

Các yếu tố ảnh hưởng đến mức độ trưởng thành BIM và hiệu quả hoạt động của doanh nghiệp xây dựng tại Hà Nội, Đà Nẵng và Thành phố Hồ Chí Minh: Phân tích PLS-SEM

Determinants of BIM Maturity and Organizational Performance of Construction Enterprises in Hanoi, Da Nang, and Ho Chi Minh City: A PLS-SEM Analysis

Phạm Phú Anh Huy^{a*, b}, Nguyễn Thị Bích Thủy^b, Ngô Quang Tâm^c
Pham Phu Anh Huy^{a*, b}, Nguyen Thi Bich Thuy^b, Ngo Quang Tam^c

^a*Viện Nghiên cứu và Phát triển, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam*

^a*Institute of Research and Development, Duy Tan University, Da Nang, Viet Nam*

^b*Khoa Xây dựng, Trường Công nghệ và Kỹ thuật, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam*

^b*Faculty of Civil Engineering, School of Engineering and Technology, Duy Tan University, Da Nang, Viet Nam*

^c*Khoa Kiến trúc, Trường Công nghệ và Kỹ thuật, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam*

^c*Faculty of Architecture, School of Engineering and Technology, Duy Tan University, Da Nang, Viet Nam*

(Ngày nhận bài: 14/3/2026, ngày phản biện xong: 17/7/2026, ngày chấp nhận đăng: 19/8/2026)

Tóm tắt

Mô hình thông tin công trình (Building Information Modeling – BIM) là một công cụ quan trọng thúc đẩy chuyển đổi số trong ngành xây dựng, tuy nhiên mức độ trưởng thành BIM tại các nền kinh tế mới nổi vẫn còn hạn chế. Nghiên cứu này nhằm xác định các yếu tố ảnh hưởng đến mức độ trưởng thành BIM đa chiều (BIM-nD) và đánh giá tác động của nó đến hiệu quả hoạt động của doanh nghiệp xây dựng tại Việt Nam. Nghiên cứu đề xuất khung phân tích tích hợp giữa mô hình công nghệ – tổ chức – môi trường (TOE) và khái niệm mức độ trưởng thành BIM, đồng thời sử dụng phương pháp mô hình phương trình cấu trúc bình phương tối thiểu từng phần (PLS-SEM) để phân tích dữ liệu khảo sát từ 212 doanh nghiệp xây dựng tại Hà Nội, Đà Nẵng và Thành phố Hồ Chí Minh. Kết quả cho thấy mức độ sẵn sàng của tổ chức và năng lực BIM của nguồn nhân lực là hai yếu tố tác động mạnh nhất đến mức độ trưởng thành BIM. Năng lực công nghệ và tính khả thi về chi phí – lợi ích cũng có ảnh hưởng tích cực, trong khi áp lực từ môi trường bên ngoài có tác động yếu hơn. Mức độ trưởng thành BIM có ảnh hưởng tích cực và có ý nghĩa thống kê đến hiệu quả hoạt động của doanh nghiệp, đặc biệt trong phối hợp dự án, kiểm soát tiến độ và quản lý chi phí. Nghiên cứu cung cấp bằng chứng thực nghiệm về các yếu tố thúc đẩy sự phát triển mức độ trưởng thành BIM, đồng thời đưa ra cơ sở tham khảo cho doanh nghiệp và nhà hoạch định chính sách trong việc thúc đẩy chuyển đổi số của ngành xây dựng tại Việt Nam.

Từ khóa: BIM, quản lý thông tin xây dựng, ISO 19650, mức độ trưởng thành BIM, phần mềm BIM, chuyển đổi số trong ngành xây dựng

Abstract

Building Information Modeling (BIM) has become a key enabler of digital transformation in the construction industry; however, BIM maturity remains relatively limited across many emerging economies. This study aims to identify the factors influencing multidimensional BIM maturity and examine its impact on the organizational performance of

*Tác giả liên hệ: Phạm Phú Anh Huy
Email: phampanhhuy@duytan.edu.vn

construction firms in Vietnam. An integrated analytical framework combining the Technology-Organization-Environment (TOE) framework and the BIM maturity concept is proposed. Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) was employed to analyze survey data collected from 212 construction firms located in Hanoi, Da Nang, and Ho Chi Minh City. The results indicate that organizational readiness and human BIM competency are the two most influential factors driving BIM maturity. Technological capability and cost-benefit feasibility also have significant positive effects, whereas external pressure exerts a relatively weaker influence. Furthermore, BIM maturity has a positive and statistically significant impact on organizational performance, particularly in improving project coordination, schedule control, and cost management. This study provides empirical evidence on the key drivers of BIM maturity and offers practical implications for construction firms and policymakers seeking to accelerate digital transformation and enhance project performance through BIM implementation in Vietnam.

Keywords: BIM, construction information management, ISO 19650, BIM maturity, BIM software, digital transformation in construction

1. Giới thiệu chung

Ngành xây dựng đang từng bước chuyển đổi số nhằm nâng cao hiệu quả quản lý thông tin, tăng cường phối hợp giữa các bên tham gia và cải thiện hiệu quả quản lý dự án trong suốt vòng đời công trình. Trong quá trình này, BIM đã trở thành một nền tảng quan trọng, cho phép tạo lập, quản lý và chia sẻ thông tin dự án trong môi trường số thống nhất. Không chỉ hỗ trợ mô hình hóa 3D, BIM còn tăng cường phối hợp giữa các bên tham gia, giảm xung đột thiết kế, cải thiện quản lý tiến độ và chi phí, qua đó trở thành một thành phần cốt lõi trong chiến lược chuyển đổi số của ngành xây dựng tại nhiều quốc gia. Trong những năm gần đây, BIM đã được triển khai rộng rãi tại nhiều quốc gia phát triển như Vương quốc Anh, Hoa Kỳ, Nhật Bản và Singapore thông qua các chiến lược quốc gia và khung pháp lý hỗ trợ. Cùng với việc áp dụng các tiêu chuẩn quản lý thông tin như ISO 19650, mức độ trưởng thành BIM đã phát triển từ việc sử dụng BIM cho mô hình hóa 3D sang triển khai các ứng dụng BIM-nD bao gồm lập tiến độ 4D, quản lý chi phí 5D và quản lý thông tin trong suốt vòng đời công trình, qua đó nâng cao hiệu quả quản lý dự án dựa trên dữ liệu.

