

Chuyển đổi số trong ngành xây dựng: Bài học kinh nghiệm của một số quốc gia trên thế giới

Trần Trung Kiên^{1*}

¹ Khoa Quản trị, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

TỪ KHOẢ

Bản sao số
Chuyển đổi số
Công nghệ số
Mô hình thông tin công trình
Ngành xây dựng

TÓM TẮT

Chuyển đổi số đang trở thành một xu thế phát triển tất yếu trong bối cảnh cách mạng công nghiệp lần thứ tư, với tác động sâu rộng đến hầu hết các lĩnh vực, trong đó có ngành xây dựng. Việc nghiên cứu và học hỏi kinh nghiệm quốc tế về triển khai chuyển đổi số là cần thiết để xây dựng chiến lược phù hợp với điều kiện thực tiễn ngành xây dựng của Việt Nam. Bằng việc thu thập tài liệu và phân tích kinh nghiệm chuyển đổi số ngành xây dựng của các quốc gia điển hình là Singapore, Anh, Mỹ, bài báo đề xuất một số bài học kinh nghiệm có thể vận dụng cho ngành xây dựng của Việt Nam. Để đẩy nhanh quá trình chuyển đổi số, trong thời gian tới, ngành xây dựng Việt Nam cần có các cơ chế hỗ trợ, chính sách chuyển đổi số chi tiết; đầu tư vào đào tạo và nâng cao kỹ năng số cho nhân lực; đầu tư công nghệ chiến lược; xây dựng văn hóa số và phát triển hệ sinh thái số.

KEYWORDS

Digital Twins
Digital Transformation
Digital Technologies
BIM
Construction Industry

ABSTRACT

In the context of the Fourth Industrial Revolution, digital transformation has become an inevitable development trend, with far-reaching impacts on most sectors, including the construction industry. Researching and learning from international experiences in digital transformation is essential for developing strategies suitable for the specific context of Vietnam's construction sector. By collecting documents and analyzing the digital transformation experiences in the construction industries of key countries such as Singapore, the United Kingdom, and the United States, this paper proposes several lessons that can be applied to Vietnam's construction industry. To accelerate digital transformation process, Vietnam's construction industry should focus on establishing supportive mechanisms and detailed policies; investing in training and enhancing digital skills for the workforce, undertaking strategic technology investments, fostering a digital culture and developing a comprehensive digital ecosystem.

1. Khái quát chuyển đổi số trong ngành xây dựng

1.1. Chuyển đổi số trong ngành xây dựng

Chuyển đổi số là quá trình thay đổi tổng thể và toàn diện của cá nhân, tổ chức về cách sống, cách làm việc và phương thức sản xuất dựa trên các công nghệ số [1]. Như vậy có thể hiểu chuyển đổi số trong ngành xây dựng là quá trình ứng dụng các công nghệ số hiện đại để quản lý và vận hành toàn diện các hoạt động xây dựng. Mục tiêu chính của chuyển đổi số trong ngành xây dựng là nâng cao hiệu quả quản lý, tối ưu thời gian và chi phí, cải thiện chất lượng, nâng cao an toàn và thúc đẩy phát triển bền vững [2]. Các công nghệ số chủ đạo thúc đẩy chuyển đổi số trong ngành xây dựng gồm: Mô hình thông tin công trình (BIM), Internet vạn vật (IoT), trí tuệ nhân tạo (AI), bản sao số (Digital Twins), thực tế tăng cường (AR) và thực tế ảo (VR), điện toán đám mây (Cloud Computing) và phân tích dữ liệu lớn (Big Data Analytics). Các công nghệ số có mối liên hệ hỗ trợ cho nhau, BIM sẽ phát huy tối đa khi được tích hợp với các công nghệ số khác như IoT để thu thập dữ liệu thời gian thực, AI để phân tích dữ liệu, và

Digital Twins để trực quan hóa cũng như dự đoán diễn biến của công trình một cách tổng thể [3]. Do đó, chuyển đổi số không chỉ đơn thuần là việc áp dụng các công cụ riêng lẻ, mà là quá trình xây dựng một hệ sinh thái các giải pháp kỹ thuật số được kết nối và vận hành đồng bộ, nhằm tối ưu hóa hiệu quả và giá trị mang lại cho toàn bộ vòng đời công trình.

1.2. Phân biệt số hóa, số hóa quy trình và chuyển đổi số

Số hóa (Digitization): Là quá trình chuyển đổi dữ liệu từ dạng vật lý sang dạng số. Số hóa không thay đổi quy trình làm việc, là bước đầu tiên trong lộ trình chuyển đổi số [4]. Mục tiêu của số hóa là tạo ra bản sao kỹ thuật số của thông tin, giúp dễ lưu trữ, tìm kiếm và chia sẻ.

