VẬT LIỆU & XÂY DỰNG
Tạp chí Vật liệu và Xây dựng
ISSN 1859 - 381X
Website: www. jomc.vn

Chuyển đổi số trong doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng tại Việt Nam: Tổng quan tài liệu và đề xuất khung phân tích lợi ích, rào cản, rủi ro

Lê Quốc Việt[1], Quách Vũ Thăng[2], Nguyễn Quốc Toản[3*]

[1] Khoa Kiến trúc và Xây dựng, Trường Đại học Đại Nam

[2] Viện Quản lý Đầu tư và Xây dựng (IICM), Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

[3] Khoa Kinh tế và Quản lý xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

TỪ KHOÁ

Chuyển đổi số
Tư vấn thiết kế xây dựng
Lợi ích - Rào cản - Rủi ro
Khung phân tích
Việt Nam

TÓM TẮT

Chuyển đổi số đang trở thành xu hướng quan trọng nhằm nâng cao năng suất, chất lượng và năng lực cạnh tranh của ngành xây dựng. Trong chuỗi giá trị xây dựng, doanh nghiệp tư vấn thiết kế giữ vai trò đặc biệt quan trọng do là chủ thể khởi tạo, xử lý và quản lý dữ liệu thiết kế, làm cơ sở cho các giai đoạn thi công, vận hành và bảo trì công trình. Tuy nhiên, quá trình chuyển đổi số trong nhóm doanh nghiệp này không chỉ tạo ra lợi ích, mà còn đi kèm nhiều rào cản và rủi ro cần được nhận diện một cách hệ thống. Nghiên cứu sử dụng phương pháp tổng quan tài liệu kết hợp phân tích nội dung nhằm hệ thống hóa các lợi ích, rào cản và rủi ro trong chuyển đổi số của doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng tại Việt Nam. Trên cơ sở các tài liệu đã tổng hợp nghiên cứu xác định các nhân tố thúc đẩy, rào cản và rủi ro. Từ cơ sở đó nghiên cứu đề xuất khung phân tích tích hợp "lợi ích kỳ vọng - rào cản triển khai - rủi ro phát sinh - điều kiện thực hiện - kết quả chuyển đổi số", làm cơ sở cho các nghiên cứu thực nghiệm và triển khai chuyển đổi số đối với doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng tại Việt Nam.

KEYWORDS

Digital transformation
Construction design consultancy
Benefits - Barriers – Risks
Analytical framework
Vietnam

ABSTRACT

Digital transformation has become an important trend for improving productivity, quality and competitiveness in the construction industry. Within the construction value chain, construction design consultancy enterprises play a particularly important role as they initiate, process and manage design data that serve as the foundation for construction, operation and maintenance stages. However, digital transformation in these enterprises is not only associated with expected benefits, but also entails various barriers and risks that need to be systematically identified. This study adopts a literature review combined with content analysis to synthesize the benefits, barriers and risks of digital transformation in construction design consultancy enterprises in Vietnam. Based on the reviewed literature, the study identifies key drivers, barriers and risks associated with the digital transformation process. Accordingly, the study proposes an integrated analytical framework of "expected benefits - implementation barriers - emerging risks - implementation conditions - digital transformation outcomes", providing a basis for future empirical research and practical implementation of digital transformation in construction design consultancy enterprises in Vietnam.

1. Mở đầu

Ngành xây dựng đóng vai trò then chốt trong sự phát triển kinh tế - xã hội của mỗi quốc gia, góp phần quan trọng vào tăng trưởng GDP, tạo việc làm và phát triển hệ thống hạ tầng [5]. Tuy nhiên, so với nhiều lĩnh vực khác, ngành xây dựng vẫn được xem là một trong những ngành có mức độ đổi mới thấp, đặc trưng bởi năng suất lao động chưa cao, quy trình phân mảnh và sự phối hợp kém hiệu quả giữa các bên liên quan [5, 11, 13]. Trong bối cảnh toàn cầu đang chịu áp lực ngày càng lớn về phát triển bền vững, biến đổi khí hậu và đô thị hóa nhanh, những hạn chế này càng trở nên rõ nét và đòi hỏi các giải pháp mang tính đột phá.

Sự phát triển của các công nghệ số trong khuôn khổ Cách mạng công nghiệp lần thứ tư đã mở ra cơ hội quan trọng cho quá trình chuyển đổi và hiện đại hóa ngành xây dựng [7]. Chuyển đổi số trong xây dựng, thông qua việc ứng dụng các công nghệ như mô hình thông tin công trình (BIM), trí tuệ nhân tạo (AI), Internet vạn vật (IoT), thực tế ảo (VR), bản sao số (Digital Twin) và các nền tảng dữ liệu số, được kỳ vọng sẽ giúp nâng cao hiệu quả quản lý dự án, cải thiện chất lượng thiết kế và thi công, tăng cường khả năng phối hợp giữa các bên liên quan, đồng thời giảm chi phí và rủi ro trong suốt vòng đời dự án [2, 14, 33]. Nhờ đó, chuyển đổi số ngày càng được nhìn nhận như một động lực chiến lược nhằm hướng tới ngành xây dựng hiệu quả, thông minh và bền vững hơn.

*Liên hệ tác giả: toannq@huce.edu.vn
Nhận ngày 03/06/2026, sửa xong ngày 18/06/2026, chấp nhận đăng ngày 19/06/2026
Link DOI: https://doi.org/10.54772/jomc.04.2026.1406

Trong chuỗi giá trị xây dựng, doanh nghiệp tư vấn thiết kế giữ vị trí đặc biệt quan trọng do tham gia từ giai đoạn đầu của dự án và trực tiếp tạo lập hệ thống thông tin thiết kế. Các nghiên cứu về BIM và chuyển giao số tích hợp cho thấy dữ liệu thiết kế, mô hình kỹ thuật và hồ sơ số có vai trò nền tảng đối với phối hợp thiết kế, kiểm soát xung đột, dự toán, thi công và quản lý thông tin dự án [6, 15]. Do đó, doanh nghiệp tư vấn thiết kế có thể được xem là chủ thể khởi tạo và tổ chức dữ liệu thiết kế ban đầu của dự án xây dựng. Mức độ chuẩn hóa, chính xác và khả năng chia sẻ của dữ liệu thiết kế ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả sử dụng dữ liệu ở các giai đoạn tiếp theo của vòng đời công trình, đặc biệt khi dự án áp dụng BIM, Digital Twin hoặc các nền tảng dữ liệu dùng chung [15, 20, 25].

Đối với doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng tại Việt Nam, chuyển đổi số được kỳ vọng mang lại nhiều lợi ích như tăng tốc độ xử lý và cập nhật bản vẽ, giảm sai sót và xung đột giữa các bộ môn, hỗ trợ kiểm soát hồ sơ, tăng khả năng truy xuất thông tin và nâng cao chất lượng phối hợp thiết kế. Các lợi ích này phù hợp với các nghiên cứu về BIM, Digital Twin và chuyển giao số tích hợp trong xây dựng, trong đó nhấn mạnh vai trò của mô hình số, dữ liệu dùng chung và phối hợp đa bên trong cải thiện chất lượng thông tin dự án [20] [15, 24].Ở góc độ thị trường, năng lực số có thể giúp doanh nghiệp tư vấn đáp ứng tốt hơn yêu cầu kỹ thuật số của chủ đầu tư và các dự án có yêu cầu BIM hoặc quản lý dữ liệu số [10]. Tuy nhiên, quá trình chuyển đổi số cũng đặt ra nhiều rào cản liên quan đến chi phí đầu tư, thiếu kỹ năng số, thiếu tiêu chuẩn, thiếu khung pháp lý, khó chia sẻ dữ liệu và mức độ sẵn sàng của khách hàng [14, 21, 22, 24]. Bên cạnh đó, các rủi ro về hiệu quả đầu tư, an ninh dữ liệu, trách nhiệm pháp lý, phụ thuộc nền tảng và sai lệch dữ liệu cũng cần được xem xét trong quá trình triển khai chuyển đổi số [10, 20].

Qua tổng quan các tài liệu trong nghiên cứu này, có thể thấy phần lớn công trình hiện có tiếp cận chuyển đổi số ở cấp độ ngành xây dựng nói chung hoặc theo các nhóm chủ thể rộng như chủ đầu tư, nhà thầu, tư vấn và các bên liên quan trong dự án [21], [14] [3, 12, 39]. Một số nghiên cứu đã đề cập đến góc nhìn của nhà thiết kế hoặc tư vấn trong quá trình số hóa, BIM và chuyển giao số tích hợp, nhưng số lượng nghiên cứu chuyên biệt về doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng, đặc biệt trong bối cảnh Việt Nam, vẫn còn hạn chế [10, 20]. Bên cạnh đó, nhiều nghiên cứu có xu hướng tập trung vào rào cản áp dụng công nghệ số hoặc BIM [1, 15, 21, 22, 24, 28], trong khi các nghiên cứu về rủi ro số hóa lại thường được xem xét như một nhánh riêng [16, 18]. Do đó, vẫn cần một khung phân tích tích hợp đặt đồng thời ba thành phần lợi ích, rào cản và rủi ro trong bối cảnh doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng tại Việt Nam. Xuất phát từ khoảng trống trên, nghiên cứu này sử dụng phương pháp tổng quan tài liệu kết hợp phân tích nội dung định tính nhằm đề xuất khung phân tích lợi ích - rào cản - rủi ro trong chuyển đổi số của doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng tại Việt Nam.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Chuyển đổi số trong doanh nghiệp xây dựng

Chuyển đổi số trong doanh nghiệp xây dựng cần được hiểu rộng hơn việc sử dụng phần mềm hoặc thay thế hồ sơ giấy bằng hồ sơ điện tử. Về bản chất, chuyển đổi số là quá trình doanh nghiệp ứng dụng các công nghệ số để thay đổi cách thức tổ chức, vận hành, quản lý dữ liệu, phối hợp công việc và tạo lập giá trị [40]. Trong bối cảnh ngành xây dựng, quá trình này gắn liền với việc sử dụng các công nghệ như BIM, AI, IoT, Digital Twin, CDE, nền tảng quản lý dự án số và các công cụ phân tích dữ liệu [9, 25, 31].