Ngược lại, tại nhiều quốc gia đang phát triển, mức độ trưởng thành BIM vẫn diễn ra không đồng đều. Tại Việt Nam, mặc dù Chính phủ đã có nhiều nỗ lực thúc đẩy triển khai BIM nhưng mức độ ứng dụng trong thực tế vẫn còn hạn chế. Phần lớn doanh nghiệp xây dựng, đặc biệt là

doanh nghiệp nhỏ và vừa, mới chỉ sử dụng BIM cho mô hình hóa, phối hợp thiết kế và phát hiện xung đột, trong khi các ứng dụng như quản lý tiến độ, chi phí và thông tin vòng đời công trình chưa được triển khai rộng rãi. Những hạn chế này chủ yếu xuất phát từ chi phí đầu tư cao, thiếu nguồn nhân lực có năng lực BIM và chưa có cơ chế quản lý thông tin thống nhất, làm giảm hiệu quả chia sẻ dữ liệu và phối hợp giữa các bên tham gia dự án [1–4].

Các nghiên cứu trước đây đã phân tích nhiều khía cạnh của BIM trong ngành xây dựng Việt Nam, bao gồm lợi ích, rào cản triển khai và các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định áp dụng [1–6]. Kết quả cho thấy BIM có tiềm năng nâng cao hiệu quả quản lý dự án, nhưng việc triển khai vẫn gặp nhiều trở ngại như chi phí đầu tư cao, hạn chế về năng lực chuyên môn, thiếu tiêu chuẩn và quy trình quản lý thông tin thống nhất. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu hiện có chủ yếu tập trung vào các rào cản hoặc quyết định áp dụng BIM ban đầu, trong khi còn thiếu các nghiên cứu xem xét mức độ trưởng thành BIM như một quá trình phát triển từ các ứng dụng cơ bản đến BIM-nD. Đồng thời, chưa có nhiều nghiên cứu tích hợp các yếu tố công nghệ, tổ chức và môi trường với khái niệm mức độ trưởng thành BIM để giải thích sự khác biệt về mức độ trưởng thành giữa các doanh nghiệp xây dựng. Khoảng trống này cho thấy cần có một khung phân tích toàn diện hơn nhằm xác định các yếu tố thúc đẩy sự phát triển mức độ trưởng

thành BIM trong bối cảnh ngành xây dựng Việt Nam.

Để khắc phục khoảng trống này, nghiên cứu đề xuất một khung phân tích tích hợp giữa mô hình TOE và khái niệm mức độ trưởng thành BIM, đồng thời sử dụng phương pháp PLS-SEM để phân tích dữ liệu khảo sát từ các doanh nghiệp xây dựng tại Hà Nội, Đà Nẵng và Thành phố Hồ Chí Minh. Nghiên cứu nhằm xác định các yếu tố ảnh hưởng đến mức độ trưởng thành BIM và đánh giá tác động của BIM đến hiệu quả hoạt động của doanh nghiệp.

Nghiên cứu đóng góp trên ba khía cạnh. Thứ nhất, nghiên cứu cung cấp bằng chứng thực nghiệm về các yếu tố ảnh hưởng đến sự phát triển năng lực BIM của doanh nghiệp xây dựng trong bối cảnh Việt Nam. Thứ hai, nghiên cứu tích hợp khung TOE với khái niệm trưởng thành BIM để xây dựng một khung phân tích toàn diện, qua đó giải thích quá trình chuyển dịch từ việc sử dụng BIM ở mức cơ bản sang triển khai BIM-nD. Thứ ba, nghiên cứu làm rõ mối quan hệ giữa mức độ trưởng thành này và hiệu quả hoạt động của doanh nghiệp, qua đó cung cấp cơ sở khoa học cho doanh nghiệp và nhà hoạch định chính sách trong việc xây dựng lộ trình nâng cao năng lực BIM và thúc đẩy chuyển đổi số trong ngành xây dựng.

2. Cơ sở lý thuyết và giả thuyết nghiên cứu

2.1. Mức độ trưởng thành BIM trong ngành xây dựng

Trong hai thập kỷ qua, BIM đã trở thành nền tảng quan trọng thúc đẩy chuyển đổi số trong ngành xây dựng. Không chỉ hỗ trợ mô hình hóa ba chiều, BIM còn cho phép quản lý thông tin tích hợp trong suốt vòng đời công trình, tăng cường phối hợp giữa các bên tham gia dự án và nâng cao hiệu quả quản lý tiến độ, chi phí cũng như chất lượng. Cùng với sự phát triển của các tiêu chuẩn quản lý thông tin như ISO 19650, trọng tâm triển khai BIM đã chuyển từ mức độ

trưởng thành các công cụ mô hình hóa đơn lẻ sang xây dựng năng lực quản lý thông tin và khai thác BIM ở các mức độ trưởng thành cao hơn.

Mặc dù nhiều quốc gia đã thúc đẩy triển khai BIM thông qua các chính sách và tiêu chuẩn quốc gia, mức độ trưởng thành BIM giữa các doanh nghiệp vẫn còn khác biệt đáng kể, đặc biệt tại các nền kinh tế mới nổi. Trong khi một số doanh nghiệp đã triển khai BIM đa chiều (4D, 5D và quản lý thông tin vòng đời công trình), nhiều doanh nghiệp vẫn chỉ sử dụng BIM cho mô hình hóa và phối hợp thiết kế. Sự khác biệt này phản ánh không chỉ khả năng tiếp cận công nghệ mà còn chịu ảnh hưởng bởi năng lực tổ chức, trình độ nguồn nhân lực, cam kết của lãnh đạo và môi trường thể chế hỗ trợ.

Những khác biệt về mức độ trưởng thành BIM cho thấy việc triển khai BIM cần được xem như một quá trình phát triển năng lực tổ chức hơn là một quyết định áp dụng công nghệ đơn lẻ. Do đó, các nghiên cứu hiện nay ngày càng chuyển từ việc phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định áp dụng BIM sang tìm hiểu các yếu tố quyết định mức độ trưởng thành BIM, nhằm giải thích quá trình chuyển dịch từ việc sử dụng BIM ở mức cơ bản đến triển khai BIM đa chiều và quản lý thông tin tích hợp trong doanh nghiệp xây dựng.

2.2. Khung TOE

Khung TOE là một trong những lý thuyết được sử dụng phổ biến để giải thích việc tiếp nhận và triển khai các đổi mới công nghệ trong tổ chức. Theo TOE, khả năng triển khai công nghệ chịu ảnh hưởng đồng thời bởi ba nhóm yếu tố: (i) bối cảnh công nghệ, phản ánh mức độ sẵn sàng của hạ tầng và năng lực công nghệ; (ii) bối cảnh tổ chức, bao gồm sự cam kết của lãnh đạo, nguồn nhân lực, quy trình quản lý và khả năng sẵn sàng cho đổi mới; và (iii) bối cảnh môi trường, bao gồm chính sách, yêu cầu của chủ đầu tư, áp lực cạnh tranh và các tiêu chuẩn của ngành. Do việc triển khai BIM liên quan đồng

thời đến hạ tầng công nghệ và những thay đổi trong tổ chức, khung TOE cung cấp một góc nhìn lý thuyết hữu ích để phân tích các yếu tố quyết định mức độ trưởng thành BIM trong các doanh nghiệp xây dựng. Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng mức độ sẵn sàng về công nghệ, năng lực tổ chức và môi trường thể chế cùng nhau ảnh hưởng đến kết quả áp dụng BIM trong các bối cảnh quốc gia khác nhau [7].