Số hóa quy trình (Digitalization/Process Digitalization): Là việc ứng dụng công nghệ số để cải tiến hoặc tự động hóa một phần hay toàn bộ quy trình nghiệp vụ hiện tại. Số hóa quy trình có cải tiến quy trình nhưng vẫn dựa trên cách vận hành cũ và là bước trung gian

*Liên hệ tác giả: kientt@utt.edu.vn

Nhận ngày 07/09/2025, sửa xong ngày 30/09/2025, chấp nhận đăng ngày 01/09/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.06.2025.1086>

giữa số hóa và chuyển đổi số [4]. Mục tiêu của số hóa quy trình là tăng hiệu quả, giảm thời gian và lỗi, tiết kiệm chi phí trong quy trình.

Chuyển đổi số (Digital Transformation): Là quá trình thay đổi toàn diện cách tổ chức vận hành và tạo ra giá trị thông qua việc tích hợp công nghệ số vào tất cả các lĩnh vực của tổ chức/doanh nghiệp.

Chuyển đổi số bao gồm cả thay đổi chiến lược, cấu trúc tổ chức và văn hóa doanh nghiệp, là một quá trình dài hạn và mang tính chiến lược. Mục tiêu của chuyển đổi số là tăng cường năng lực cạnh tranh, đổi mới mô hình kinh doanh, nâng cao trải nghiệm các bên liên quan [4].

Bảng 1. So sánh số hóa, số hóa quy trình và chuyển đổi số.

Tiêu chí	Số hóa (Digitization)	Số hóa quy trình (Digitalization)	Chuyển đổi số (Digital Transformation)
Định nghĩa	Chuyển đổi dữ liệu từ dạng vật lý (analog) sang dạng số (digital)	Sử dụng công nghệ số để thay đổi quy trình kinh doanh hiện có	Thay đổi mô hình kinh doanh, văn hóa, chiến lược và hoạt động thông qua công nghệ số
Mục tiêu	Chuyển đổi định dạng dữ liệu, lưu trữ hiệu quả hơn	Tối ưu hóa quy trình hiện có	Tạo ra giá trị mới, mở ra không gian phát triển mới, thay đổi cách thức hoạt động và tương tác
Phạm vi	Dữ liệu, thông tin	Quy trình, hoạt động	Toàn bộ tổ chức, mô hình kinh doanh, văn hóa, chiến lược
Tác động	Cục bộ	Cải tiến một phần	Cải tổ toàn diện
Ví dụ	Chuyển đổi hồ sơ giấy sang file PDF	Triển khai phần mềm quản lý dữ liệu từ xa	Ứng dụng BIM, IoT, AI và Big Data để điều hành dự án theo thời gian thực

Nguồn: Tác giả tổng hợp từ [1, 4]

1.3. Sự cần thiết chuyển đổi số trong ngành xây dựng

Việc ứng dụng các công nghệ số như BIM, AI, IoT và Big Data giúp tích hợp dữ liệu xuyên suốt vòng đời công trình, từ thiết kế đến vận hành. Một nghiên cứu tổng hợp gần đây chỉ ra rằng việc áp dụng BIM giúp giảm trung bình 20 % thời gian thi công và 15 % chi phí dự án, đồng thời giảm 30 % lỗi thiết kế và 25 % yêu cầu bổ sung thông tin [5]. Đồng thời, chuyển đổi số cũng hỗ trợ tăng cường giám sát công trường theo thời gian thực, cải thiện an toàn lao động và tối ưu sử dụng tài nguyên, phù hợp với mục tiêu phát triển xanh.

Ngành xây dựng đóng vai trò quan trọng trong nền kinh tế Việt Nam, vừa là lĩnh vực sản xuất vật chất trực tiếp, vừa là ngành công nghiệp nền tảng thúc đẩy sự phát triển của nhiều lĩnh vực khác. Tuy nhiên, lĩnh vực này đang đối mặt với nhiều thách thức như năng suất lao động thấp, quy trình quản lý phân mảnh, mức độ cơ giới hóa và khả năng ứng dụng công nghệ còn khiêm tốn. Trong bối cảnh đó, chuyển đổi số được xem là giải pháp tất yếu nhằm nâng cao hiệu quả hoạt động, tăng năng lực cạnh tranh và hướng tới phát triển bền vững.

Các nhà đầu tư và doanh nghiệp xây dựng cũng đã nhận ra những lợi ích của chuyển đổi số. Nhiều đơn vị thiết kế và nhà thầu đã dần đưa việc áp dụng công cụ BIM vào các dự án thực tế từ giai đoạn thiết kế ý tưởng đến giai đoạn quản lý xây dựng. Các nhà đầu tư đóng một vai trò rất quan trọng trong quá trình thúc đẩy ứng dụng BIM tại Việt Nam. Tuy nhiên, số lượng các nhà đầu tư lớn nhận thức được những lợi ích này vẫn còn khiêm tốn. Các doanh nghiệp tư vấn thiết kế là những đơn vị tiên phong bắt đầu áp dụng BIM trong ngành xây dựng Việt Nam, điển hình như VNCC và Constrexim ICC với 100 % dự án áp dụng Revit Architecture cho thiết kế kiến trúc. Một số nhà thầu

đã áp dụng BIM vào các dự án xây dựng trong giai đoạn đấu thầu để phân tích khối lượng công việc và xây dựng các biện pháp tổ chức thi công dựa trên mô hình BIM. Ngoài ra, các nhà thầu đã bước đầu áp dụng mô hình để kiểm soát xung đột giữa các kết cấu và giữa các bộ môn trong giai đoạn thi công, cũng như trao đổi thông tin giữa các bên liên quan của dự án [6].