Cần phân biệt ba cấp độ thường gặp trong quá trình chuyển đổi số: số hóa, số hóa quy trình và chuyển đổi số. Số hóa là việc chuyển đổi dữ liệu từ dạng vật lý sang dạng số[5, 24]. Số hóa quy trình là việc sử dụng công nghệ số để cải tiến một số quy trình hiện có [9, 41]. Trong khi đó, chuyển đổi số là cấp độ cao hơn, khi công nghệ số làm thay đổi toàn diện chiến lược, mô hình quản trị, quy trình làm việc, văn hóa tổ chức và phương thức tạo giá trị của doanh nghiệp [8, 9].

Ngành xây dựng có nhiều đặc điểm khiến chuyển đổi số vừa cần thiết, vừa khó triển khai. Hoạt động xây dựng thường mang tính dự án, có thời gian hữu hạn, sản phẩm không lặp lại hoàn toàn và có sự tham gia của nhiều chủ thể độc lập. Sự phân mảnh này làm phát sinh nhiều vấn đề trong quản lý thông tin, chia sẻ dữ liệu, phối hợp tiến độ và kiểm soát trách nhiệm [16, 21]. Do đó, chuyển đổi số được kỳ vọng giúp ngành xây dựng giảm sự đứt gãy thông tin, nâng cao khả năng phối hợp, giảm sai sót và tăng tính minh bạch trong quá trình thực hiện dự án.

2.2. Đặc thù chuyển đổi số trong doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng

Doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng là một chủ thể đặc thù trong chuỗi giá trị xây dựng. Khác với nhà thầu thi công chủ yếu tạo ra sản phẩm vật chất tại công trường, doanh nghiệp tư vấn thiết kế tạo ra sản phẩm dựa trên tri thức, bao gồm phương án thiết kế, hồ sơ kỹ thuật, mô hình thông tin, dữ liệu công trình và các giải pháp kỹ thuật phục vụ thi công, vận hành. Sản phẩm của tư vấn thiết kế không chỉ là bản vẽ kỹ thuật, mà còn là hệ thống thông tin chi tiết về công trình, làm cơ sở cho các hoạt động dự toán, thẩm tra, thi công và vận hành sau này [10, 15].

Trong bối cảnh ứng dụng BIM và các nền tảng dữ liệu số, vai trò của doanh nghiệp tư vấn thiết kế càng trở nên quan trọng. Tư vấn thiết kế không chỉ là đơn vị lập bản vẽ, mà còn là chủ thể tạo lập, xử lý, chuẩn hóa và quản lý dữ liệu công trình dưới dạng số. Có thể xem doanh nghiệp tư vấn thiết kế là nguồn khởi tạo dữ liệu của dự án xây dựng, bởi dữ liệu được hình thành từ giai đoạn thiết kế sẽ tiếp tục được sử dụng trong các giai đoạn thi công, nghiệm thu, vận hành, bảo trì và cải tạo công trình [20, 24].

Chuyển đổi số trong doanh nghiệp tư vấn thiết kế có một số đặc thù riêng. Thứ nhất, chuyển đổi số gắn trực tiếp với quy trình tạo lập và quản lý dữ liệu thiết kế. Thứ hai, chuyển đổi số phụ thuộc mạnh vào năng lực phối hợp liên bộ môn. Thứ ba, chuyển đổi số trong tư vấn thiết kế chịu áp lực lớn về chi phí đầu tư, vì doanh nghiệp phải đầu tư phần mềm, máy trạm, bản quyền, đào tạo và quản trị dữ liệu, trong khi mức phí thiết kế chưa chắc phản ánh đầy đủ chi phí đổi mới này [10, 15, 20].

2.3. Phân biệt lợi ích, rào cản và rủi ro trong chuyển đổi số

Trong nghiên cứu về chuyển đổi số, ba khái niệm lợi ích, rào cản và rủi ro thường có quan hệ chặt chẽ nhưng không đồng nhất. Lợi ích hoặc nhân tố thúc đẩy là những giá trị tích cực mà doanh nghiệp kỳ vọng đạt được khi triển khai chuyển đổi số. Đối với doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng, các lợi ích này có thể bao gồm tăng tốc độ xử lý và cập nhật bản vẽ, giảm sai sót và xung đột giữa các bộ môn, tự động hóa tính toán và kiểm tra tiêu chuẩn, tái sử dụng dữ liệu thiết kế, kiểm soát tiến độ, tăng minh bạch, nâng cao chất lượng hồ sơ và hỗ trợ ra quyết định[4, 10, 22, 25].

Rào cản là những điều kiện, hạn chế hoặc điểm nghẽn làm cho quá trình chuyển đổi số khó bắt đầu, khó triển khai hoặc khó duy trì. Rào cản có thể xuất hiện ở nhiều cấp độ: chiến lược, tổ chức, công nghệ, tài chính, nhân lực, pháp lý và thị trường. Các nghiên cứu trước cho thấy những rào cản nổi bật gồm thiếu nhận thức của lãnh đạo, thiếu tầm nhìn và lộ trình rõ ràng, kháng cự thay đổi, thiếu nền tảng công nghệ tích hợp, chi phí đầu tư cao, thiếu kỹ năng số, thiếu khung pháp lý và thiếu tiêu chuẩn kỹ thuật [4, 6, 11, 15, 17, 41].

Rủi ro là các tác động tiêu cực có thể phát sinh trong quá trình triển khai hoặc vận hành chuyển đổi số nếu doanh nghiệp thiếu cơ chế quản trị phù hợp. Khác với rào cản, rủi ro không nhất thiết là yếu tố ngăn doanh nghiệp bắt đầu chuyển đổi số, mà thường biểu hiện rõ hơn khi công nghệ đã được đưa vào quy trình làm việc và tạo ra các hệ quả bất lợi cho doanh nghiệp hoặc dự án. Trong doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng, các rủi ro này có thể liên quan đến chi phí duy trì và cập nhật phần mềm vượt quá khả năng tài chính, mất hoặc rò rỉ dữ liệu thiết kế, phụ thuộc vào nhà cung cấp nền tảng, sai lệch dữ liệu giữa các bên, hoặc phát sinh lỗi trong hồ sơ số do quy trình vận hành chưa được kiểm soát đầy đủ [15, 16].

Do đó, trong nghiên cứu này, ranh giới giữa rào cản và rủi ro được xác định chủ yếu dựa trên vai trò của yếu tố đó trong quá trình chuyển đổi số. Một yếu tố được xem là rào cản khi nó làm hạn chế khả năng bắt đầu, triển khai hoặc duy trì chuyển đổi số; nhưng có thể được xem là rủi ro khi nó dẫn đến các hệ quả tiêu cực trong quá trình vận hành công nghệ số. Cách phân biệt này đặc biệt cần thiết đối với các yếu tố như chi phí, kỹ năng số, quản trị dữ liệu và tiêu chuẩn kỹ thuật, vì đây là những vấn đề có thể xuất hiện ở nhiều giai đoạn khác nhau của quá trình chuyển đổi số.

3. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này sử dụng phương pháp tổng quan tài liệu có cấu trúc kết hợp với phân tích nội dung định tính nhằm hệ thống hóa các lợi ích, rào cản và rủi ro trong chuyển đổi số của doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng. Thay vì chỉ liệt kê các kết quả nghiên cứu trước, nghiên cứu tập trung vào việc nhận diện, trích xuất, so sánh, chuẩn hóa và diễn giải các yếu tố liên quan đến chuyển đổi số theo đặc thù của doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng.

Quy trình tổng quan tài liệu được thực hiện qua năm bước chính.

Bước 1: Xác định phạm vi và mục tiêu tổng quan. Nghiên cứu tập trung vào các tài liệu liên quan đến chuyển đổi số, số hóa, BIM, Digital Twin, công nghệ số trong xây dựng, công nghệ số hướng đến phát triển bền vững, cũng như các lợi ích, rào cản và rủi ro phát sinh trong quá trình triển khai công nghệ số. Trọng tâm phân tích được đặt vào doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng, do đây là nhóm doanh nghiệp có vai trò quan trọng trong việc tạo lập, xử lý và quản lý dữ liệu thiết kế của dự án.

Bước 2: Tìm kiếm và thu thập tài liệu. Tài liệu được tìm kiếm từ các cơ sở dữ liệu học thuật và nguồn tra cứu khoa học như Scopus, ScienceDirect, Web of Science, Google Scholar và các tạp chí chuyên ngành về xây dựng, quản lý xây dựng và công nghệ trong xây dựng. Các từ khóa được sử dụng bao gồm “digital transformation”, “digitalization”, “construction industry”, “design consultancy”, “BIM adoption”, “digital twin”, “drivers”, “barriers” và “risks”. Ngoài ra, nghiên cứu cũng xem xét các tài liệu liên quan đến bối cảnh các nền kinh tế đang phát triển và Việt Nam nhằm tăng tính phù hợp khi diễn giải kết quả.