Trong nghiên cứu này, TOE được sử dụng làm khung lý thuyết để giải thích sự khác biệt về mức độ trưởng thành BIM giữa các doanh nghiệp xây dựng. Thay vì chỉ xem xét quyết định có hay không áp dụng BIM, nghiên cứu cho rằng các yếu tố công nghệ, tổ chức và môi trường quyết định mức độ doanh nghiệp có thể phát triển từ việc sử dụng BIM ở mức cơ bản đến triển khai BIM đa chiều và quản lý thông tin tích hợp.

2.3. Khái niệm mức độ trưởng thành BIM

Mức độ trưởng thành BIM (BIM maturity) phản ánh mức độ phát triển và tích hợp BIM trong quy trình quản lý dự án của doanh nghiệp. Khác với khái niệm áp dụng BIM chỉ phản ánh việc sử dụng công nghệ, mức độ trưởng thành BIM thể hiện chiều sâu triển khai BIM thông qua khả năng tích hợp quy trình, công nghệ, con người và quản lý thông tin trong toàn bộ vòng đời công trình. Nhiều khung đánh giá mức độ trưởng thành đã được phát triển nhằm đo lường sự tiến triển từ mô hình hóa số cơ bản đến các thực tiễn quản lý thông tin tích hợp. Một trong những khung được thừa nhận rộng rãi là mô hình trưởng thành BIM của Vương quốc Anh (UK BIM maturity model), mô tả sự phát triển của BIM thông qua một chuỗi các cấp độ tiến hóa, từ tài liệu hóa số đơn giản đến môi trường quản lý thông tin cộng tác hoàn chỉnh [8]. Ở các cấp độ trưởng thành thấp, BIM chủ yếu được sử dụng cho các nhiệm vụ mô hình hóa riêng lẻ, trong khi các cấp độ cao hơn nhấn mạnh trao đổi thông tin có phối hợp và triển khai dự án tích hợp. Một khung đánh giá có ảnh hưởng khác là mô hình

trưởng thành BIM do Succar đề xuất [9], đánh giá năng lực BIM dựa trên nhiều khía cạnh, bao gồm quy trình, công nghệ, chính sách và nguồn nhân lực. Ngoài ra, nhiều công cụ đánh giá khác như BIMMI (BIM Maturity Matrix Index), NBIMS-CMM và VDC scorecard cũng đã được phát triển nhằm đo lường năng lực BIM ở cấp độ tổ chức và dự án [9–11]. Trong những năm gần đây, các tiêu chuẩn quốc tế như ISO 19650 đã tiếp tục củng cố cách tiếp cận dựa trên mức độ trưởng thành, thông qua việc cung cấp hướng dẫn có cấu trúc cho quản lý thông tin trong suốt vòng đời tài sản, đồng thời hỗ trợ vận hành môi trường dữ liệu chung (Common Data Environment – CDE) nhằm tạo điều kiện cho trao đổi dữ liệu cộng tác [12–15].

Trong nghiên cứu này, mức độ trưởng thành BIM được khái niệm hóa thông qua chiều sâu và phạm vi triển khai các ứng dụng BIM-nD trong doanh nghiệp xây dựng. Thay vì chỉ phản ánh việc doanh nghiệp có sử dụng BIM hay không, mức độ trưởng thành được đánh giá dựa trên khả năng mở rộng BIM từ các ứng dụng cơ bản như mô hình hóa 3D và phối hợp thiết kế sang các ứng dụng nâng cao, bao gồm lập tiến độ 4D, quản lý chi phí 5D, quản lý vận hành công trình (6D) và quản lý thông tin trong toàn bộ vòng đời tài sản. Theo cách tiếp cận này, doanh nghiệp triển khai BIM trên nhiều chiều thông tin và tích hợp BIM vào nhiều quy trình quản lý dự án hơn được xem là đạt mức độ trưởng thành BIM cao hơn. Do đó, nghiên cứu sử dụng mức độ triển khai BIM-nD như một chỉ báo đại diện cho mức độ trưởng thành BIM của doanh nghiệp.

2.4. Giả thuyết nghiên cứu

Dựa trên khung TOE và khái niệm mức độ trưởng thành BIM, nghiên cứu này đề xuất một mô hình lý thuyết nhằm đánh giá các nhân tố tác động đến mức độ trưởng thành BIM và hiệu quả mang lại cho doanh nghiệp. Mô hình bao gồm 7 biến số tiềm ẩn được chia thành 3 nhóm chính: nhóm yếu tố đầu vào (Động lực và rào cản),

nhóm yếu tố cốt lõi (Mức độ trưởng thành BIM) và nhóm yếu tố đầu ra (Hiệu quả doanh nghiệp) với 6 giả thuyết sau.

H1: Năng lực công nghệ có ảnh hưởng tích cực đến mức độ trưởng thành BIM. Năng lực công nghệ phản ánh mức độ sẵn có của hạ tầng số cần thiết cho việc triển khai BIM, bao gồm phần mềm BIM, tài nguyên tính toán và các hệ thống thông tin có khả năng tương tác dữ liệu. Các doanh nghiệp có năng lực công nghệ mạnh hơn thường có điều kiện thuận lợi hơn trong việc phát triển và quản lý các quy trình làm việc dựa trên BIM;

H2: Mức độ sẵn sàng của tổ chức có ảnh hưởng tích cực đến mức độ trưởng thành BIM. Mức độ sẵn sàng của tổ chức đề cập đến năng lực nội tại của doanh nghiệp trong việc tích hợp các công nghệ số vào quy trình triển khai dự án. Sự hỗ trợ từ lãnh đạo, chiến lược triển khai rõ ràng và các quy trình làm việc được chuẩn hóa thường được xem là những yếu tố quan trọng đối với mức độ trưởng thành BIM của tổ chức;

H3: Áp lực từ môi trường bên ngoài có ảnh hưởng tích cực đến mức độ trưởng thành BIM. Các điều kiện môi trường bên ngoài cũng có thể ảnh hưởng đến mức độ trưởng thành BIM. Các quy định của cơ quan quản lý Nhà nước, yêu cầu từ chủ đầu tư và áp lực cạnh tranh trong ngành có thể thúc đẩy các doanh nghiệp xây dựng nâng cao mức độ trưởng thành BIM;