Mặc dù vậy, tỷ lệ áp dụng BIM vẫn chủ yếu tại các dự án sử dụng nguồn vốn tư nhân và vốn có yếu tố nước ngoài, chiếm khoảng 70 %. Loại công trình áp dụng BIM cũng chưa đa dạng. Đối với công trình dân dụng, chủ yếu tập trung đối với loại công trình nhà ở, văn phòng, trung tâm thương mại; công trình công nghiệp ứng dụng cho công trình đường dây, trạm biến áp, nhà máy thủy điện; công trình giao thông chủ yếu áp dụng đối với công trình cầu, cảng hàng không [7].

Chuyển đổi số nằm trong chiến lược phát triển quốc gia. Quyết định số 749/QĐ-TTg ngày 03/06/2020, phê duyệt “Chương trình chuyển đổi số quốc gia đến năm 2025, định hướng đến năm 2030” [8] và Quyết định số 258/QĐ-TTg ngày 17/03/2023, phê duyệt “Lộ trình áp dụng Mô hình thông tin công trình (BIM) trong hoạt động xây dựng” [9] đã xác định ngành xây dựng là lĩnh vực ưu tiên trong chương trình chuyển đổi số, đặc biệt thông qua việc thúc đẩy áp dụng BIM. Do đó, việc chuyển đổi số không chỉ mang lại lợi ích cho doanh nghiệp xây dựng, mà còn đóng vai trò then chốt trong việc hiện thực hóa các mục tiêu kinh tế số và xã hội số của Việt Nam.

1.4. Mục tiêu và phạm vi nghiên cứu

Bài báo nhằm mục tiêu phân tích kinh nghiệm chuyển đổi số trong ngành xây dựng của một số quốc gia điển hình. Singapore là

quốc gia thành công nhất trong việc ứng dụng BIM khi có tiêu chuẩn quốc gia và lộ trình ứng dụng BIM rõ ràng. Vương quốc Anh và Mỹ là những quốc gia tiên phong và có tốc độ tăng trưởng ứng dụng các công nghệ số nhanh nhất, hiệu quả [7].

Nghiên cứu sẽ tập trung vào các chính sách chiến lược, công nghệ chính được áp dụng, các dự án điển hình, từ đó đề xuất một số bài học kinh nghiệm có thể vận dụng nhằm đẩy nhanh quá trình chuyển đổi số ngành xây dựng tại Việt Nam.

1.5. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này sử dụng phương pháp tổng quan tài liệu để phân tích các khía cạnh về chuyển đổi số của ngành xây dựng. Quá trình nghiên cứu được thực hiện qua các bước sau:

Bước 1: Xác định vấn đề nghiên cứu.

Bước 2: Tìm kiếm và thu thập tài liệu. Tài liệu được thu thập từ các nguồn sơ cấp và thứ cấp, bao gồm cả tài liệu trong nước và quốc tế, được tìm kiếm trên các cơ sở dữ liệu khoa học như Scopus, Google Scholar, các tạp chí chuyên ngành, trang thông tin điện tử chính thức của các tổ chức.

Bước 3: Tổng hợp, phân loại tài liệu. Tài liệu được trích xuất, tổng hợp và phân loại theo chủ đề nghiên cứu là quốc gia, chính sách, công nghệ số.

Bước 4: Nghiên cứu tài liệu và phân tích các chính sách, công nghệ, dự án điển hình theo từng quốc gia.

Bước 5: Tổng hợp và đề xuất bài học kinh nghiệm

2. Chuyển đổi số trong ngành xây dựng của một số quốc gia

2.1. Singapore

2.1.1. Thực trạng ngành xây dựng và bối cảnh công nghệ trước khi áp dụng chính sách chuyển đổi số

Mặc dù có tăng trưởng nhưng năng suất lao động ngành xây dựng của Singapore vẫn thấp hơn đáng kể so với các quốc gia phát triển như Úc và Nhật Bản. Cụ thể, vào năm 2005, năng suất lao động tính theo giá trị của Singapore là 17.000 USD/lao động, trong khi của Úc là 66.000 USD và Nhật Bản là 47.000 USD [10]. Trong quy trình phê duyệt hồ sơ xây dựng chưa có đầu mối tập trung, các đơn vị nộp hồ sơ riêng lẻ cho nhiều cơ quan, dẫn đến mâu thuẫn thông tin, phải nộp lại nhiều lần. Điều này làm chậm tiến độ cấp phép và ảnh hưởng đến năng suất toàn ngành [11]. Chính những bất cập này đã thúc đẩy Singapore trở thành quốc gia tiên phong trong khu vực áp dụng chuyển đổi số ngành xây dựng.

2.1.2. Các chính sách và sáng kiến

Singapore đã thể hiện cách tiếp cận toàn diện và chủ động chuyển đổi số trong ngành xây dựng với sự hỗ trợ mạnh mẽ từ Chính phủ thông qua việc ban hành các chiến lược và sáng kiến.