Bước 3: Sàng lọc tài liệu theo mức độ liên quan. Các tài liệu được lựa chọn khi có nội dung liên quan trực tiếp đến chuyển đổi số, công nghệ số, BIM, Digital Twin hoặc các yếu tố thúc đẩy, rào cản và rủi ro trong ngành xây dựng. Nghiên cứu ưu tiên các bài báo khoa học, bài tổng quan và nghiên cứu thực nghiệm có khả năng cung cấp cơ sở cho việc nhận diện và phân loại các yếu tố. Những tài liệu không liên quan đến ngành xây dựng, chỉ đề cập chung đến chuyển đổi số ở cấp độ doanh nghiệp ngoài ngành, hoặc không cung cấp thông tin phục vụ cho mục tiêu nhận diện yếu tố được loại khỏi quá trình phân tích.

Bước 4: Trích xuất, phân loại và chuẩn hóa yếu tố. Từ các tài liệu được lựa chọn, nghiên cứu trích xuất các nội dung liên quan đến lợi ích/nhân tố thúc đẩy, rào cản và rủi ro của chuyển đổi số. Quá trình này được hỗ trợ bằng ma trận trích xuất tài liệu, trong đó mỗi yếu tố được ghi nhận theo nguồn tài liệu, bối cảnh nghiên cứu, cách diễn đạt trong tài liệu gốc và cách chuẩn hóa trong nghiên cứu này.

Bước 5: Diễn giải kết quả và xây dựng khung phân tích. Sau quá trình trích xuất, đối chiếu, gộp nhóm và chuẩn hóa thuật ngữ, các yếu tố được diễn giải lại theo đặc thù của doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng tại Việt Nam, đặc biệt là các vấn đề liên quan đến quản lý hồ sơ thiết kế, phối hợp liên bộ môn, kiểm soát phiên bản, dữ liệu BIM, bảo mật thông tin và trách nhiệm đối với hồ sơ số. Kết quả cuối cùng được hệ thống hóa thành lợi ích/nhân tố thúc đẩy, nhân tố rào cản và nhân tố rủi ro.

Do nghiên cứu đặt trọng tâm vào bối cảnh Việt Nam, việc sử dụng các tài liệu quốc tế cần được hiểu theo hướng tham chiếu có điều kiện. Các nghiên cứu tại Campuchia [22], Malaysia [26], Pakistan [12], Ghana [34], Nam Phi [16], Jordan [35] hoặc Thổ Nhĩ Kỳ [37] được sử dụng chủ yếu vì cùng phản ánh bối cảnh ngành xây dựng tại các nền kinh tế đang phát triển, nơi quá trình chuyển đổi số thường chịu ảnh hưởng bởi hạn chế về nguồn lực tài chính, năng lực nhân sự, hạ tầng công nghệ và mức độ hoàn thiện của tiêu chuẩn kỹ thuật. Trong khi đó, các nghiên cứu tại Anh [11], Úc [38], New Zealand [24], Trung Quốc [27] hoặc một số bối cảnh có mức độ số hóa cao hơn được sử dụng để tham chiếu các vấn đề liên quan đến BIM, dữ liệu số, môi trường dữ liệu chung, quyền sở hữu mô hình và trách nhiệm pháp lý trong môi trường số.

Tuy nhiên, nghiên cứu không xem các phát hiện quốc tế là kết luận có thể áp dụng nguyên trạng cho doanh nghiệp Việt Nam. Các yếu tố sau khi trích xuất được đối chiếu với bối cảnh trong nước và được diễn giải lại theo đặc thù của doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng, bao gồm quy mô doanh nghiệp, năng lực đầu tư công nghệ, mức độ sẵn sàng của chủ đầu tư, khung pháp lý về hồ sơ số/BIM, văn hóa quản trị dựa nhiều vào kinh nghiệm cá nhân và yêu cầu phối hợp giữa các bộ môn thiết kế. Vì vậy, tài liệu quốc tế đóng vai trò nhận diện các vấn đề có tính phổ biến, còn bối cảnh Việt Nam đóng vai trò điều chỉnh và giới hạn phạm vi diễn giải của nghiên cứu.

Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất khung phân tích "lợi ích kỳ vọng - rào cản triển khai - rủi ro phát sinh - điều kiện thực hiện - kết quả chuyển đổi số" cho doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng tại Việt Nam.

4. Kết quả tổng quan

4.1. Lợi ích và nhân tố thúc đẩy chuyển đổi số trong doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng

Chuyển đổi số trong doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng không chỉ tạo ra sự thay đổi về công cụ làm việc, mà còn tác động đến cách thức doanh nghiệp tổ chức quy trình thiết kế, quản lý dữ liệu, phối hợp nhân sự và cung cấp giá trị cho khách hàng. Trên cơ sở tổng quan tài liệu và hệ thống hóa các nhân tố, nghiên cứu xác định các nhân tố thúc đẩy chuyển đổi số trong doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng.

Các lợi ích này không tồn tại rời rạc, mà có thể được diễn giải theo chuỗi tác động từ cấp độ tác nghiệp đến cấp độ quản trị và phát triển dài hạn của doanh nghiệp. Trước hết, chuyển đổi số giúp cải thiện hiệu quả thực hiện công việc thiết kế thông qua việc rút ngắn thời gian xử lý hồ sơ, tăng tốc độ cập nhật bản vẽ, giảm sai sót và xung đột giữa các bộ môn, hỗ trợ tự động hóa tính toán, kiểm tra tiêu chuẩn và tái sử dụng dữ liệu thiết kế. Đây là các lợi ích trực tiếp, dễ nhận thấy trong hoạt động hằng ngày của kiến trúc sư, kỹ sư và chủ trì thiết kế, đặc biệt khi doanh nghiệp ứng dụng BIM, CDE và các nền tảng phối hợp trực tuyến [4, 10, 22, 25].

Ở cấp độ quản trị nội bộ, chuyển đổi số giúp doanh nghiệp kiểm soát tốt hơn tiến độ, khối lượng công việc, phiên bản hồ sơ, trách nhiệm xử lý và chất lượng dữ liệu thiết kế. Khi các quy trình quản lý hồ sơ, phân công nhiệm vụ, phê duyệt, lưu vết chỉnh sửa và truy xuất thông tin được thực hiện trên nền tảng số, doanh nghiệp có thể giảm sự phụ thuộc vào trao đổi thủ công, hạn chế sai lệch thông tin và nâng cao tính minh bạch trong quá trình phối hợp thiết kế [8, 10, 22, 25] . Đối với doanh nghiệp tư vấn thiết kế, các lợi ích về dữ liệu có ý nghĩa đặc biệt quan trọng. Sản phẩm đầu ra của doanh nghiệp không chỉ là bản vẽ hoặc thuyết minh kỹ thuật, mà còn là hệ thống thông tin thiết kế có thể tiếp tục được sử dụng cho bóc tách khối lượng, dự toán, thi công, vận hành và bảo trì công trình. Vì vậy, việc chuẩn hóa và quản lý dữ liệu thiết kế trên môi trường số giúp nâng cao chất lượng hồ sơ, hỗ trợ ra quyết định dựa trên dữ liệu chính xác và tạo nền tảng tích lũy tri thức thiết kế cho các dự án tiếp theo.

Ở cấp độ thị trường, năng lực số giúp doanh nghiệp tư vấn thiết kế đáp ứng tốt hơn yêu cầu của chủ đầu tư, đặc biệt trong các dự án quy mô lớn, dự án có yếu tố nước ngoài hoặc dự án yêu cầu BIM, CDE và bàn giao hồ sơ số. Doanh nghiệp có năng lực quản lý mô hình và dữ liệu số tốt sẽ có lợi thế hơn trong đấu thầu, đàm phán hợp đồng, hợp tác với đối tác chuyên nghiệp và mở rộng cơ hội tham gia các dự án có yêu cầu kỹ thuật cao [10, 23].

Về dài hạn, chuyển đổi số còn tạo điều kiện cho doanh nghiệp đổi mới phương pháp thiết kế, nâng cao năng lực số của đội ngũ kỹ sư, tăng cường hợp tác giữa các bên trong dự án và hướng tới các mục tiêu phát triển bền vững. Thông qua mô phỏng, phân tích dữ liệu và quản lý thông tin vòng đời công trình, doanh nghiệp tư vấn thiết kế có thể không chỉ cải thiện năng suất ngắn hạn, mà còn nâng cao năng lực cạnh tranh, khả năng đổi mới và chất lượng giá trị cung cấp cho khách hàng [4, 33].

4.2. Rào cản chuyển đổi số trong doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng

Mặc dù chuyển đổi số mang lại nhiều lợi ích tiềm năng, quá trình triển khai trên thực tế thường gặp nhiều rào cản. Các rào cản này không chỉ xuất phát từ hạn chế về công nghệ, mà còn liên quan đến nhận thức chiến lược, năng lực tổ chức, nguồn lực tài chính, chất lượng nhân lực, môi trường pháp lý và mức độ sẵn sàng của thị trường. Trên cơ sở tổng quan tài liệu, nghiên cứu xác định các nhân tố rào cản chuyển đổi số trong doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng.

