quy định cụ thể hơn về dữ liệu BIM phục vụ giám sát tiến độ:
 - Công nhận mô hình BIM 4D là một phần của hồ sơ nghiệm thu;
 - Quy định trách nhiệm cập nhật dữ liệu BIM theo từng giai đoạn thi công.

- Chuẩn hóa hệ thống mã công việc WBS dùng chung trong toàn ngành giúp dữ liệu tiến độ - chi phí - khối lượng có thể tích hợp tự động vào mô hình BIM.
3. Tích hợp yêu cầu BIM-EVM vào hồ sơ mời thầu và hợp đồng EPC, EC, FIDIC:
- Đảm bảo ràng buộc trách nhiệm về dữ liệu;
 - Khuyến khích nhà thầu nâng cao năng lực công nghệ.
- Hành lang pháp lý rõ ràng sẽ thúc đẩy áp dụng đồng bộ và giảm rủi ro trong triển khai mô hình BIM-EVM trên thực tế.

Các giải pháp tổ chức - nhân lực - thể chế là điều kiện đủ để bảo đảm rằng các giải pháp kỹ thuật và công nghệ được triển khai hiệu quả. Việc thiết lập bộ phận BIM-EVM chuyên trách, đầu tư vào đào tạo nguồn nhân lực số và hoàn thiện pháp lý là ba trụ cột quan trọng giúp mô hình tích hợp BIM 4D - EVM trở thành công cụ thực tiễn trong quản lý tiến độ dự án xây dựng tại Việt Nam. Khi các yếu tố này được đồng bộ hóa, ngành xây dựng có thể tiến gần hơn đến mô hình quản lý tiến độ thông minh (Smart Schedule Control) dựa trên dữ liệu.

Bảng 1. So sánh chức năng giữa BIM 4D - EVM - BIM-EVM tích hợp.

Tiêu chí	BIM 4D	EVM	Tích hợp BIM-EVM
Khả năng trực quan	Rất mạnh	Không có	Rất mạnh
Đánh giá hiệu suất	Trung bình	Rất mạnh	Xuất sắc
Tính chính xác	Phụ thuộc mô hình	Phụ thuộc dữ liệu AC/EV	Cao nhất nhờ đồng bộ dữ liệu
Dự báo tiến độ	Trung bình	Mạnh	Mạnh nhất
Theo dõi theo vị trí	Có	Không	Có (theo cấu kiện BIM)
Sử dụng trong hiện trường	Có	Hạn chế	Tối ưu

Bảng 2. Phân tích SWOT về thực trạng ứng dụng BIM 4D và EVM tại Việt Nam.

Strengths (S) - Điểm mạnh	Weaknesses (W) - Điểm yếu
S1. Khung pháp lý về BIM ngày càng hoàn thiện, với Quyết định 258/QĐ-TTg (2023) và Nghị định 175/2024/NĐ-CP quy định bắt buộc áp dụng BIM.	W1. Thiếu chuẩn hóa dữ liệu giữa BIM - tiến độ - chi phí, đặc biệt là hệ thống mã công việc (WBS).
S2. Một số doanh nghiệp và tổng thầu lớn có năng lực triển khai BIM 3D-4D tiệm cận quốc tế.	W2. Năng lực nhân sự về BIM 4D và EVM hạn chế; tỷ lệ kỹ sư am hiểu EVM và BIM 4D dưới 15%.
S3. Nhu cầu minh bạch hóa đầu tư công tạo động lực áp dụng các công cụ định lượng như EVM.	W3. Chi phí phần mềm, thiết bị và đào tạo cao, gây khó khăn cho doanh nghiệp vừa và nhỏ.
S4. Một số dự án quy mô lớn đã thí điểm BIM 4D và cho thấy hiệu quả giảm xung đột thi công.	W4. Thiếu hành lang pháp lý chính thức cho EVM; phương pháp chưa được bắt buộc trong quản lý dự án.
Opportunities (O) - Cơ hội	Threats (T) - Thách thức
O1. Chương trình Chuyển đổi số quốc gia xác định ngành xây dựng là lĩnh vực ưu tiên ứng dụng BIM, AI, IoT, UAV, quét 3D.	T1. Chuỗi giá trị ngành xây dựng phân mảnh; nhiều nhà thầu phụ và tổ đội thi công thiếu năng lực công nghệ.
O2. Công nghệ số phát triển mạnh giúp tự động hóa thu thập dữ liệu EV/PV/AC, hỗ trợ triển khai EVM.	T2. Thói quen làm việc truyền thống, phụ thuộc vào báo cáo thủ công và tiến độ dạng Gantt.
O3. Nhiều dự án EPC/FDI yêu cầu BIM và EVM theo chuẩn quốc tế, thúc đẩy lan tỏa công nghệ.	T3. Khả năng tích hợp phần mềm và dữ liệu còn thấp; thiếu chuẩn IFC và WBS thống nhất.
O4. Nhu cầu minh bạch hóa quản lý đầu tư công và kiểm soát chi phí ngày càng tăng.	T4. Doanh nghiệp vừa và nhỏ chiếm tỷ lệ lớn, nhưng thiếu nguồn lực đầu tư cho BIM-EVM.