Singapore đã ban hành các chiến lược chuyển đổi ngành xây dựng (Construction Industry Transformation Map) và bất động sản (Real Estate Industry Transformation Map) riêng biệt vào năm 2017 và 2018. Đến năm 2022 các chiến lược này được hợp nhất thành một chiến lược chung về chuyển đổi ngành xây dựng (Built Environment Industry Transformation Map - BE ITM) nhằm thúc đẩy việc áp dụng các công nghệ số xuyên suốt vòng đời của công trình, từ lập kế hoạch, thiết kế, thi công, vận hành và bảo trì. Mục tiêu chính của BE ITM gồm:

- Thiết kế hướng đến sản xuất và lắp ráp sẵn trong nhà máy (Design for Manufacturing and Assembly - DfMA): Chuyển từ xây dựng tại chỗ sang sản xuất mô-đun hóa trong nhà máy và lắp ráp tại công trường. Tỷ lệ các dự án xây dựng áp dụng DfMA đã tăng từ khoảng 51 % vào năm 2022 lên 61 % vào năm 2023 và mục tiêu 70 % dự án mới được áp dụng DfMA vào năm 2025 [12]

- Phân phối kỹ thuật số tích hợp (Integrated Digital Delivery - IDD): Đây là sáng kiến do Cục Xây dựng và Công trình (Building and Construction Authority - BCA) khởi xướng nhằm tích hợp các quy trình làm việc và kết nối các bên liên quan thông qua các công nghệ kỹ thuật số, đặc biệt là BIM, IoT, AI và Big data trong suốt vòng đời xây dựng từ thiết kế, thi công đến vận hành. Tỷ lệ các dự án xây dựng áp dụng IDD đã tăng từ khoảng 45 % vào năm 2022 lên 58 % vào năm 2023 và hướng tới mục tiêu 70 % vào năm 2025 [12].

- Thúc đẩy xây dựng xanh, tiết kiệm năng lượng: Kế hoạch tổng thể về xây dựng xanh của Singapore đang thúc đẩy tính bền vững theo mục tiêu “80-80-80 by 2030”, cụ thể đến năm 2030 có 80 % các tòa nhà ở Singapore phải đạt tiêu chuẩn Green Mark (hệ thống đánh giá và chứng nhận công trình xanh của Singapore); 80 % công trình mới đạt chuẩn siêu tiết kiệm năng lượng (Super Low Energy - SLE); và tăng mức cải thiện hiệu suất năng lượng cho các tòa nhà tốt nhất lên 80% so với mức cơ bản năm 2005 [13].

- Phát triển năng lực lao động: Đào tạo nhân sự để hỗ trợ quá trình chuyển đổi số trong ngành xây dựng gồm các chuyên gia, nhà quản lý, giám đốc điều hành và kỹ thuật viên.

Để khuyến khích các doanh nghiệp chuyển đổi số, Singapore đã triển khai khoản tài trợ cho năng lực công nghệ và kỹ thuật (Built Environment Technology and Capability - BETC) trị giá 100 triệu SGD (giai đoạn 2025-2030) do BCA đề xuất. Khoản tài trợ BETC nhằm hỗ trợ các doanh nghiệp trong việc nâng cao năng lực cạnh tranh thông qua đổi mới và cải thiện năng suất, tập trung vào ba lĩnh vực chính: phát triển năng lực doanh nghiệp, tăng cường áp dụng công nghệ tiên tiến và xây dựng năng lực nguồn nhân sự. Từ 1/4/2025 đến 31/3/2027, doanh nghiệp vừa và nhỏ được hỗ trợ tài chính đến 70 %, doanh nghiệp lớn đến 50 %; từ 1/4/2027 đến 31/3/2030, mức hỗ trợ lần lượt là 50 % và 30 % [14].

Bên cạnh đó phải kể đến một sáng kiến nổi bật của Singapore trong quá trình chuyển đổi số ngành xây dựng là xây dựng được mạng lưới trao đổi xây dựng và bất động sản (Construction and Real Estate Network Exchange - CORENET X). Đây là một sáng kiến đột phá nhằm chuyển đổi hoàn toàn quy trình xin phép và phê duyệt các công trình xây dựng, bằng cách tận dụng sức mạnh của số hóa và công nghệ

[11]. CORENET X là phiên bản nâng cấp toàn diện của hệ thống CORENET hiện có, được thiết kế để trở thành nền tảng một cửa hoàn toàn số hóa cho tất cả các quy trình quản lý nhà nước liên quan đến dự án xây dựng. CORENET X ra đời với các mục tiêu chính:

- Đơn giản hóa quy trình phê duyệt: Thay vì phải nộp hồ sơ cho từng cơ quan riêng lẻ, CORENET X cung cấp một nền tảng tập trung để nộp và quản lý tất cả các yêu cầu [11].

- Tăng cường hợp tác liên ngành: Giúp các cơ quan quản lý phối hợp chặt chẽ hơn, giảm thiểu sự trùng lặp và xung đột trong quá trình giải quyết [11].