Các rào cản này có thể được diễn giải theo chuỗi điểm nghẽn xuất hiện trong quá trình doanh nghiệp bắt đầu, triển khai và duy trì chuyển đổi số. Ở giai đoạn khởi đầu, rào cản thường xuất phát từ nhận thức và định hướng chiến lược của lãnh đạo doanh nghiệp. Thiếu nhận thức về giá trị chuyển đổi số, thiếu tầm nhìn và lộ trình rõ ràng, tư duy ưu tiên lợi ích ngắn hạn và tâm lý ngại thay đổi có thể làm cho doanh nghiệp triển khai chuyển đổi số theo hướng rời rạc, hình thức hoặc chỉ tập trung vào mua sắm phần mềm. Trong khi đó, chuyển đổi số cần được nhìn nhận như một quyết định chiến lược dài hạn, gắn với tái cấu trúc quy trình thiết kế, quản trị dữ liệu và nâng cao năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp [11, 15, 17, 27].

Khi doanh nghiệp bước vào giai đoạn triển khai, các rào cản chuyển sang cấp độ tổ chức và quản trị thay đổi. Doanh nghiệp tư vấn thiết kế thường tổ chức công việc theo các bộ môn chuyên ngành như

kiến trúc, kết cấu, cơ điện, dự toán và quản lý hồ sơ. Nếu quy trình phối hợp không được chuẩn hóa, các bộ môn vẫn có thể làm việc rời rạc trên những nền tảng khác nhau, dẫn đến dữ liệu không đồng bộ, khó kiểm soát thay đổi và tăng nguy cơ xung đột hồ sơ. Vì vậy, chuyển đổi số trong doanh nghiệp tư vấn thiết kế không chỉ đòi hỏi công cụ số, mà còn yêu cầu thay đổi cách phân công, phối hợp, phê duyệt, lưu trữ và phát hành hồ sơ thiết kế [6, 10, 15, 37].

Ở cấp độ công nghệ và vận hành, các rào cản liên quan trực tiếp đến hạ tầng số, nền tảng dữ liệu và khả năng tích hợp hệ thống. Việc thiếu nền tảng công nghệ số tích hợp làm giảm khả năng phối hợp giữa các bộ môn và hạn chế hiệu quả của BIM, CDE hoặc các hệ thống quản lý dự án số [29, 41]. Bên cạnh đó, quản trị dữ liệu và an ninh mạng cũng là những điểm nghẽn quan trọng, bởi dữ liệu thiết kế có giá trị cao, liên quan trực tiếp đến quyền sở hữu trí tuệ, trách nhiệm hợp đồng, bảo mật dự án và chất lượng hồ sơ bàn giao.

Rào cản về nhân lực có ý nghĩa đặc biệt đối với doanh nghiệp tư vấn thiết kế, vì sản phẩm của doanh nghiệp phụ thuộc trực tiếp vào năng lực của kiến trúc sư, kỹ sư và chủ trì bộ môn. Chuyển đổi số không chỉ yêu cầu nhân sự biết sử dụng phần mềm, mà còn đòi hỏi tư duy làm việc dựa trên dữ liệu, khả năng phối hợp mô hình, kiểm soát phiên bản, hiểu logic thông tin công trình và tuân thủ quy trình số [10, 33]. Nếu kỹ sư chỉ học thao tác phần mềm nhưng không hiểu cách tổ chức dữ liệu, quá trình số hóa có thể không làm tăng chất lượng hồ sơ thiết kế.

Ngoài các rào cản nội bộ, chuyển đổi số của doanh nghiệp tư vấn thiết kế còn chịu ảnh hưởng bởi môi trường pháp lý và thị trường bên ngoài. Việc thiếu khung pháp lý cho hồ sơ số, mô hình BIM, quyền sở hữu dữ liệu, trách nhiệm đối với mô hình sau phát hành và tiêu chuẩn bàn giao thông tin khiến doanh nghiệp khó xác định phạm vi trách nhiệm và giá trị pháp lý của sản phẩm số. Đồng thời, nếu chủ đầu tư, cơ quan thẩm tra, nhà thầu hoặc các bên liên quan chưa sẵn sàng tiếp nhận và sử dụng dữ liệu số, lợi ích của chuyển đổi số trong doanh nghiệp tư vấn thiết kế sẽ khó được hiện thực hóa đầy đủ.

4.3. Rủi ro trong chuyển đổi số của doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng

Bên cạnh các lợi ích kỳ vọng và rào cản triển khai, chuyển đổi số trong doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng còn tiềm ẩn nhiều rủi ro cần được nhận diện và quản trị. Nếu rào cản được hiểu là các điều kiện làm chậm, làm khó hoặc cản trở quá trình chuyển đổi số, thì rủi ro là các tác động tiêu cực có thể phát sinh trong hoặc sau quá trình triển khai chuyển đổi số. Nói cách khác, rào cản thường xuất hiện trước hoặc trong giai đoạn chuẩn bị triển khai, còn rủi ro thường biểu hiện rõ hơn khi doanh nghiệp đã đầu tư, vận hành hoặc tích hợp công nghệ số vào quy trình làm việc.

Trước hết, rủi ro tài chính có thể phát sinh khi chi phí đầu tư và duy trì chuyển đổi số vượt quá khả năng thu hồi vốn của doanh nghiệp. Đối với doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng, chi phí chuyển đổi số không chỉ bao gồm việc mua phần mềm thiết kế hoặc bản quyền BIM, mà còn bao gồm máy trạm cấu hình cao, hệ thống lưu trữ dữ liệu, nền tảng cộng tác, đào tạo nhân sự, tư vấn triển khai, bảo trì hệ thống và cập nhật phần mềm định kỳ. Trong trường hợp chủ đầu tư chưa sẵn sàng chi trả thêm cho sản phẩm số, doanh nghiệp có thể gặp rủi ro về hiệu quả tài chính ngắn hạn hoặc tỷ suất hoàn vốn không chắc chắn [16, 21].

Bên cạnh đó, rủi ro về nhân sự và văn hóa tổ chức có thể xuất hiện khi công nghệ số được đưa vào quy trình thiết kế nhưng năng lực thích ứng của tổ chức chưa theo kịp. Việc chuyển từ quy trình làm việc truyền thống sang môi trường số không chỉ đòi hỏi nhân sự biết sử dụng phần mềm, mà còn yêu cầu thay đổi cách phối hợp, kiểm soát phiên bản, cập nhật dữ liệu và chịu trách nhiệm đối với hồ sơ thiết kế. Nếu thiếu sự chuẩn bị phù hợp, doanh nghiệp có thể đối mặt với tình trạng kháng cự thay đổi, sử dụng công cụ số mang tính đối phó, phụ thuộc vào một số cá nhân có năng lực công nghệ hoặc suy giảm hiệu quả trao đổi chuyên môn giữa các kỹ sư [25, 33].

Ở khía cạnh kỹ thuật và vận hành, rủi ro có thể phát sinh từ sự phụ thuộc vào nền tảng, nhà cung cấp phần mềm và khả năng thiếu thống nhất dữ liệu giữa các bên tham gia dự án. Khi doanh nghiệp sử dụng một hệ sinh thái phần mềm nhất định nhưng thiếu phương án chuyển đổi dữ liệu, thiếu tiêu chuẩn trao đổi thông tin hoặc thiếu năng lực tự chủ về quy trình, dữ liệu thiết kế có thể bị khóa trong một nền tảng, khó chia sẻ, khó tích hợp hoặc khó khai thác trong các giai đoạn tiếp theo của dự án [4, 13]. Đối với doanh nghiệp tư vấn thiết kế, rủi ro này đặc biệt đáng chú ý vì mô hình số và hồ sơ thiết kế thường được sử dụng làm cơ sở cho phối hợp bộ môn, bóc tách khối lượng, thi công và vận hành công trình.

Ngoài ra, rủi ro bảo mật và pháp lý là một vấn đề quan trọng trong quá trình chuyển đổi số của doanh nghiệp tư vấn thiết kế. Dữ liệu thiết kế có giá trị cao, liên quan đến quyền sở hữu trí tuệ, bí mật dự án, trách nhiệm hợp đồng và uy tín nghề nghiệp của doanh nghiệp. Do đó, mất dữ liệu, rò rỉ hồ sơ, lạm dụng mô hình thiết kế hoặc chỉnh sửa dữ liệu sau khi phát hành có thể dẫn đến tranh chấp trách nhiệm, ảnh hưởng đến bản quyền, chất lượng hồ sơ và bảo mật dự án [15, 18]. Điều này cho thấy chuyển đổi số không chỉ đòi hỏi đầu tư công nghệ, mà còn cần cơ chế quản trị dữ liệu, phân quyền truy cập, kiểm soát phiên bản, lưu vết chỉnh sửa và xác định rõ trách nhiệm đối với hồ sơ số.

Bảng 1. Hệ thống lợi ích/nhân tố thúc đẩy chuyển đổi số trong doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng.