H4: Năng lực BIM của nguồn nhân lực có ảnh hưởng tích cực đến mức độ trưởng thành BIM. Năng lực BIM của nguồn nhân lực phản ánh trình độ chuyên môn kỹ thuật cần thiết để vận hành các công cụ BIM và làm việc trong môi trường dự án số. Do đó, các tổ chức có đội ngũ nhân sự có kinh nghiệm và được đào tạo tốt thường có mức độ trưởng thành BIM cao hơn;

H5: Tính khả thi về chi phí – lợi ích có ảnh hưởng tích cực đến mức độ trưởng thành BIM. Các yếu tố kinh tế cũng ảnh hưởng đến mức độ trưởng thành BIM. Doanh nghiệp có xu hướng

triển khai BIM có chiều sâu khi lợi ích kỳ vọng lớn hơn chi phí đầu tư cần thiết cho phần mềm, hạ tầng và đào tạo;

H6: Mức độ trưởng thành BIM có ảnh hưởng tích cực đến hiệu quả hoạt động của tổ chức. Bên cạnh các yếu tố quyết định mức độ trưởng thành, nghiên cứu giả định rằng mức độ trưởng thành BIM có tác động tích cực đến hiệu quả hoạt động của tổ chức thông qua việc nâng cao khả năng phối hợp dự án, kiểm soát tiến độ và quản lý chi phí.

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Mô hình nghiên cứu

Dựa trên cơ sở lý thuyết, nghiên cứu đề xuất một mô hình khái niệm tích hợp khung TOE với khái niệm mức độ trưởng thành BIM nhằm phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình phát triển BIM trong các doanh nghiệp xây dựng. Mô hình giả định rằng năng lực công nghệ, mức độ sẵn sàng của tổ chức, năng lực BIM của nguồn nhân lực, áp lực từ môi trường bên ngoài và tính khả thi về chi phí – lợi ích là những yếu tố quyết định mức độ trưởng thành BIM, được phản ánh thông qua chiều sâu triển khai các ứng dụng BIM-nD.

Bên cạnh đó, nghiên cứu xem xét tác động của mức độ trưởng thành BIM đến hiệu quả hoạt động của doanh nghiệp. Mô hình kỳ vọng rằng doanh nghiệp có mức độ trưởng thành BIM cao hơn sẽ đạt hiệu quả tốt hơn trong phối hợp dự án, kiểm soát tiến độ, quản lý chi phí và nâng cao hiệu quả vận hành. Khung nghiên cứu vì vậy phản ánh đồng thời các yếu tố thúc đẩy sự phát triển mức độ trưởng thành BIM và tác động của mức độ trưởng thành này đến hiệu quả hoạt động của doanh nghiệp.

3.2. Phát triển thang đo

Các thang đo trong nghiên cứu được kế thừa và điều chỉnh từ các nghiên cứu trước về BIM, mức độ trưởng thành BIM và chuyển đổi số, đồng thời được hiệu chỉnh để phù hợp với bối cảnh nghiên cứu.

cảnh doanh nghiệp xây dựng tại Việt Nam. Mô hình gồm năm biến độc lập: năng lực công nghệ (TC), mức độ sẵn sàng của tổ chức (ORG), năng lực BIM của nguồn nhân lực (HUM), áp lực môi trường bên ngoài (EXT) và tính khả thi về chi phí – lợi ích (CBF).

Biến phụ thuộc mức độ trưởng thành BIM (ADOP) được đo lường thông qua chiều sâu triển khai các ứng dụng BIM-nD, bao gồm mô hình hóa 3D, phối hợp thiết kế, lập tiến độ 4D, quản lý chi phí 5D, quản lý vận hành và quản lý thông tin vòng đời công trình. Hiệu quả hoạt động của doanh nghiệp (PERF) được đánh giá thông qua các cải thiện về phối hợp dự án, kiểm soát tiến độ, quản lý chi phí, chất lượng thực hiện và năng lực cạnh tranh.

Tất cả các biến quan sát được đo lường bằng thang Likert 5 mức, từ 1 (hoàn toàn không đồng ý) đến 5 (hoàn toàn đồng ý), phù hợp với các nghiên cứu về đổi mới công nghệ và quản lý trong lĩnh vực xây dựng.

3.3. Thu thập dữ liệu và đặc điểm mẫu nghiên cứu

Dữ liệu được thu thập bằng bảng hỏi có cấu trúc từ các doanh nghiệp xây dựng tại Hà Nội, Đà Nẵng và Thành phố Hồ Chí Minh, ba trung tâm xây dựng lớn của Việt Nam. Nghiên cứu sử dụng phương pháp lấy mẫu có chủ đích kết hợp với lấy mẫu thuận tiện. Đối tượng khảo sát là các kỹ sư, nhà quản lý và chuyên gia có kinh nghiệm hoặc có tham gia vào các hoạt động liên quan đến BIM. Người tham gia được tiếp cận thông qua mạng lưới nghề nghiệp, danh bạ doanh nghiệp và các hiệp hội chuyên ngành; bảng hỏi được phân phối bằng cả hình thức trực tuyến và trực tiếp.

Sau khi sàng lọc, 212 phiếu trả lời hợp lệ được sử dụng cho phân tích. Mẫu khảo sát có sự phân bố tương đối đồng đều giữa ba địa phương nghiên cứu, đồng thời bao gồm các nhóm doanh nghiệp tư vấn, nhà thầu và chủ đầu tư với quy mô và kinh nghiệm BIM khác nhau. Đặc điểm chi tiết của mẫu khảo sát được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Đặc điểm mẫu khảo sát của người trả lời

Tiêu chí	Đặc điểm	Tần số (mẫu)	Tần suất (%)
Khu vực	Hà Nội	56	26,4
	Thành phố Hồ Chí Minh	82	38,7
	Đà Nẵng	74	34,9
Loại hình tổ chức	Nhà thầu xây dựng	86	40,6
	Tư vấn thiết kế	52	24,5
	Công ty kỹ thuật	38	17,9
	Chủ đầu tư	36	17,0
Quy mô doanh nghiệp	< 50 nhân viên	61	28,8
	50–200 nhân viên	79	37,3
	> 200 nhân viên	72	33,9
Kinh nghiệm BIM	< 3 năm	74	34,9
	3–5 năm	69	32,5
	> 5 năm	69	32,5

3.4. Quy trình phân tích dữ liệu

Dữ liệu khảo sát thu thập được phân tích bằng phương pháp PLS-SEM, một phương pháp được sử dụng rộng rãi trong các nghiên cứu về chấp nhận và áp dụng công nghệ, do cho phép phân tích đồng thời các mối quan hệ giữa nhiều biến

tiềm ẩn. PLS-SEM đặc biệt phù hợp với các mô hình nghiên cứu phức tạp và bộ dữ liệu khảo sát có quy mô mẫu trung bình [16].