- Tận dụng BIM: CORENET X được xây dựng để tận dụng tối đa BIM [11]. Các chuyên gia (kỹ sư, kiến trúc sư) có thể nộp mô hình 3D của dự án, thay vì chỉ bản vẽ 2D, giúp các cơ quan dễ dàng xem xét, phân tích và đưa ra quyết định nhanh hơn.

- Tự động hóa và tối ưu hóa: Sử dụng các công cụ tự động hóa, bao gồm công cụ kiểm tra mô hình tự động để phát hiện sớm các lỗi và không tuân thủ quy định, từ đó giảm thiểu sự can thiệp thủ công và thời gian xử lý.

- Tăng cường sự minh bạch thông tin: Cung cấp một nguồn thông tin duy nhất và chính xác cho tất cả các bên liên quan trong dự án.

- Nâng cao năng suất cho ngành: Giúp các doanh nghiệp tiết kiệm thời gian, công sức và chi phí trong quá trình xin cấp phép [11].

Cách tiếp cận của Singapore thể hiện một chiến lược toàn diện theo mô hình hệ sinh thái, do Chính phủ dẫn dắt và được thúc đẩy bởi các chính sách, sáng kiến. Các chính sách và sáng kiến như BE ITM, IDD, BETC và CoreNet X không phải là các chương trình riêng lẻ mà là một hệ thống tích hợp chặt chẽ [15]. Chính phủ chủ động ban hành các quy định bắt buộc, cung cấp các khoản tài trợ tài chính và phát triển các nền tảng kỹ thuật số tích hợp. Điều này cho thấy một chiến lược tập trung và chủ động cao độ nhằm vượt qua những thách thức của ngành xây dựng trong quá trình chuyển đổi số. Sự đồng bộ giữa các chính sách, nguồn tài trợ và khung pháp lý tạo ra một cơ chế thúc đẩy mạnh mẽ để áp dụng công nghệ số.

2.1.3. Các công nghệ chính được áp dụng

Singapore đã áp dụng một loạt các công nghệ kỹ thuật số tiên tiến để thúc đẩy chuyển đổi trong ngành xây dựng:

BIM: Được áp dụng rộng rãi và tích hợp vào hệ thống CoreNet X để cấp phép điện tử, giảm thời gian thẩm định dự án [11, 16].

AI: Được sử dụng để phân tích dự đoán, nhận diện dự án có lợi nhuận cao, thiết kế tự động và phát hiện nguy hiểm gây mất an toàn lao động. Theo số liệu khảo sát của Autodesk & Deloitte trong năm 2024, gần như tất cả các công ty xây dựng Singapore được khảo sát (98 %) coi AI là yếu tố quan trọng cho sự phát triển kinh doanh [16].

IoT: Tích hợp các thiết bị IoT (nhận dạng khuôn mặt sinh trắc học, camera AI) để giám sát dự án, kiểm tra an toàn và kiểm tra chất lượng. Các cảm biến IoT cung cấp dữ liệu về mức sử dụng năng lượng, mức độ chiếm dụng, chất lượng không khí và tình trạng thiết bị, cho phép giám sát từ xa và bảo trì dự đoán.

Digital Twins: Là công nghệ tạo ra một mô hình số (ảo) phản ánh chính xác một đối tượng, hệ thống hoặc quy trình trong thế giới thực. Digital Twins được sử dụng trong các khu đô thị thông minh để giám sát hiệu suất công trình theo thời gian thực (nhiệt độ, độ ẩm, điện năng...), dự đoán bảo trì, tối ưu vận hành tòa nhà (năng lượng, an toàn, tiện nghi), quản lý rủi ro (mô phỏng tình huống như lũ lụt, động đất, sự cố kỹ thuật...).

2.1.4. Các dự án điển hình

Paya Lebar Quarter: Dự án này đã áp dụng các công nghệ IDD và BIM, triển khai máy bay không người lái, camera 360° và hệ thống định vị thời gian thực (Real-time Location Services - RTLS) để giám sát công trường và theo dõi tiến độ. RTLS cho phép nhà thầu theo dõi vị trí của công nhân bằng thẻ gắn trên thiết bị Bluetooth và cảnh báo cho công nhân nếu họ vô tình đi vào khu vực cấm. Ngoài ra RTLS kết hợp với hệ thống ra vào bằng sinh trắc học (Biometric Entry Systems) giúp nhà thầu quản lý nhân sự hiện có trên công trường chặt chẽ hơn [17].

Valley Spring @ Yishun: Dự án này đã áp dụng phương pháp DfMA và công nghệ Digital Twins 3D để chế tạo chính xác các mô-đun kết cấu. Mỗi mô-đun kết cấu cũng được gắn mã QR (Quick Response Code) để đảm bảo khả năng truy xuất nguồn gốc và giám sát trong quá trình lắp đặt. Dự án Valley Spring @ Yishun hoàn thành đúng hạn và tiết kiệm 37 % nhân lực so với các dự án khác sử dụng phương pháp xây dựng thông thường [17]. Ngoài ra việc sử dụng DfMA cũng giúp dự án giảm thiểu lãng phí vật liệu và tác động đến môi trường xung quanh vì các mô-đun được hoàn thiện bên ngoài công trường.