Nhân tố thúc đẩy	Ý nghĩa đối với doanh nghiệp tư vấn thiết kế	Tài liệu tham khảo
Tăng tốc độ xử lý và cập nhật bản vẽ	Rút ngắn thời gian chỉnh sửa và phát hành hồ sơ	[10, 22]
Giảm sai sót và xung đột giữa các bộ môn	Giảm lỗi phối hợp kiến trúc, kết cấu, MEP	[4, 25]
Tự động hóa tính toán và kiểm tra tiêu chuẩn	Hỗ trợ kiểm tra kỹ thuật và giảm thao tác thủ công	[5, 35]

Nhân tố thúc đẩy	Ý nghĩa đối với doanh nghiệp tư vấn thiết kế	Tài liệu tham khảo
Rút ngắn vòng lặp phản hồi và phê duyệt thiết kế	Giúp các bên trao đổi, góp ý, chỉnh sửa và phát hành hồ sơ nhanh hơn trên môi trường số.	[20, 34]
Hỗ trợ thiết kế đồng thời giữa các bộ môn	Cho phép kiến trúc, kết cấu, MEP, dự toán phối hợp sớm hơn, giảm tình trạng làm tuần tự và sửa đi sửa lại nhiều lần.	[22, 30]
Tái sử dụng dữ liệu và mô hình thiết kế	Tích lũy tri thức thiết kế và tái sử dụng dữ liệu dự án	[17, 25]
Kiểm soát tốt tiến độ và khối lượng công việc	Hỗ trợ phân công, theo dõi và kiểm soát tiến độ thiết kế	[10, 22]
Tăng minh bạch và truy xuất thông tin	Lưu vết chỉnh sửa, phê duyệt, trách nhiệm xử lý	[8, 25]
Nâng cao chất lượng hồ sơ thiết kế	Cải thiện tính thống nhất và đầy đủ của hồ sơ	[22, 25]
Ra quyết định dựa trên dữ liệu chính xác	Giảm phụ thuộc vào kinh nghiệm cá nhân đơn lẻ	[17, 25]
Đáp ứng yêu cầu kỹ thuật số của chủ đầu tư	Tăng khả năng đáp ứng dự án yêu cầu BIM/CDE	[10, 22]
Mở rộng cơ hội tham gia dự án lớn	Tăng cơ hội tham gia dự án quy mô lớn/yêu cầu số hóa	[10, 23]
Nâng cao uy tín và hình ảnh doanh nghiệp	Thể hiện năng lực chuyên nghiệp và đổi mới	[4, 22]
Thúc đẩy sáng tạo và thử nghiệm thiết kế mới	Hỗ trợ mô phỏng và so sánh phương án	[4, 10]
Nâng cao năng lực số của đội ngũ kỹ sư	Phát triển năng lực BIM, dữ liệu và phối hợp số	[4, 33]
Tăng hợp tác giữa các bên trong dự án	Cải thiện phối hợp giữa chủ đầu tư, tư vấn, nhà thầu	[8, 10]
Góp phần giảm phát thải và phát triển bền vững	Hỗ trợ tối ưu thiết kế, giảm lãng phí và hiệu quả vòng đời	[6, 25]

Bảng 2. Hệ thống nhân tố rào cản chuyển đổi số trong doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng.

Nhân tố rào cản	Ý nghĩa đối với doanh nghiệp tư vấn thiết kế	Tài liệu tham khảo
Thiếu nhận thức lãnh đạo về giá trị chuyển đổi số	Dễ triển khai hình thức, thiếu cam kết dài hạn	[11, 17]
Thiếu tầm nhìn và lộ trình rõ ràng	Không xác định được ưu tiên đầu tư và mục tiêu đo lường	[15, 27]
Ưu tiên lợi ích ngắn hạn, ngại đầu tư dài hạn	Làm doanh nghiệp trì hoãn đầu tư công nghệ	[12, 15]
Tư duy bảo thủ, ngại thay đổi	Cản trở chuyển từ bản vẽ 2D sang quy trình dữ liệu số	[4, 6]
Cấu trúc tổ chức cứng nhắc, thiếu linh hoạt	Cản trở phối hợp liên bộ môn	[6, 37]
Thiếu phối hợp giữa các phòng ban	Gây đứt gãy dữ liệu giữa kiến trúc, kết cấu, MEP, dự toán	[10, 15]
Thiếu chính sách khuyến khích đổi mới	Giảm động lực thử nghiệm công cụ và quy trình mới	[12, 15]
Quản lý thay đổi yếu kém	Dễ triển khai phần mềm nhưng không đổi quy trình	[6, 11, 21]
Sự cập nhật, nâng cấp liên tục của phần mềm và vòng đời công nghệ ngắn	Phải thường xuyên cập nhật phần mềm, đào tạo lại nhân sự làm tăng chi phí, gây gián đoạn quy trình thiết kế	[32, 34]
Thiếu nền tảng công nghệ tích hợp	Làm dữ liệu thiết kế phân tán, khó phối hợp	[29, 41]
Quản lý và bảo mật dữ liệu kém	Tăng rủi ro mất dữ liệu, sai phiên bản, rò rỉ hồ sơ	[6, 41]
Chi phí đầu tư công nghệ cao	Gây áp lực lên doanh nghiệp tư vấn quy mô vừa và nhỏ	[21, 26]
Thiếu hỗ trợ kỹ thuật và bảo trì	Khó duy trì ổn định phần mềm, BIM, CDE	[6, 26]
Thiếu kỹ năng số trong đội ngũ thiết kế	Hạn chế năng lực khai thác BIM, dữ liệu và nền tảng số	[10, 33]
Ngại học hỏi và đổi mới	Làm giảm hiệu quả đào tạo và triển khai	[6, 35]
Thiếu chuyên gia hoặc cố vấn chuyển đổi số	Doanh nghiệp khó xây dựng quy trình BIM/CDE nội bộ	[23, 41]
Đào tạo nội bộ hình thức, thiếu thực tiễn	Đào tạo nặng thao tác phần mềm, thiếu gắn với dự án thực tế	[31, 41]
Thiếu khung pháp lý cho hồ sơ và dữ liệu số	Khó xác định giá trị pháp lý của mô hình/hồ sơ số	[6, 20]
Thiếu tiêu chuẩn kỹ thuật cho chuyển đổi số	Thiếu chuẩn dữ liệu, quy trình phối hợp và bàn giao	[15, 41]
Lo ngại bản quyền phần mềm và dữ liệu	Liên quan đến quyền sở hữu mô hình và dữ liệu thiết kế	[17, 38]
Khó chia sẻ dữ liệu giữa các bên liên quan	Phản ánh tính phân mảnh giữa chủ đầu tư, tư vấn, nhà thầu	[16, 22]
Khách hàng chưa sẵn sàng số hoá	Chủ đầu tư chưa yêu cầu hoặc chưa trả phí cho sản phẩm số	[10, 41]
Thiếu áp lực cạnh tranh số trong nước	Doanh nghiệp thiếu động lực đầu tư số hóa dài hạn	[17, 37]
Khó hợp tác số với đối tác quốc tế	Khác biệt tiêu chuẩn dữ liệu, phần mềm và quy trình	[4, 17]

Nhân tố rào cản	Ý nghĩa đối với doanh nghiệp tư vấn thiết kế	Tài liệu tham khảo
Thiếu hỗ trợ tài chính và chính sách nhà nước	Doanh nghiệp nhỏ và vừa khó tiếp cận nguồn lực chuyển đổi số	[6, 12]
Biến động thị trường, rủi ro đầu tư công nghệ	Khi thị trường bất ổn, doanh nghiệp ưu tiên ngắn hạn hơn đầu tư số	[6, 35]

Bảng 3. Hệ thống nhân tố rủi ro trong chuyển đổi số của doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng.

Nhân tố rủi ro	Ý nghĩa đối với doanh nghiệp tư vấn thiết kế	Nguồn tham khảo
Chi phí đầu tư ban đầu cao	Tạo áp lực tài chính khi đầu tư phần mềm, máy trạm, đào tạo	[16, 21]
Khó duy trì, cập nhật và nâng cấp phần mềm	Tăng chi phí dài hạn và rủi ro lạc hậu công nghệ	[15, 24]
Hiệu quả tài chính ngắn hạn/ROI không chắc chắn	Khó thu hồi vốn nếu chủ đầu tư chưa trả phí cho sản phẩm số	[19, 25]
Kháng cự thay đổi trong nội bộ	Dẫn đến sử dụng đối phó, tồn tại song song quy trình thủ công và số	[16, 21]
Thiếu nhân lực am hiểu công nghệ	Gây lỗi vận hành, sai phiên bản, phụ thuộc cá nhân	[25, 33]
Nguy cơ thay đổi vai trò nghề nghiệp hoặc mất việc	Có thể tạo tâm lý bất an và giảm động lực học công nghệ	[16, 18]
Mất, rò rỉ hoặc lạm dụng dữ liệu thiết kế	Ảnh hưởng bản quyền, uy tín, trách nhiệm hợp đồng	[15, 18]
Phụ thuộc vào nền tảng và nhà cung cấp	Gây khóa dữ liệu, phụ thuộc bản quyền và chính sách nhà cung cấp	[4, 13, 25]
Thiếu thống nhất dữ liệu giữa các bên	Gây sai lệch, mất dữ liệu hoặc lỗi tích hợp mô hình	[9, 25, 41]
Giảm tương tác và trao đổi trực tiếp giữa kỹ sư	Có thể làm giảm chất lượng trao đổi chuyên môn nếu lạm dụng công cụ số	[16, 36]

5. Thảo luận

Kết quả tổng quan cho thấy chuyển đổi số trong doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng là một quá trình đa chiều, không thể được nhìn nhận đơn giản như việc ứng dụng một phần mềm hay công nghệ riêng lẻ. Thay vào đó, chuyển đổi số cần được hiểu như một quá trình quản trị thay đổi, trong đó các lợi ích kỳ vọng, rào cản triển khai và rủi ro phát sinh có quan hệ chặt chẽ với nhau.