Bảng 3. Yêu cầu kỹ thuật cho mô hình BIM-EVM.

STT	Hạng mục	Yêu cầu kỹ thuật
1	Dữ liệu mô hình	IFC 4.0, LOD 300-350 trở lên
2	Dữ liệu tiến độ	Baseline dạng CPM; WBS chuẩn 3-5 cấp
3	Liên kết 4D	Phần mềm Synchro/Navisworks
4	Tính EV	Primavera/MSP hoặc phần mềm EVM
5	Thu thập dữ liệu	IoT Sensors, UAV, Laser Scanning
6	Lưu trữ - đồng bộ	CDE (Autodesk, Trimble, ProjectWise)

5. Kết luận

Việc tích hợp mô hình thông tin công trình theo thời gian (BIM 4D) với hệ thống quản lý giá trị đạt được (EVM) đang mở ra những cơ hội quan trọng trong việc nâng cao hiệu quả kiểm soát tiến độ thi công các dự án xây dựng. Trên cơ sở phân tích tổng hợp lý thuyết và thực tiễn ứng dụng, nghiên cứu cho thấy BIM 4D cung cấp nền tảng trực quan hóa theo không gian - thời gian, trong khi EVM đóng vai trò như công cụ định lượng giúp theo dõi chặt chẽ hiệu quả thực hiện kế hoạch thi công thông qua các chỉ số như Giá trị kế hoạch (PV), Giá trị đạt được (EV), Chi phí thực tế (AC), Chỉ số hiệu quả tiến độ (SPI) và Chỉ số hiệu quả chi phí (CPI). Sự tích hợp hai mô hình cho phép phát hiện sớm các sai lệch tiến độ, đánh giá rủi ro và ra quyết định điều chỉnh hợp lý trong quá trình thi công.

Từ góc độ quản lý, BIM 4D-EVM không chỉ là một giải pháp kỹ thuật, mà còn là nền tảng hiện đại hóa công tác giám sát tiến độ và điều hành dự án. Các chủ đầu tư, ban quản lý dự án và nhà thầu có thể tiếp cận thông tin tiến độ theo thời gian thực, loại bỏ độ trễ trong quy trình báo cáo truyền thống. Các chỉ số SPI và CPI, nếu được cập nhật định kỳ từ mô hình BIM 4D tích hợp dữ liệu hiện trường, sẽ giúp người quản lý không chỉ theo dõi mà còn dự báo xu hướng hiệu quả triển khai dự án. Đây là bước tiến quan trọng trong việc xây dựng mô hình quản trị dự án dựa trên dữ liệu (data-driven project governance).

Tuy nhiên, để có thể ứng dụng rộng rãi BIM 4D-EVM trong thực tiễn, cần thiết phải có các điều chỉnh tương ứng về mặt thể chế và kỹ thuật. Trước hết, việc thể chế hóa mô hình này thông qua các hướng dẫn kỹ thuật, quy định pháp lý, hoặc phụ lục tiêu chuẩn đi kèm Luật Xây dựng, Luật Đầu tư công là cần thiết. Bên cạnh đó, cần xây dựng các bộ tiêu chí và chỉ số chuẩn hóa để đo lường hiệu quả tiến độ - chi phí theo EVM, phù hợp với đặc thù môi trường dự án tại Việt Nam. Việc chuẩn hóa này sẽ tạo cơ sở để tích hợp EVM vào các mô hình BIM trong các phần mềm quản lý dự án, giúp đảm bảo tính đồng bộ và khả năng áp dụng cao.