2.2. Vương quốc Anh

2.2.1. Thực trạng ngành xây dựng và bối cảnh công nghệ trước khi áp dụng chính sách chuyển đổi số

Trước năm 2011, khi Chính phủ Anh ban hành chính sách bắt buộc áp dụng BIM Level 2 cho các dự án công, ngành xây dựng Anh vẫn phải đối mặt với nhiều vấn đề liên quan đến hiệu quả dự án, chậm tiến độ, chi phí vượt dự toán [18]. Phần lớn dự án sử dụng CAD 2D, với khả năng phối hợp hạn chế. Hệ thống dữ liệu xây dựng thiếu kết nối, trong khi năng suất ngành tăng trưởng rất chậm so với các ngành khác. Năng suất lao động xây dựng Anh gần như không thay đổi trong giai đoạn 1997–2009 [19]. Điều này đặt ra yêu cầu cấp thiết phải áp dụng BIM và các hệ thống quản lý dữ liệu số để nâng cao hiệu quả.

2.2.2. Các chính sách và sáng kiến

Vương quốc Anh là một trong những quốc gia đi đầu trong quá trình chuyển đổi số ngành xây dựng. Quốc gia này đã có những lộ trình rõ ràng về chuyển đổi số ngành xây dựng, được định hình bởi các chính sách và sáng kiến của các cơ quan quản lý nhà nước.

Từ năm 2011, chính phủ Anh đã công bố chiến lược cho ngành xây dựng, trong đó xác định BIM là công cụ then chốt để cải thiện hiệu suất ngành xây dựng [20].

Năm 2016, chính phủ Anh đã yêu cầu tất cả các dự án xây dựng công phải áp dụng BIM cấp độ 2 (BIM Level 2). Các bên tham gia dự án sử dụng phần mềm BIM riêng biệt nhưng có thể chia sẻ dữ liệu qua định dạng chung, qua đó thúc đẩy hợp tác và minh bạch trong quản lý dự án. Điều này đã thúc đẩy mạnh mẽ việc triển khai BIM trong toàn ngành, từ thiết kế, thi công đến vận hành [21].

Để hỗ trợ thực thi, Chính phủ Anh đã thành lập Trung tâm kỹ thuật số xây dựng (Centre for Digital Built Britain - CDBB). Trung tâm này được thành lập vào năm 2017 và kết thúc sứ mệnh vào năm 2022. Mục tiêu chính của CDBB là hỗ trợ và thúc đẩy mô hình xây dựng số hóa, tập trung vào việc sử dụng BIM và các công nghệ số để nâng cao hiệu quả, độ bền vững và khả năng vận hành của các công trình và hạ tầng. Năm 2019, CDBB phối hợp với Liên minh BIM Vương quốc Anh (UK BIM Alliance) và Viện tiêu chuẩn Anh (BSI) xây dựng Khung BIM của Vương quốc Anh (UK BIM Framework) [22]. Sự ra đời của khung BIM là một bước tiến quan trọng sau khi Chính phủ Anh đưa ra yêu cầu bắt buộc áp dụng BIM cấp độ 2 cho các dự án công trình công từ năm 2016. Khung BIM của Vương quốc Anh là một hệ thống toàn diện, cung cấp các tiêu chuẩn, hướng dẫn triển khai và tài nguyên cần thiết để áp dụng BIM một cách hiệu quả, góp phần hiện đại hóa ngành xây dựng và thúc đẩy việc quản lý thông tin trong môi trường xây dựng kỹ thuật số.

Năm 2018, Chính phủ Anh khởi động sáng kiến “Chương trình bản sao số Quốc gia” (National Digital Twin Programme - NDTP). NDTP hướng đến việc xây dựng hệ sinh thái các “bản sao số” của công trình, hạ tầng với khả năng kết nối và chia sẻ dữ liệu toàn quốc. NDTP không chỉ phục vụ vận hành hiệu quả mà còn hỗ trợ quy hoạch đô thị thông minh và phát triển bền vững. Chương trình này đóng vai trò quan trọng trong việc thúc đẩy quá trình số hóa và hiện đại hóa cơ sở hạ tầng của Vương quốc Anh [23].

Ngoài ra, Chính phủ Anh cũng ban hành các lộ trình chuyển đổi số cụ thể cho từng giai đoạn, ví dụ lộ trình chuyển đổi số cho giai đoạn 2022 đến 2025 (Transforming for a Digital Future, the 2022 to 2025) do Chính phủ Anh ban hành nhằm mục tiêu chuyển đổi các dịch vụ công, cung cấp các dịch vụ tiện ích thông minh và thu hút nhân tài kỹ thuật số. Lộ trình này đặt ra sáu nhiệm vụ chính tập trung vào kỹ năng số, công nghệ, chia sẻ dữ liệu, hiệu quả và an ninh mạng [24].