Các lợi ích/nhân tố thúc đẩy phản ánh động lực khiến doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng cần thực hiện chuyển đổi số. Tuy nhiên, các lợi ích này không tự động xuất hiện chỉ nhờ việc đầu tư công nghệ. Để các lợi ích kỳ vọng trở thành kết quả thực tế, doanh nghiệp cần vượt qua hệ thống rào cản triển khai. Chẳng hạn, lợi ích về tăng năng suất và giảm sai sót thiết kế phụ thuộc vào khả năng chuẩn hóa quy trình phối hợp giữa các bộ môn, năng lực sử dụng công cụ số của kỹ sư, chất lượng dữ liệu đầu vào và mức độ tích hợp giữa các phần mềm [10, 22].

Bên cạnh rào cản, quá trình chuyển đổi số còn có thể làm phát sinh các rủi ro nếu doanh nghiệp triển khai thiếu kiểm soát. Các rủi ro tài chính có thể xuất hiện khi doanh nghiệp đầu tư công nghệ nhưng không gắn với lộ trình, mục tiêu và khả năng thu hồi chi phí. Rủi ro kỹ thuật và vận hành có thể phát sinh nếu doanh nghiệp triển khai công nghệ mà thiếu tiêu chuẩn dữ liệu và quy trình phối hợp. Rủi ro bảo mật và pháp lý, đặc biệt là mất, rò rỉ hoặc lạm dụng dữ liệu thiết kế, càng đáng chú ý vì dữ liệu thiết kế là tài sản trí tuệ và là cơ sở trách nhiệm nghề nghiệp của doanh nghiệp tư vấn thiết kế [16, 25][15].

So với doanh nghiệp xây dựng nói chung, doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng có những đặc thù riêng khiến quá trình chuyển đổi số cần được tiếp cận theo cách chuyên biệt. Mặc dù nhiều lợi ích, rào cản và rủi ro của chuyển đổi số có thể xuất hiện ở các loại hình doanh nghiệp xây dựng khác nhau, một số yếu tố có tính đặc thù cao hơn đối với doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng do đặc điểm sản phẩm đầu ra của nhóm doanh nghiệp này là hồ sơ thiết kế, mô hình thông tin và dữ liệu kỹ thuật. Trước hết, ở nhóm lợi ích, khả năng tái sử dụng dữ liệu và mô hình thiết kế là một yếu tố có ý nghĩa đặc thù. Đối với doanh nghiệp tư vấn thiết kế, dữ liệu số không chỉ phục vụ một dự án đơn lẻ, mà còn có thể trở thành tài sản tri thức của doanh nghiệp thông qua hệ thống thư viện chi tiết thiết kế, cấu kiện BIM, family, mẫu hồ sơ, tiêu chuẩn nội bộ và dữ liệu kinh nghiệm từ các dự án trước. Khác với nhà thầu thi công, nơi dữ liệu số thường gắn nhiều hơn với quản lý tiến độ, khối lượng hoặc công trường, doanh nghiệp tư vấn thiết kế có thể khai thác dữ liệu thiết kế để rút ngắn thời gian phát triển phương án, kiểm soát tính thống nhất giữa các bộ môn và nâng cao chất lượng hồ sơ ở các dự án tương tự.

Đối với nhóm rào cản, vấn đề quyền sở hữu trí tuệ và quyền khai thác file BIM, thư viện thiết kế và dữ liệu mô hình là một điểm nghẽn quan trọng đối với doanh nghiệp tư vấn thiết kế. Trong môi trường làm việc truyền thống, sản phẩm bàn giao thường được hiểu là bộ hồ sơ thiết kế dưới dạng bản vẽ, thuyết minh và các tài liệu kỹ thuật. Tuy nhiên, khi chuyển sang môi trường số, sản phẩm thiết kế có thể bao gồm cả mô hình BIM, dữ liệu thuộc tính, thư viện đối tượng, cấu trúc mô hình và các tệp làm việc có khả năng được chỉnh sửa, khai thác hoặc tái sử dụng ở các giai đoạn sau. Điều này đặt ra câu hỏi về phạm vi bàn giao, quyền sở hữu mô hình, quyền chỉnh sửa dữ liệu, quyền tái sử dụng thư viện thiết kế và trách nhiệm của các bên khi mô hình bị thay đổi sau khi tư vấn thiết kế đã phát hành. Nếu các nội dung này không được quy định rõ trong hợp đồng, doanh nghiệp tư vấn thiết kế có thể gặp khó khăn khi vừa phải đáp ứng yêu cầu bàn giao dữ liệu số

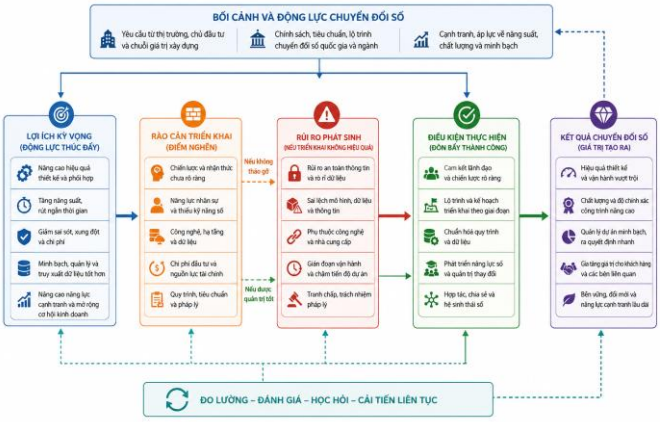
của chủ đầu tư, vừa phải bảo vệ tài sản tri thức và trách nhiệm nghề nghiệp của mình.

Tương tự ở nhóm rủi ro, trách nhiệm pháp lý đối với sai sót trong mô hình số hoặc hồ sơ số là yếu tố thể hiện rõ nhất tính đặc thù của doanh nghiệp tư vấn thiết kế. Khi mô hình số được sử dụng làm cơ sở cho bóc tách khối lượng, phối hợp bộ môn, thi công hoặc quản lý vận hành, sai sót trong mô hình không còn chỉ là lỗi kỹ thuật nội bộ mà có thể dẫn đến sai lệch khối lượng, xung đột thiết kế, phát sinh chi phí, chậm tiến độ hoặc tranh chấp giữa các bên. Rủi ro này trở nên phức tạp hơn khi dữ liệu thiết kế được chia sẻ qua nhiều nền tảng, được nhiều bên truy cập và có thể bị chỉnh sửa trong quá trình phối hợp. Do đó, đối với doanh nghiệp tư vấn thiết kế, chuyển đổi số không chỉ tạo ra yêu cầu về năng lực công nghệ, mà còn đòi hỏi cơ chế kiểm soát phiên bản, phân quyền truy cập, lưu vết chỉnh sửa, quy định phạm vi sử dụng mô hình và xác định rõ trách nhiệm đối với từng lần phát hành hồ sơ số. Đây là những vấn đề có tính đặc thù cao hơn so với các lợi ích, rào cản và rủi ro chung của doanh nghiệp xây dựng.

Từ các phân tích trên, nghiên cứu đề xuất khung phân tích "lợi ích kỳ vọng - rào cản triển khai - rủi ro phát sinh - điều kiện thực hiện - kết quả chuyển đổi số" cho doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng. Khung nghiên cứu này cho thấy chuyển đổi số là một quá trình động, trong đó lợi ích, rào cản và rủi ro không tồn tại độc lập mà tương tác với nhau trong suốt quá trình doanh nghiệp triển khai công nghệ số.

Cách tiếp cận này có thể được đặt trong quan hệ tham chiếu với các mô hình đã được sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu về chấp nhận và triển khai đổi mới công nghệ, như TOE hoặc HOT-fit. Các mô hình này có giá trị trong việc phân loại các yếu tố ảnh hưởng đến việc áp dụng công nghệ theo các chiều cạnh công nghệ, tổ chức, môi trường hoặc sự phù hợp giữa con người, tổ chức và công nghệ. Tuy nhiên, mục tiêu của nghiên cứu này không chỉ là phân loại các yếu tố ảnh hưởng, mà còn làm rõ vai trò của từng nhóm yếu tố trong quá trình chuyển đổi số của doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng. Theo đó, lợi ích phản ánh động lực kỳ vọng, rào cản thể hiện các điểm nghẽn triển khai, rủi ro cho thấy các hệ quả bất lợi có thể phát sinh, còn điều kiện thực hiện đóng vai trò hỗ trợ kiểm soát rủi ro và chuyển hóa lợi ích kỳ vọng thành kết quả thực tế.

Giá trị của khung phân tích đề xuất vì vậy nằm ở việc tổ chức các yếu tố theo logic quá trình thay vì chỉ theo logic phân loại. Điều này đặc biệt phù hợp với doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng, bởi chuyển đổi số trong nhóm doanh nghiệp này là một quá trình diễn ra liên tục, không chỉ dừng lại ở việc lựa chọn và sử dụng phần mềm, mà gắn trực tiếp với quản lý dữ liệu thiết kế, phối hợp liên bộ môn, kiểm soát phiên bản hồ sơ, bảo mật thông tin, quyền sở hữu dữ liệu/mô hình số và trách nhiệm đối với sản phẩm thiết kế. Nói cách khác, khung phân tích đề xuất giúp giải thích không chỉ "yếu tố nào ảnh hưởng đến chuyển đổi số", mà còn "yếu tố đó tác động ở giai đoạn nào và thông qua cơ chế nào" trong quá trình doanh nghiệp tư vấn thiết kế triển khai chuyển đổi số.



Hình 1. Khung phân tích đề xuất lợi ích - rào cản - rủi ro trong chuyển đổi số của doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng dựa trên cơ sở tổng quan tài liệu.