Một số kiến nghị chính sách cũng được đặt ra từ kết quả nghiên cứu. Thứ nhất, cần lựa chọn và triển khai thí điểm mô hình BIM 4D-EVM tại các dự án đầu tư công nhóm A hoặc có quy mô lớn, phức tạp như dự án hạ tầng giao thông, bệnh viện, trường học... nhằm đánh giá chi phí - lợi ích và khả năng nhân rộng. Thứ hai, cần đầu tư xây dựng chương trình đào tạo chuyên sâu, liên ngành cho cán bộ quản lý dự án, tư vấn thiết kế, kỹ sư hiện trường và các bên liên quan về phương pháp tích hợp BIM - EVM, hướng đến năng lực phân tích dữ liệu và sử dụng các chỉ số đánh giá để ra quyết định quản lý. Thứ ba, cần thúc đẩy liên thông dữ liệu giữa các hệ thống thông tin phục vụ quản lý dự án, từ kế hoạch - thiết kế - thi công - nghiệm thu - thanh toán, để đảm bảo rằng các chỉ số EVM có thể được cập nhật theo thời gian thực một cách tự động và chính xác.

Tích hợp BIM 4D và EVM là một hướng tiếp cận giàu tiềm năng, góp phần nâng cao hiệu quả, tính minh bạch và khả năng kiểm soát tiến độ trong các dự án xây dựng, đặc biệt trong bối cảnh chuyển đổi số ngành xây dựng. Việc thúc đẩy mô hình này không chỉ cần sự

đổi mới về công nghệ, mà còn đòi hỏi sự đồng bộ về thể chế, hạ tầng dữ liệu và năng lực tổ chức, nhằm hiện thực hóa một nền quản lý dự án hiện đại, minh bạch và dựa trên dữ liệu.

Lời cảm ơn

Các tác giả chân thành cảm ơn Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (HUCE) đã hỗ trợ nghiên cứu này. Ngoài ra, tác giả xin gửi lời cảm ơn đặc biệt đến Biên tập viên và các phản biện vì những ý kiến đóng góp mang tính xây dựng sâu sắc, đã góp phần nâng cao đáng kể chất lượng bài báo.

Tuyên bố

Xung đột lợi ích: Các tác giả không báo cáo bất kỳ xung đột lợi ích tiềm tàng nào.

Tuyên bố về việc sử dụng Trí tuệ nhân tạo tạo sinh trong viết bài khoa học: Trong quá trình chuẩn bị bài viết này, các tác giả đã sử dụng ChatGPT để hỗ trợ quá trình viết một cách tự nhiên hơn. Sau khi sử dụng công cụ này, các tác giả đã xem xét và chỉnh sửa nội dung khi cần thiết và chịu trách nhiệm hoàn toàn về nội dung của bài báo.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers*. John Wiley & Sons.
- [2]. Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and management in engineering*, 11(3), 241-252.
- [3]. ISO, ISO 19650-1:2018 - *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) - Information management using building information modelling - Part 1: Concepts and principles*. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2018. Available: <https://www.iso.org/standard/68078.html> Văn Bản Chính Phủ
- [4]. EU BIM Task Group, *Handbook for the Introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector*. Brussels, Belgium, 2017. Available: <http://www.eubim.eu/handbook/> eubim.eu + 1
- [5]. National Institute of Building Sciences (NIBS), *National BIM Standard - United States (NBIMS-US), Version 3*. Washington, DC, USA, 2015. Available: <https://www.nationalbimstandard.org/evolve-consultancy.com> + 1
- [6]. McKinsey Global Institute, *Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity*. New York, NY, USA: McKinsey & Company, 2017. Available: <https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/operations/our%20insights/reinventing%20construction%20through%20a%20productivity%20revolution/mgi-reinventing-construction-a-route-to-higher-productivity-full-report.pdf>
- [7]. PMI, P. (2005). Practice standard for earned value management. In *Project Management Institute*.
- [8]. Fleming, Q. W., & Koppelman, J. M. (2016, December). Earned value project management. Project Management Institute.