Sự phát triển các chính sách chuyển đổi số ngành xây dựng tại Vương quốc Anh cho thấy một lộ trình rõ ràng. Ban đầu, trọng tâm là các quy định về BIM, sau đó mở rộng thành các chiến lược và chương trình quốc gia. Sự tiến triển này cho thấy một sự chuyển dịch từ việc tập trung vào một công nghệ duy nhất (BIM) sang nhận thức về sự cần thiết của một hệ sinh thái kỹ thuật số toàn diện, được kết nối để đạt được các lợi ích rộng hơn như cải thiện năng suất và hiệu quả trong xây dựng hạ tầng, tính bền vững và tăng trưởng kinh tế. Trọng tâm đã chuyển từ "số hóa quy trình" sang "chuyển đổi số toàn bộ vòng đời dự án xây dựng và cơ sở dữ liệu".

2.2.3. Các công nghệ chính được áp dụng

Vương quốc Anh đã tích hợp nhiều công nghệ số tiên tiến vào ngành xây dựng:

BIM: Là nền tảng cho chuyển đổi số của Vương quốc Anh. Tính đến năm 2023, 70 % tổ chức trong ngành xây dựng tại Anh đã áp dụng BIM vào hoạt động thường ngày, trong đó 83 % là công ty xây dựng [25].

Digital Twins: Là trọng tâm của “Chương trình bản sao số Quốc gia”. Việc áp dụng công nghệ Digital Twins trong ngành xây dựng đang gia tăng nhanh chóng, phản ánh xu thế chuyển đổi số toàn diện trong lĩnh vực này. Báo cáo của Rockwell Automation năm 2025 cho thấy Vương quốc Anh là quốc gia dẫn đầu châu Âu về cả ứng dụng AI và Digital Twins. Theo những người tham gia khảo sát, tỷ lệ sử dụng Digital Twins tại Vương quốc Anh đã tăng từ 21 % lên 37 % chỉ trong 12 tháng qua. Ngoài sự gia tăng trong việc áp dụng Digital Twins, 35 % số người tham gia khảo sát cũng có kế hoạch áp dụng công nghệ này trong vòng 12 tháng tới [26].

AI: Trong bối cảnh chuyển đổi số sâu rộng, ngành xây dựng tại Vương quốc Anh đang ở giai đoạn đầu áp AI nhưng tăng trưởng nhanh chóng. Theo khảo sát của WebWispUK năm 2025, khoảng 29 % doanh nghiệp trong ngành xây dựng đã áp dụng một số dạng AI, đặc biệt là AI hỗ trợ thiết kế và vận hành, với hơn một nửa có kế hoạch đầu tư mạnh trong 3 năm tới [27]. Xét theo giai đoạn, AI được triển khai ở mức 48 % trong thiết kế, 27 % trong thi công và 21 % trong vận hành, bảo trì [28].

IoT: Mặc dù IoT được đánh giá là một trong những công nghệ tiềm năng nhất trong việc chuyển đổi số ngành xây dựng, nhưng tỷ lệ áp dụng thực tế vẫn còn thấp. IoT chủ yếu được sử dụng để giám sát thiết bị thi công, theo dõi điều kiện môi trường công trường (nhiệt độ, độ ẩm, độ rung...), theo dõi tiến độ, vị trí nhân sự và vật liệu, cảnh báo sớm các sự cố, nâng cao an toàn lao động.

2.2.4. Các dự án điển hình

Tuyến đường sắt cao tốc (High Speed 2- HS2): HS2 là một dự án đường sắt cao tốc quy mô lớn đang được xây dựng tại Vương quốc Anh, được thiết kế để tăng cường năng lực giao thông đường sắt và kết nối các thành phố lớn. Dự án HS2 đã xây dựng hệ thống Digital Twin toàn tuyến để theo dõi tiến độ, cấu trúc đường hầm, cầu và kết cấu, hỗ trợ quản lý rủi ro và ra quyết định theo thời gian thực [29]. Ngoài ra, công nghệ IoT và cảm biến được ứng dụng để tối ưu hóa việc sử dụng bê tông phun trong hầm, tiết kiệm chi phí vật liệu và giảm thất thoát [30].

The Forge – London: Đây là dự án tiên phong về xây dựng bền vững và tích hợp nhiều công nghệ đổi mới. Dự án được xây dựng hoàn toàn bằng nền tảng thiết kế và thi công theo mô-đun (Platform-based Design for Manufacture and Assembly), hướng đến mục tiêu không phát thải carbon ròng trong cả quá trình xây dựng và vận hành.

BIM được sử dụng trong toàn bộ quá trình triển khai dự án, từ thiết kế đến thi công, cho phép quản lý dự án toàn diện và tăng cường sự phối hợp giữa cán bộ thiết kế và thi công [31].