6. Khuyến nghị với các bên liên quan

Từ bộ khung lợi ích/nhân tố thúc đẩy, rào cản và rủi ro, có thể thấy chuyển đổi số trong doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng không nên được tiếp cận như một hoạt động đầu tư công nghệ đơn lẻ. Để chuyển đổi số tạo ra giá trị thực chất, các chủ thể liên quan cần đồng thời thúc đẩy lợi ích kỳ vọng, tháo gỡ rào cản triển khai và kiểm soát rủi ro phát sinh.

Đối với lãnh đạo doanh nghiệp tư vấn thiết kế, cần xác định chuyển đổi số là một định hướng chiến lược dài hạn, không phải là hoạt động mua sắm phần mềm hoặc chạy theo xu hướng công nghệ. Doanh nghiệp cần xây dựng lộ trình chuyển đổi số theo từng giai đoạn, bắt đầu từ những vấn đề thiết thực như quản lý hồ sơ thiết kế, kiểm soát phiên bản bản vẽ, phối hợp liên bộ môn, lưu trữ dữ liệu dự án và chuẩn hóa quy trình làm việc.

Đối với bộ phận kỹ thuật và quản lý dự án, hàm ý quan trọng nhất là chuẩn hóa quy trình trước khi mở rộng công nghệ. Bộ phận kỹ thuật cần xây dựng các quy định cơ bản về đặt tên file, quản lý phiên bản, phân quyền truy cập, kiểm soát phát hành hồ sơ, phản hồi yêu cầu thay đổi và lưu trữ dữ liệu sau dự án. Ngoài ra, cần chuẩn hóa phối hợp giữa các bộ môn thiết kế, đào tạo theo tình huống dự án thực tế thay vì chỉ đào tạo thao tác phần mềm.

Đối với cơ quan quản lý và hiệp hội nghề nghiệp, cần tiếp tục hoàn thiện khung pháp lý liên quan đến hồ sơ số, mô hình BIM, dữ liệu thiết kế và trách nhiệm pháp lý trong môi trường số. Các tiêu chuẩn về cấu trúc dữ liệu, mức độ phát triển thông tin, quy trình phối hợp BIM, môi trường dữ liệu chung, bàn giao hồ sơ số, đặt tên tệp, phân quyền truy cập và quản lý phiên bản sẽ giúp giảm sự phân mảnh giữa các bên.

Bảng 4. Khuyến nghị với các bên liên quan.

Vấn đề chính	Khuyến nghị	Chủ thể thực hiện
Thiếu chiến lược và lộ trình	Xây dựng lộ trình chuyển đổi số theo giai đoạn; gắn với mục tiêu kinh doanh	Lãnh đạo doanh nghiệp
Phối hợp nội bộ yếu	Chuẩn hóa quy trình phối hợp liên bộ môn, quản lý phiên bản, phân quyền dữ liệu	Bộ phận kỹ thuật/quản lý dự án
Chi phí và ROI không chắc chắn	Triển khai thí điểm, đánh giá hiệu quả, mở rộng theo giai đoạn	Lãnh đạo doanh nghiệp
Thiếu năng lực số	Đào tạo theo dự án thực tế, phát triển nhóm BIM/CDE nội bộ	Doanh nghiệp, hiệp hội nghề nghiệp
Rủi ro dữ liệu và pháp lý	Hoàn thiện tiêu chuẩn dữ liệu, quy định quyền sở hữu mô hình, bảo mật hồ sơ	Cơ quan quản lý, hiệp hội, doanh nghiệp
Thị trường chưa ghi nhận giá trị số	Đưa năng lực số vào tiêu chí lựa chọn tư vấn; khuyến khích chủ đầu tư yêu cầu hồ sơ số	Chủ đầu tư, cơ quan quản lý, hiệp hội

7. Kết luận

Nghiên cứu đã tổng quan tài liệu và phân tích nội dung nhằm làm rõ các lợi ích, rào cản và rủi ro trong chuyển đổi số của doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng tại Việt Nam. Kết quả nghiên cứu cho thấy chuyển đổi số trong doanh nghiệp tư vấn thiết kế không chỉ là quá trình ứng dụng phần mềm hay công nghệ mới, mà là một quá trình thay đổi toàn diện liên quan đến chiến lược, quy trình thiết kế, quản trị dữ liệu, năng lực nhân sự, phối hợp liên bộ môn và quan hệ với các bên trong dự án.

Trên cơ sở tổng quan tài liệu, nghiên cứu đã hệ thống hóa các lợi ích/nhân tố thúc đẩy, rào cản và rủi ro trong chuyển đổi số của doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng. Nhóm lợi ích phản ánh các giá trị kỳ vọng như nâng cao hiệu quả thiết kế, tăng năng suất, giảm sai sót giữa các bộ môn, cải thiện quản lý chất lượng, tăng minh bạch thông tin, hỗ trợ ra quyết định, nâng cao năng lực cạnh tranh, phát triển năng lực số của đội ngũ kỹ sư và thúc đẩy phát triển bền vững. Nhóm rào cản cho thấy quá trình chuyển đổi số bị chi phối bởi nhiều điểm nghẽn về nhận thức chiến lược, tổ chức, công nghệ, dữ liệu, tài chính, nhân lực, pháp lý, tiêu chuẩn và thị trường. Trong khi đó, nhóm rủi ro phản ánh các tác động tiêu cực có thể phát sinh nếu chuyển đổi số không được quản trị phù hợp.

Từ các phân tích tổng hợp trên nghiên cứu đề xuất khung phân tích tích hợp "lợi ích kỳ vọng - rào cản triển khai - rủi ro phát sinh - điều kiện thực hiện - kết quả chuyển đổi số" cho doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng tại Việt Nam. Khung phân tích này cho thấy lợi ích là động lực thúc đẩy chuyển đổi số, rào cản là các điểm nghẽn làm hạn chế khả năng hiện thực hóa lợi ích, còn rủi ro là các hệ quả tiêu cực có thể phát sinh nếu doanh nghiệp triển khai thiếu kiểm soát.

Tuy nhiên, nghiên cứu vẫn có một số hạn chế. Thứ nhất, nghiên cứu chủ yếu dựa trên tổng quan tài liệu và phân tích nội dung, chưa kiểm định thực nghiệm mức độ ảnh hưởng của từng lợi ích, rào cản và rủi ro trong bối cảnh doanh nghiệp tư vấn thiết kế tại Việt Nam. Thứ hai, một số rủi ro trong chuyển đổi số, đặc biệt là rủi ro thay đổi vai trò nghề nghiệp và suy giảm tương tác trực tiếp giữa kỹ sư, cần được tiếp tục đối chiếu sâu hơn với tài liệu gốc và dữ liệu thực tiễn. Thứ ba, bộ tài liệu tổng quan có phạm vi quốc tế khá rộng, trong khi số nghiên cứu chuyên biệt về doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng tại Việt Nam còn hạn chế.

Từ những hạn chế trên, các nghiên cứu tiếp theo có thể phát triển theo một số hướng: thực hiện khảo sát thực nghiệm tại các doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng ở Việt Nam; sử dụng chỉ số tầm quan trọng tương đối (Relative Importance Index - RII) để xếp hạng các yếu tố ảnh hưởng; áp dụng DEMATEL để phân tích mối quan hệ nhân - quả giữa các nhân tố; hoặc triển khai nghiên cứu tình huống tại một số doanh nghiệp tư vấn thiết kế cụ thể.

Tuyên bố về việc sử dụng AI tạo sinh

Trong quá trình chuẩn bị bài báo này, các tác giả đã sử dụng ChatGPT để trình bày sơ đồ và tối ưu hóa văn phong để tăng tính diễn đạt tự nhiên. Sau khi sử dụng công cụ, các tác giả đã tiến hành rà soát, biên tập kỹ lưỡng toàn bộ văn bản và cam kết chịu trách nhiệm hoàn toàn về nội dung cuối cùng của ấn phẩm.

Tuyên bố về xung đột lợi ích

Các tác giả xin cam đoan không có bất kỳ xung đột lợi ích nào liên quan đến việc thực hiện và công bố bài báo này.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin cảm ơn sự hỗ trợ của Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (HUCE), Bộ Giáo dục và Đào tạo trong suốt thời gian thực hiện nghiên cứu này. Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo trong đề tài mã số B2025-XDA-09.

Tài liệu tham khảo

[1]. Huỳnh Nhật Minh; 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. 2025;15(03):254–Trang 9. https://doi.org/10.54772/jomc.03.2025.968.

[2]. Nguyễn Quốc Toản, Vũ Văn Phong, Nguyễn Trung Luân; Tổng quan các nhân tố ảnh hưởng đến việc chuyển đổi số phục vụ quản lý xây dựng tại Việt Nam. Tạp chí Xây dựng-Bộ Xây dựng. 2022(07):106–13. https://www.researchgate.net/publication/362124309.

[3]. Trần Trung Kiên; Chuyển đổi số trong ngành xây dựng: Bài học kinh nghiệm của một số quốc gia trên thế giới. Tạp chí Vật liệu và Xây dựng-Bộ Xây dựng. 2025;15(06):230–Trang 8. https://doi.org/10.54772/jomc.06.2025.1086.

[4]. Aghimien D., Aigbavboa C., Oke A., Thwala W., Moripe P. Digitalization of construction organisations–a case for digital partnering. International Journal of Construction Management. 2022;22(10):1950–9. https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1745134.