Quá trình phân tích được thực hiện qua hai giai đoạn. Thứ nhất, mô hình đo lường được đánh giá nhằm kiểm định độ tin cậy và giá trị của

thang đo, sử dụng các chỉ số bao gồm Cronbach's alpha, độ tin cậy tổng hợp (Composite Reliability – CR) và phương sai trích trung bình (Average Variance Extracted – AVE). Giá trị phân biệt được kiểm tra thông qua tiêu chí Fornell–Larcker, tỷ lệ Heterotrait–Monotrait (HTMT) và phân tích hệ số tải chéo (cross-loading). Thứ hai, mô hình cấu trúc được

đánh giá nhằm kiểm định các giả thuyết nghiên cứu về mối quan hệ giữa các biến trong mô hình. Hệ số đường dẫn được sử dụng để xác định mức độ và chiều hướng ảnh hưởng giữa các biến, trong khi khả năng giải thích của mô hình được đánh giá thông qua hệ số xác định (R^2). Ý nghĩa thống kê của các đường dẫn cấu trúc được kiểm định bằng phương pháp bootstrapping.

Bảng 2. Các biến đo lường và định nghĩa cấu trúc

Cấu trúc	Ký hiệu	Mục đo lường
Năng lực công nghệ	TC1	Doanh nghiệp có hạ tầng phần mềm BIM đầy đủ
	TC2	Doanh nghiệp có phần cứng máy tính đủ để hỗ trợ mô hình hóa BIM
	TC3	Các công cụ BIM được tích hợp với các hệ thống quản lý dự án số khác
Mức độ sẵn sàng của tổ chức	ORG1	Ban lãnh đạo cấp cao ủng hộ mạnh mẽ việc triển khai BIM
	ORG2	Tổ chức có chiến lược triển khai BIM rõ ràng
	ORG3	Các quy trình làm việc BIM được tích hợp vào thực tiễn quản lý dự án
Năng lực BIM của nguồn nhân lực	HUM1	Nhân viên được đào tạo về các công nghệ BIM
	HUM2	Nhân viên có kinh nghiệm thực tế trong các dự án sử dụng BIM
	HUM3	Nhân viên có khả năng cộng tác hiệu quả trong môi trường BIM
Áp lực môi trường bên ngoài	EXT1	Chủ đầu tư ngày càng yêu cầu triển khai BIM
	EXT2	Các sáng kiến của Chính phủ khuyến khích việc áp dụng BIM
	EXT3	Cạnh tranh trong ngành thúc đẩy doanh nghiệp nâng cao việc áp dụng BIM
Tính khả thi về chi phí – lợi ích	CBF1	Việc triển khai BIM mang lại lợi ích kinh tế dài hạn
	CBF2	Lợi ích của BIM lớn hơn chi phí triển khai
	CBF3	BIM cải thiện hiệu quả dự án so với chi phí đầu tư
Mức độ trưởng thành BIM	ADOP1	BIM 3D bắt đầu chia sẻ dữ liệu, hợp tác còn hạn chế
	ADOP2	BIM 4D, 5D được sử dụng để tích hợp lập tiến độ, chi phí
	ADOP3	BIM 6D, 7D được sử dụng để tích hợp toàn bộ vòng đời công trình
Hiệu quả hoạt động của tổ chức	PERF1	BIM cải thiện khả năng phối hợp dự án
	PERF2	BIM nâng cao hiệu quả kiểm soát dự án
	PERF3	BIM nâng cao chất lượng tổng thể của dự án

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Thống kê mô tả

Tổng cộng 212 bảng trả lời hợp lệ được thu thập từ các doanh nghiệp xây dựng tại Hà Nội, Đà Nẵng và Thành phố Hồ Chí Minh, bao gồm các nhà thầu, đơn vị tư vấn thiết kế, công ty kỹ thuật và tổ chức quản lý dự án. Sự đa dạng của mẫu khảo sát giúp phản ánh tương đối toàn diện

thực tiễn triển khai BIM trong ngành xây dựng Việt Nam.

Các thống kê mô tả ở Bảng 3 cho thấy người trả lời nhìn chung đánh giá tích cực về việc triển khai BIM. Mức độ sẵn sàng của tổ chức và năng lực công nghệ có giá trị trung bình tương đối cao, cho thấy nhiều doanh nghiệp đã từng bước đầu tư vào nguồn lực và hạ tầng phục vụ chuyển đổi

số. Trong khi đó, áp lực từ môi trường bên ngoài và tính khả thi về chi phí – lợi ích có mức độ biến thiên lớn hơn, phản ánh sự khác biệt trong nhận thức giữa các doanh nghiệp. Trước khi phân tích

mô hình cấu trúc, mô hình đo lường được đánh giá về độ tin cậy và giá trị nhằm bảo đảm các biến quan sát phản ánh đầy đủ các biến tiềm ẩn trong nghiên cứu.

Bảng 3. Thống kê mô tả

Cấu trúc	Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị lớn nhất
Năng lực công nghệ	3,71	0,68	2,10	4,90
Mức độ sẵn sàng của tổ chức	3,84	0,71	2,00	5,00
Năng lực BIM của nguồn nhân lực	3,65	0,73	2,00	4,80
Áp lực môi trường bên ngoài	3,22	0,75	1,80	4,60
Tính khả thi về chi phí – lợi ích	3,46	0,70	2,00	4,70
Mức độ trưởng thành BIM	3,59	0,66	2,10	4,90
Hiệu quả hoạt động của tổ chức	3,77	0,69	2,30	5,00

4.2. Đánh giá mô hình đo lường

Mô hình đo lường được đánh giá dựa trên các tiêu chí độ tin cậy và giá trị thường được chấp nhận trong phân tích PLS-SEM, bao gồm độ tin cậy nhất quán nội bộ, giá trị hội tụ và giá trị phân biệt. Trước hết, độ tin cậy nhất quán nội bộ được đánh giá thông qua Cronbach's Alpha và CR. Như được trình bày trong Bảng 4, tất cả các cấu trúc đều có giá trị Cronbach's alpha lớn hơn ngưỡng khuyến nghị 0,70, cho thấy mức độ nhất quán nội bộ thỏa đáng giữa các biến quan sát. Tương tự, các giá trị CR của tất cả các cấu trúc đều vượt quá 0,70, qua đó tiếp tục khẳng định độ tin cậy của mô hình đo lường. Giá trị hội tụ được

đánh giá thông qua phương sai trích trung bình AVE. Kết quả trình bày trong Bảng 4 cho thấy giá trị AVE của tất cả các cấu trúc đều lớn hơn ngưỡng khuyến nghị 0,50. Điều này cho thấy các biến tiềm ẩn giải thích hơn một nửa phương sai của các chỉ báo liên quan, qua đó khẳng định mức độ hội tụ đạt yêu cầu. Bảng chứng bổ sung về độ tin cậy của các chỉ báo được thể hiện thông qua phân tích hệ số tải chéo trình bày trong Hình 1, trong đó mỗi chỉ báo có hệ số tải cao hơn đối với cấu trúc tương ứng của nó so với các cấu trúc khác trong mô hình. Mô hình này xác nhận rằng các mục đo lường được liên kết phù hợp với các biến tiềm ẩn mà chúng đại diện.