- [9]. Project Management Institute. (2020, April). The Standard for Earned Value Management. Project Management Institute.
- [10]. Rahman, A. D., Handayani, T. N., Nugroho, A. S., Dewi, N. N., & Yudhistira, A. T. (2025). A Bim-Based System For Earned Value Analysis In Construction Projects. *ASEAN Engineering Journal*, 15(3), 101-111., doi: 10.11113/aej.v15.23087.
- [11]. Osorio-Sandoval, C. A., Tizani, W., Pereira, E., Ninić, J., & Koch, C. (2022). Framework for BIM-based simulation of construction operations implemented in a game engine. *Buildings*, 12(8), 1199., doi: 10.3390/buildings12081199.
- [12]. M. A. Elgehani, I. A. Rashid, and A. Elhakeem, "BIM-based tool for visualizing the EVM technique," *Civil Engineering Research Magazine (CERM)*, vol. 40, no. 3, pp. 119-128, 2018. Available: <https://www.azharcermjournal.com/CERMF1807/P18-07-11.pdf>
- [13]. Elghaish, F., Abrishami, S., Hosseini, M. R., Abu-Samra, S., & Gaterell, M. (2019). Integrated project delivery with BIM: An automated EVM-based approach. *Automation in Construction*, 106, 102907., doi: 10.1016/j.autcon.2019.102907.
- [14]. Marzouk, M., & Hisham, M. (2014). Implementing earned value management using bridge information modeling. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(5), 1302-1313., doi: 10.1007/s12205-014-0455-9.
- [15]. Cárdenas, C., Zapata Rozo, P., & Lozano Ramírez, N. (2018). Integrating 5D building information modeling with earned value management methodologies through a computation tool. *Revista ingeniería de construcción*, 33(3), 263-278., doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000300263>
- [16]. Kim, Y. O., Lee, D. H., & Park, D. H. (2022). A case study on BIM object-based earned value and process management in highway construction. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 26(2), 522-538. *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 26, no. 2, pp. 522-538, 2022, doi: 10.1007/s12205-021-1348-3.
- [17]. Vassena, G. P., Perfetti, L., Comai, S., Mastrolembro Ventura, S., & Ciribini, A. L. (2023). Construction progress monitoring through the integration of 4D BIM and SLAM-based mapping devices. *Buildings*, 13(10), 2488. *Buildings*, vol. 13, no. 10, p. 2488, 2023, doi: 10.3390/buildings13102488.
- [18]. Adamantiadou, D. S., & Tsironis, L. (2025). Leveraging artificial intelligence in project management: A systematic review of applications, challenges, and future directions. *Computers*, 14(2), 66, doi: <https://doi.org/10.3390/computers14020066>
- [19]. Bộ Xây dựng - Viện Kinh tế Xây dựng, "Nghiên cứu xây dựng tài liệu áp dụng mô hình thông tin công trình (BIM) trong các dự án đầu tư xây dựng," Báo cáo kết quả thực hiện đề tài RD 88-18, Hà Nội, Việt Nam, 2020. Available: <https://kinhtexaydung.gov.vn/de-tai-nghien-cuu-xay-dung-tai-lieu-ap-dung-bim-trong-cac-du-an-dau-tu-xay-dung/>
- [20]. Viện Kinh tế Xây dựng (Bộ Xây dựng), *Tài liệu phục vụ đào tạo bồi dưỡng kiến thức về lộ trình áp dụng BIM tại Việt Nam*, Hà Nội, Việt Nam, 2021. Available in the same training compilation: https://kinhtexaydung.gov.vn/wp-content/uploads/2023/01/03-01-TLD_637716329110133464.pdf
- [21]. 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. Available: <https://vanban.chinhphu.vn/?pageid=27160&docid=207592>
- [22]. 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. Available: <https://vanban.chinhphu.vn/?docid=212166>
- [23]. Viện Kinh tế Xây dựng, "Mô hình thông tin công trình (BIM): 'Chìa khóa vàng' của chuyển đổi số ngành Xây dựng," *Báo Xây dựng điện tử*, Apr. 29, 2023. Available: <https://baomoi.com/mo-hinh-thong-tin-cong-trinh-bim-chia-khoa-vang-cua-chuyen-doi-so-nganh-xay-dung-c45692962.epi> <https://baomoi.com>
- [24]. Nguyễn Phạm Quang Tú, Nguyễn Quốc Bảo (2023), "Thực trạng và xu hướng áp dụng BIM," *Tạp chí Xây dựng*. Available: <https://tapchixaydung.vn/thuc-trang-va-xu-huong-ap-dung-bim-20201224000016997.html>
- [25]. Conde, A. J. L., García-Sanz-Calcedo, J., & Rodríguez, A. M. R. (2020). Use of BIM with photogrammetry support in small construction projects. Case study for commercial franchises. *Journal of Civil Engineering and Management*, 26(6), 513-523., doi: <https://doi.org/10.3846/jcem.2020.12611>.