[5]. Bucher D. Decentralized Data Technologies: Potentials and Impact for the Built Environment: ETH Zurich; 2025. https://doi.org/10.3929/ethz-b-000737509.

[6]. Hassan A.M., Negash Y.T., Hanum F. An assessment of barriers to digital transformation in circular Construction: An application of stakeholder theory. Ain Shams Engineering Journal. 2024;15(7):102787. https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.102787.

[7]. Maskuriy R., Selamat A., Maresova P., Krejcar O., David O.O. Industry 4.0 for the construction industry: Review of management perspective. Economies. 2019;7(3):68. https://doi.org/10.3390/economies7030068.

[8]. Morakanyane R., O'Reilly P., McAvoy J., Grace A. Determining digital transformation success factors. 2020. https://aisel.aisnet.org/hicss-53/in/digital_transformation/8/.

[9]. Olanipekun A.O., Sutrisna M. Facilitating Digital Transformation in Construction—A Systematic Review of the Current State of the Art. Frontiers in Built Environment. 2021;Volume 7 - 2021. https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.660758.

[10]. Perera S., Jin X., Samaratunga M., Gunasekara K. Drivers and barriers to digitalisation: a cross-analysis of the views of designers and builders in the construction industry. Journal of Information Technology in Construction. 2023;28. https://www.itcon.org/paper/2023/5.

[11]. Shojaei R.S., Burgess G. Non-technical inhibitors: Exploring the adoption of digital innovation in the UK construction industry. Technological Forecasting and Social Change. 2022;185:122036. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122036.

[12]. Tanoli W.A. Assessing Drivers, Barriers and Policy Interventions for Implementing Digitalization in the Construction Industry of Pakistan. Buildings. 2025;15(15):2798. https://doi.org/10.3390/buildings15152798.

[13]. Torres J., San-Mateos R., Lasarte N., Mediavilla A., Sagarna M., León I. Building Digital Twins to Overcome Digitalization Barriers for Automating Construction Site Management. Buildings. 2024;14(7):2238. https://doi.org/10.3390/buildings14072238.

[14]. Van Tam N., Toan N.Q., Van Phong V. Investigating potential barriers to construction digitalization in emerging economies: A study in Vietnam. International Journal of Information Management Data Insights. 2024;4(1):100226. https://doi.org/10.1016/j.jjimei.2024.100226.

[15]. Wuni I.Y., Abankwa D.A., Koc K., Adukpo S.E., Antwi-Afari M.F. Critical barriers to the adoption of integrated digital delivery in the construction industry. Journal of Building Engineering.2024;83:108474. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S235271022400041X.

[16]. Aghimien D., Aigbavboa C., Meno T., Ikuabe M. Unravelling the risks of construction digitalisation in developing countries. Construction Innovation. 2021;21(3):456–75. https://doi.org/10.1108/CI-02-2020-0026.

[17]. Alsofiani M.A. Digitalization in infrastructure construction projects: A prisma-based review of benefits and obstacles. arXiv preprint arXiv:240516875. 2024. https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.16875.

[18]. Bajpai A., Misra S.C., editors. Identifying critical risk factors for use of digitalization in construction industry: A case study. 2020 IEEE India Council International Subsections Conference (INDISCON); 2020: IEEE. DOI 10.1109/INDISCON50162.2020.00036.

[19]. Chen X., Chang-Richards A.Y., Yiu T.W., Ling F.Y.Y., Pelosi A., Yang N. A multivariate regression analysis of barriers to digital technologies adoption in the construction industry. Engineering, Construction and Architectural Management. 2024;31(11):4281–307. https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2022-1051.

[20]. Dao T.-N., Chen P.-H., Nguyen T.-Q. Critical Success Factors and a Contractual Framework for Construction Projects Adopting Building Information Modeling in Vietnam. International Journal of Civil Engineering. 2020;19(1):85–102. https://doi.org/10.1007/s40999-020-00542-3.

[21]. Dauda J.A., Chavan N.N., Saka A.B., Ajayi S.O., Oyegoke A.S. An appraisal of barriers to digitalisation of construction industry in developing countries: perspective from India. International Journal of Construction Management. 2025;25(7):770–82. https://doi.org/10.1080/15623599.2024.2362014.

[22]. Durdyev S., Mbachu J., Thurnell D., Zhao L., Hosseini M.R. BIM Adoption in the Cambodian Construction Industry: Key Drivers and Barriers. ISPRS International Journal of Geo-Information. 2021;10(4). https://doi.org/10.3390/ijgi10040215.

[23]. FASASI M., Aminu M.B., Ogunmilua O.K. Assessing Drivers and Barriers to the Adoption of Smart Technologies in the Construction Industry: A Quantitative Study. Journal of Materials Engineering, Structures and Computation. 2024;3(2). https://doi.org/10.5281/zenodo.11400958.

[24]. Hall A.T., Durdyev S., Koc K., Ekmekcioglu O., Tupenaite L. Multi-criteria analysis of barriers to building information modeling (BIM) adoption for SMEs in New Zealand construction industry. Engineering, Construction and Architectural Management. 2023;30(9):3798–816. https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2022-0215.

[25]. Jahangir M.F., Leslie Schultz C.P., Kamari A. A review of drivers and barriers of Digital Twin adoption in building project development processes. Journal of Information Technology in Construction. 2024;29. DOI: 10.36680/j.itcon.2024.008.

[26]. Lew Y.-L., Toh T., Lim K., Yan F., Yow L., editors. A study on the constraints of implementing Information and Communication Technology (ICT) in Malaysian Construction Industry. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; 2019: IOP Publishing. DOI 10.1088/1755-1315/385/1/012005.

[27]. Liu H., Yu H., Zhou H., Zhang X. Research on the influencing factors of construction enterprises' digital transformation based on DEMATEL-TAISM. Sustainability. 2023;15(12):9251. https://doi.org/10.3390/su15129251.

[28]. Manzoor B., Othman I., Gardezi S.S.S., Altan H., Abdalla S.B. BIM-Based Research Framework for Sustainable Building Projects: A Strategy for Mitigating BIM Implementation Barriers. Applied Sciences. 2021;11(12):5397. https://doi.org/10.3390/app11125397.

[29]. Oke A.E., Aliu J., Onajite S.A. Barriers to the adoption of digital technologies for sustainable construction in a developing economy. Architectural Engineering and Design Management. 2024;20(3):431–47. https://doi.org/10.1080/17452007.2023.2187754.

[30]. Olanipekun A.O., Sutrisna M. Facilitating Digital Transformation in Construction—A Systematic Review of the Current State of the Art. Frontiers in Built Environment. 2021;7.https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.660758.

[31]. Opoku D.-G.J., Perera S., Osei-Kyei R., Rashidi M., Bamdad K., Famakinwa T., editors. Barriers to the adoption of digital twin in the construction industry: A literature review. Informatics; 2023: MDPI. https://doi.org/10.3390/informatics10010014.

[32]. Perera S., Jin X., Samaratunga M., Gunasekara K. Drivers and barriers to digitalisation: a cross-analysis of the views of designers and builders in the construction industry. Journal of Information Technology in Construction. 2023;28:87–106. https://www.itcon.org/paper/2023/5.

[33]. Pittri H., Godawatte G.A.G.R., Atibila D.W., Agyekum K., Amartey P.A., Botchway E.A., et al. Knowledge, Training, and Skills Gaps for Emerging Construction Technologies Adoption in the Construction Industry of a Developing Country. International Journal of Construction Education and Research. 2025:1–27. https://doi.org/10.1080/15578771.2025.2587943.

[34]. Pittri H., Godawatte G.A.G.R., Esangbedo O.P., Antwi-Afari P., Bao Z. Exploring Barriers to the Adoption of Digital Technologies for Circular Economy Practices in the Construction Industry in Developing Countries: A Case of Ghana. Buildings. 2025;15(7). https://doi.org/10.3390/buildings15071090.

[35]. Rawan Al Omari G.S., Waleed Abu-Khader, Rateb Sweis. Barriers to the Adoption of Digitalization in the Construction Industry: Perspectives of Owners, Consultants, and Contractors. Construction Economics and Building. 2023;23(3/4). https://doi.org/10.5130/AJCEB.v23i3/4.8636.

[36]. Schnell P., Haag P., Jünger H.C. Implementation of digital technologies in construction companies: establishing a holistic process which addresses current barriers. Businesses. 2022;3(1). https://doi.org/10.3390/businesses3010001.

[37]. Semiz F., Aladag H., Isık Z. Barriers to the digital transformation process in the Turkish construction industry. Recent Adv Sci Eng. 2023;3:58–69. DOI: 10.14744/rase.2023.0007.

[38]. Ullah F., Sepasgozar S.M., Thaheem M.J., Al-Turjman F. Barriers to the digitalisation and innovation of Australian Smart Real Estate: A managerial perspective on the technology non-adoption. Environmental Technology & Innovation. 2021;22:101527. https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101527.

[39]. Vararean-Cochisa D., Crisan E. The digital transformation of the construction industry: a review. IIM Ranchi Journal of Management Studies. 2024;4. https://doi.org/10.1108/IRJMS-04-2024-0035.

[40]. Westerman G., Bonnet D., McAfee A. Leading digital: Turning technology into business transformation: Harvard Business Press; 2014.

[41]. Zhang N., Ye J., Zhong Y., Chen Z. Digital Transformation in the Chinese Construction Industry: Status, Barriers, and Impact. Buildings. 2023;13(4):1092. https://doi.org/10.3390/buildings13041092.