Bảng 4. Độ tin cậy của thang đo

Cấu trúc	Cronbach's Alpha	Composite Reliability	AVE
TC	0,86	0,90	0,64
ORG	0,89	0,92	0,66
EXT	0,84	0,89	0,61
HUM	0,87	0,91	0,63
CBF	0,85	0,90	0,65
ADOP	0,88	0,92	0,67
PERF	0,90	0,93	0,69

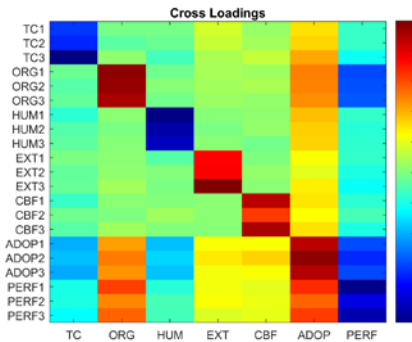
4.3. Giá trị phân biệt

Giá trị phân biệt được đánh giá thông qua hai phương pháp bổ trợ, bao gồm tiêu chí Fornell–

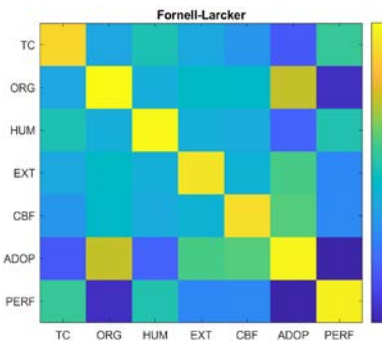
Larcker và tỷ lệ Heterotrait–Monotrait (HTMT). Ma trận Fornell–Larcker được trình bày trong Hình 2 cho thấy căn bậc hai của AVE của mỗi

cấu trúc đều lớn hơn hệ số tương quan của nó với các cấu trúc khác trong mô hình. Kết quả này xác nhận rằng mỗi cấu trúc chia sẻ phương sai với các chỉ báo của chính nó nhiều hơn so với các cấu trúc khác, qua đó đáp ứng tiêu chí Fornell–Larcker đối với giá trị phân biệt. Để kiểm chứng thêm giá trị phân biệt, tỷ lệ HTMT cũng được xem xét. Như thể hiện trong Hình 3, tất cả các giá trị HTMT đều thấp hơn đáng kể so với

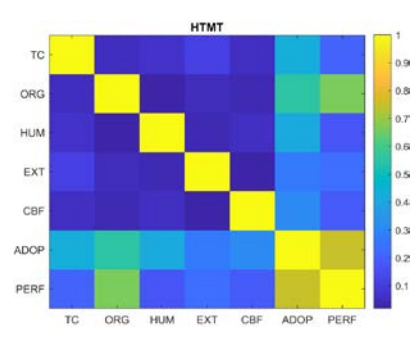
ngưỡng bảo thủ 0,85. Kết quả này cho thấy các cấu trúc trong mô hình có sự phân biệt rõ ràng về mặt thực nghiệm, đồng thời không tồn tại hiện tượng đa cộng tuyến đáng kể hoặc sự chồng lấn khái niệm giữa các biến tiềm ẩn được đưa vào mô hình. Tổng hợp lại, tiêu chí Fornell–Larcker, phân tích HTMT và kết quả hệ số tải chéo (cross-loading) cung cấp bằng chứng mạnh mẽ cho thấy mô hình đo lường đạt giá trị phân biệt thỏa đáng.



Hình 1. Biểu đồ Cross-loadings heatmap

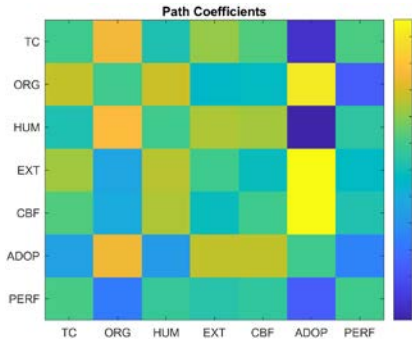


Hình 2. Ma trận Fornell–Larcker

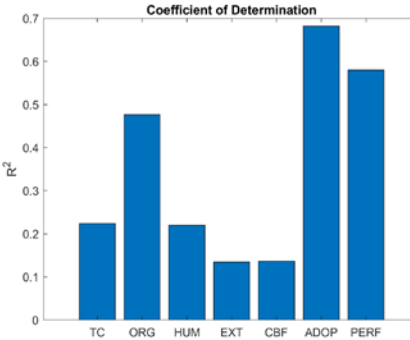


Hình 3. Ma trận tỷ số HTMT

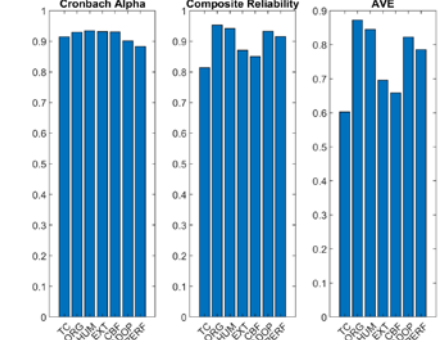
4.4. Kết quả mô hình cấu trúc



Hình 4. Hệ số đường dẫn (Path coefficients)



Hình 5. Hệ số xác định R^2



Hình 6. Cronbach's Alpha, CR, AVE

Sau khi xác nhận tính phù hợp của mô hình đo lường, các mối quan hệ cấu trúc giữa các biến trong mô hình được đánh giá bằng PLS-SEM. Các hệ số đường dẫn (path coefficients) thu được từ phân tích được trình bày trong Hình 4. Kết quả cho thấy mức độ sẵn sàng của tổ chức có ảnh hưởng tích cực mạnh nhất đến mức độ trưởng thành BIM. Năng lực BIM của nguồn nhân lực và năng lực công nghệ cũng thể hiện mối quan hệ tích cực có ý nghĩa thống kê với mức độ trưởng thành BIM. Ngoài ra, áp lực từ môi trường bên ngoài cũng cho thấy tác động có ý

nghĩa thống kê, nhưng mức độ ảnh hưởng tương đối yếu hơn so với các yếu tố còn lại. Các phát hiện của nghiên cứu cũng cho thấy mức độ trưởng thành BIM có tác động tích cực mạnh đến hiệu quả hoạt động của tổ chức, cho thấy việc triển khai BIM góp phần cải thiện khả năng phối hợp dự án và nâng cao hiệu quả quản lý dự án. Khả năng giải thích của mô hình được đánh giá thông qua hệ số xác định (R^2). Như được trình bày trong Hình 5, mô hình giải thích một tỷ lệ đáng kể phương sai của biến mức độ trưởng thành BIM, đồng thời cho thấy mức độ khả năng

giải thích ở mức trung bình đối với hiệu quả hoạt động của tổ chức.

4.5. Kiểm định giả thuyết

Ý nghĩa thống kê của các mối quan hệ cấu trúc được đánh giá thông qua phương pháp bootstrapping nhằm ước lượng giá trị t (t-values) và giá trị p (p-values) tương ứng với các hệ số đường dẫn (path coefficients). Kết quả kiểm định các giả thuyết nghiên cứu được tóm tắt

trong Bảng 5. Kết quả phân tích cho thấy năng lực công nghệ, mức độ sẵn sàng của tổ chức, áp lực môi trường bên ngoài, năng lực BIM của nguồn nhân lực và tính khả thi về chi phí – lợi ích đều có tác động tích cực có ý nghĩa thống kê đến mức độ trưởng thành BIM, qua đó ủng hộ các giả thuyết H1–H5. Ngoài ra, mức độ trưởng thành BIM cũng cho thấy tác động tích cực có ý nghĩa thống kê đối với hiệu quả hoạt động của tổ chức, qua đó ủng hộ giả thuyết H6.

Bảng 5. Kết quả kiểm định giả thuyết

Giả thuyết	Quan hệ đường dẫn	Hệ số đường dẫn	Giá trị t	Giá trị p	Kết quả
H1	TC → ADOP	0,21	3,12	0,002	Chấp nhận
H2	ORG → ADOP	0,36	5,84	<0,001	Chấp nhận
H3	EXT → ADOP	0,12	2,01	0,045	Chấp nhận
H4	HUM → ADOP	0,28	4,33	<0,001	Chấp nhận
H5	CBF → ADOP	0,17	2,95	0,004	Chấp nhận
H6	ADOP → PERF	0,49	7,12	<0,001	Chấp nhận

Kết quả cho thấy mức độ sẵn sàng của tổ chức là yếu tố ảnh hưởng mạnh nhất đến mức độ trưởng thành BIM, tiếp theo là năng lực BIM của nguồn nhân lực, khẳng định rằng sự phát triển BIM không chỉ phụ thuộc vào đầu tư công nghệ mà còn đòi hỏi cam kết của lãnh đạo, chiến lược triển khai và năng lực chuyên môn của đội ngũ nhân sự. Năng lực công nghệ, tính khả thi về chi phí – lợi ích và áp lực từ môi trường bên ngoài cũng có tác động tích cực, nhưng ở mức độ thấp hơn, cho thấy các yếu tố này chủ yếu đóng vai trò hỗ trợ trong quá trình phát triển BIM.

Kết quả cũng xác nhận mức độ trưởng thành BIM có tác động tích cực đến hiệu quả hoạt động của doanh nghiệp, đặc biệt trong phối hợp dự án, kiểm soát tiến độ và quản lý chi phí. Điều này cho thấy việc mở rộng BIM từ các ứng dụng cơ bản sang BIM-nD không chỉ nâng cao năng lực quản lý thông tin mà còn góp phần cải thiện hiệu quả thực hiện dự án và năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp.

Các phát hiện này bổ sung bằng chứng thực nghiệm rằng mức độ trưởng thành BIM là một

quá trình phát triển năng lực tổ chức, chịu tác động đồng thời của các yếu tố công nghệ, tổ chức và môi trường. Về mặt thực tiễn, kết quả gợi ý các doanh nghiệp cần ưu tiên nâng cao sự sẵn sàng của tổ chức và phát triển năng lực BIM cho nguồn nhân lực, đồng thời xây dựng chiến lược triển khai BIM phù hợp. Đối với cơ quan quản lý, việc hoàn thiện tiêu chuẩn, tăng cường đào tạo và ban hành các chính sách hỗ trợ sẽ góp phần thúc đẩy chuyển đổi số và nâng cao mức độ trưởng thành BIM trong ngành xây dựng Việt Nam.

5. Kết luận

Nghiên cứu này đã phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến mức độ trưởng thành BIM và tác động của mức độ trưởng thành đến hiệu quả hoạt động của doanh nghiệp xây dựng tại Việt Nam thông qua việc tích hợp khung TOE với khái niệm mức độ trưởng thành BIM. Dựa trên dữ liệu khảo sát từ 212 doanh nghiệp tại Hà Nội, Đà Nẵng và Thành phố Hồ Chí Minh, kết quả PLS-SEM cho thấy mức độ sẵn sàng của tổ chức và năng lực BIM của nguồn nhân lực là hai động lực quan trọng nhất thúc đẩy sự phát triển BIM,

trong khi năng lực công nghệ, tính khả thi về chi phí – lợi ích và áp lực từ môi trường bên ngoài đóng vai trò hỗ trợ. Nghiên cứu cũng xác nhận rằng doanh nghiệp có mức độ trưởng thành BIM cao hơn đạt hiệu quả tốt hơn trong phối hợp dự án, kiểm soát tiến độ và quản lý chi phí.

Về mặt học thuật, nghiên cứu mở rộng các nghiên cứu trước bằng cách chuyển trọng tâm từ quyết định áp dụng BIM sang đánh giá mức độ trưởng thành BIM, được đo lường thông qua chiều sâu triển khai các ứng dụng BIM-nD. Việc tích hợp khung TOE với khái niệm mức độ trưởng thành BIM cung cấp một cách tiếp cận toàn diện hơn để giải thích quá trình phát triển năng lực BIM của doanh nghiệp trong bối cảnh các nền kinh tế mới nổi, đồng thời bổ sung bằng chứng thực nghiệm cho bối cảnh Việt Nam, nơi các nghiên cứu về mức độ trưởng thành BIM vẫn còn hạn chế.

Về mặt quản lý, kết quả nghiên cứu cho thấy doanh nghiệp cần ưu tiên xây dựng chiến lược triển khai BIM dài hạn, tăng cường cam kết của lãnh đạo, chuẩn hóa quy trình quản lý thông tin và đầu tư phát triển năng lực BIM cho nguồn nhân lực thay vì chỉ tập trung vào hạ tầng công nghệ. Đối với cơ quan quản lý nhà nước, cần tiếp tục hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn và hướng dẫn triển khai BIM phù hợp với các chuẩn mực quốc tế, mở rộng các chương trình đào tạo và hỗ trợ doanh nghiệp, đặc biệt là doanh nghiệp nhỏ và vừa, nhằm thúc đẩy quá trình chuyển đổi số và nâng cao mức độ trưởng thành BIM trên phạm vi toàn ngành.

Nghiên cứu vẫn còn một số hạn chế do sử dụng dữ liệu khảo sát cắt ngang và chỉ tập trung vào ba trung tâm xây dựng lớn của Việt Nam. Các nghiên cứu tiếp theo có thể mở rộng phạm vi khảo sát, áp dụng thiết kế nghiên cứu theo chuỗi thời gian để đánh giá sự thay đổi mức độ trưởng thành BIM theo thời gian, đồng thời xem xét sự tích hợp giữa BIM với các công nghệ số mới như Digital Twin, trí tuệ nhân tạo (AI) và

Common Data Environment (CDE) nhằm xây dựng các mô hình chuyển đổi số toàn diện hơn cho ngành xây dựng.

Lời cảm ơn

Tác giả xin bày tỏ sự trân trọng và cảm ơn chân thành đến các doanh nghiệp và cơ quan quản lý nhà nước tại Hà Nội, Đà Nẵng và Thành phố Hồ Chí Minh đã hợp tác tham gia khảo sát và cung cấp những thông tin quan trọng cho nghiên cứu này. Những chia sẻ từ hơn 200 cá nhân, tổ chức về kinh nghiệm triển khai BIM, các thách thức trong thực tiễn và nhu cầu hỗ trợ đã tạo nên một bộ dữ liệu có giá trị, góp phần quan trọng vào việc củng cố kết quả phân tích và nâng cao ý nghĩa thực tiễn của nghiên cứu. Tác giả xin chân thành cảm ơn sự nhiệt tình, tinh thần hợp tác và những đóng góp quý báu của tất cả các cá nhân, tổ chức đã tham gia trong suốt quá trình thực hiện nghiên cứu.

Tài liệu tham khảo

- [1] Minh, H. N. (2025). “Các rào cản trong việc triển khai tích hợp BIM và GIS trong các dự án xây dựng công trình công cộng tại Việt Nam”. *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng - Bộ Xây dựng*, 15(03), 254–259. DOI: 10.54772/jomc.03.2025.968.
- [2] Tran, T.V., Tran, H.V.V., & Nguyen, T.A. (2024). “A review of challenges and opportunities in BIM adoption for construction project management”. *Engineering Journal*, 28, 79–98. DOI: 10.4186/ej.2024.28.8.79.
- [3] Nguyen, T.Q., & Nguyen, D.P. (2021). “Barriers in BIM adoption and the legal considerations in Vietnam”. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 12. DOI: 10.30880/ijscet.2021.12.01.027.
- [4] Van Tam, N., Diep, T.N., Quoc Toan, N., & Le Dinh Quy, N. (2021). “Factors affecting adoption of building information modeling in construction projects: A case of Vietnam”. *Cogent Business & Management*, 8. DOI: 10.1080/23311975.2021.1918848.
- [5] Van Tam, N., Toan, N.Q., & Van Phong, V. (2024). “Investigating potential barriers to construction digitalization in emerging economies: A study in Vietnam”. *International Journal of Information Management Data Insights*, 4, 100226. DOI: 10.1016/j.jjime.2024.100226.

- [6] Tín, L. Đ.T., Sỹ Đ. T., & Việt, N. T. (2024). “Xác định những rào cản của việc triển khai BIM-nD trong quản lý dự án xây dựng”. *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng - Bộ Xây dựng*, 14(06), 112–117. DOI: 10.54772/jomc.06.2024.804.
- [7] Qin, X., Shi, Y., Lyu, K., & Mo, Y. (2020). “Using a TAM–TOE model to explore factors influencing Building Information Modelling (BIM) adoption in the construction industry”. *Journal of Civil Engineering and Management*, 26(3), 259–277. DOI: 10.3846/jcem.2020.12176.
- [8] Camargo, R. (2019). *Potential use of a light PAS 1192-2 standard for local authorities in Ireland*. Capstone Report. Dublin: Technological University Dublin. DOI: 10.21427/xcca-w858.
- [9] Succar, B. (2009). “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders”. *Automation in Construction*, 18, 357–375. DOI: 10.1016/j.autcon.2008.10.003.
- [10] Succar, B., Sher, W., & Williams, A. (2012). “Measuring BIM performance: Five metrics”. *Architectural Engineering and Design Management*, 8, 120–142. DOI: 10.1080/17452007.2012.659506.
- [11] Alankarage, S., Chileshe, N., Samaraweera, A., Rameezdeen, R., & Edwards, D.J. (2023). “Organisational BIM maturity models and their applications: A systematic literature review”. *Architectural Engineering and Design Management*, 19(6), 567–585. DOI: 10.1080/17452007.2022.2068496.
- [12] Khanzode, A., Fischer, M., & Reed, D. (2008). “Benefits and lessons learned of implementing building virtual design and construction (VDC) technologies for coordination of mechanical, electrical, and plumbing (MEP) systems on a large healthcare project”. *Journal of Information Technology in Construction*, 13, 324–342.
- [13] Almeida, R., Chaves, L., Silva, M., Carvalho, M., & Caldas, L. (2023). “Integration between BIM and EPDs: Evaluation of the main difficulties and proposal of a framework based on ISO 19650:2018”. *Journal of Building Engineering*, 68, 106091.
- [14] Ajayi, S.O., Oyebiyi, F., & Alaka, H.A. (2023). “Facilitating compliance with BIM ISO 19650 naming convention through automation”. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 21(1), 108–129. DOI: 10.1108/JEDT-03-2021-0138.
- [15] Godager, B., Mohn, K., Merschbrock, C., Klakegg, O.J., & Huang, L. (2022). “Towards an improved framework for enterprise BIM: The role of ISO 19650”. *Journal of Information Technology in Construction*, 27, 1075–1103. DOI: 10.36680/j.itcon.2022.053.
- [16] Mirpanahi, M.V., & Noorzai, E. (2021). “Modeling the relationship between critical BIM attributes and environmental sustainability criteria using the PLS-SEM technique”. *Journal of Architectural Engineering*, 27, 04021037.
- [17] Munianday, P., Radzi, A.R., Esa, M., & Rahman, R.A. (2022). “Optimal strategies for improving organizational BIM capabilities: A PLS-SEM approach”. *Journal of Management in Engineering*, 38, 04022015.