2.3. Mỹ

2.3.1. Thực trạng ngành xây dựng và bối cảnh công nghệ trước khi áp dụng chính sách chuyển đổi số

Ngành xây dựng tại Mỹ là một trong những ngành có quy mô lớn nhất thế giới, nhưng trước năm 2010, năng suất lao động của ngành hầu như không tăng trưởng, trái ngược với sự tăng trưởng vượt bậc của các ngành sản xuất và nông nghiệp [32]. Ngành xây dựng chưa áp dụng được những đổi mới về quy trình, công nghệ, những yếu tố đã chuyển đổi năng suất trong các lĩnh vực khác. Các dự án phụ thuộc nhiều vào lao động thủ công, ít được chuẩn hóa hoặc áp dụng công nghệ số [32]. Các dự án khổng lồ thường xuyên bị vượt chi phí và trễ tiến độ, lặp đi lặp lại [33].

Trước khi các chính sách hỗ trợ số hóa hạ tầng được thúc đẩy mạnh mẽ trong thập kỷ gần đây ngành xây dựng Mỹ đã có một số tập đoàn tiên phong phát triển và ứng dụng BIM, như Autodesk, Trimble, AECOM. Tuy nhiên, việc triển khai còn nhỏ lẻ, không đồng bộ trên phạm vi toàn quốc [34]. Những yếu tố này tạo động lực để chính phủ và doanh nghiệp Mỹ thúc đẩy ứng dụng BIM, IoT, AI, robot xây dựng... nhằm nâng cao năng suất, giảm rủi ro và tăng tính cạnh tranh.

2.3.2. Các chính sách và sáng kiến

Mỹ đã áp dụng cách tiếp cận chuyển đổi số trong ngành xây dựng theo hướng phi tập trung, nhiệm vụ này không phải là trách nhiệm của một cơ quan duy nhất mà được phân bổ cho nhiều tổ chức, cấp quản lý hoặc địa phương khác nhau. Chính sách chuyển đổi số của Mỹ với trọng tâm là phát triển và thúc đẩy các tiêu chuẩn, khung hướng dẫn do các cơ quan liên bang và các tổ chức ngành ban hành. Cách tiếp cận này khuyến khích sự tham gia chủ động từ các bên liên quan trong khu vực công và tư, đồng thời tạo điều kiện cho các giải pháp đổi mới phù hợp với bối cảnh địa phương và nhu cầu doanh nghiệp.

Một trong những chính sách điển hình về chuyển đổi số trong ngành xây dựng của Mỹ là lộ trình chiến lược Quốc gia "Thúc đẩy BIM cho hạ tầng" của Cục Quản lý Đường cao tốc Liên bang (Federal Highway Administration-FHWA) công bố năm 2021. Lộ trình này phác thảo cách thực hiện và phối hợp để triển khai BIM cho hạ tầng đường cao tốc trên toàn lãnh thổ Mỹ. Mục tiêu của lộ trình là giúp các Sở Giao thông Vận tải của các Bang phát triển khuôn khổ BIM thống nhất trên toàn quốc, bao gồm các tiêu chuẩn trao đổi dữ liệu mở, công cụ và chương trình đào tạo nhân sự. Dự kiến sau 10 năm, các Sở Giao thông Vận tải của các Bang, với sự hợp tác từ các đối tác bên ngoài được kỳ vọng sẽ hoàn thiện năng lực triển khai BIM, ứng dụng các

tiêu chuẩn dữ liệu mở và môi trường dữ liệu chung (Common Data Environment-CDE) [35].

Để thúc đẩy việc áp dụng, phát triển BIM và các công nghệ kỹ thuật số liên quan trong ngành xây dựng tại Mỹ, Viện Khoa học Xây dựng Quốc gia (National Institute of Building Sciences - NIBS) đã thành lập Hội đồng quản lý thông tin công trình (Building Information Management Council - BIMC). Tổ chức này đã chính thức được đổi tên thành Hội đồng công nghệ kỹ thuật số (Digital Technology Council - DTC) vào ngày 15 tháng 5 năm 2024 nhằm phản ánh sự phát triển vượt bậc của công nghệ số, mở rộng từ BIM sang các lĩnh vực rộng hơn như Digital Twins, AI, IoT, và tạo nền tảng cho việc phát triển tư duy lãnh đạo công nghệ để nâng cao năng lực đổi mới trong ngành xây dựng. Mục tiêu chính của DTC là xây dựng và công bố tiêu chuẩn, quy chuẩn, tài liệu hướng dẫn kỹ thuật số trong ngành xây dựng như Tiêu chuẩn BIM Quốc gia Hoa Kỳ (NBIMS-US™); tài liệu hướng dẫn chủ đầu tư cách triển khai BIM trong nội bộ, gồm chính sách, quy trình, hợp đồng và vận hành, nhằm tạo hệ thống thông tin BIM toàn diện cho chủ đầu tư (National BIM Guide for Owners - NBGO); tài liệu tích hợp BIM và Digital Twins (Digital Twins for the Built Environment) nhằm khuyến khích tích hợp BIM với công nghệ Digital Twin trong lĩnh vực kiến trúc, kỹ thuật, xây dựng và vận hành, nhằm nâng cao hiệu quả vận hành và tính bền vững. Ngoài ra, DTC còn thành lập các tiểu ban và nhóm công tác để nghiên cứu các chủ đề cụ thể cần được quan tâm trong lĩnh vực công nghệ số [36].

2.3.3. Các công nghệ chính được áp dụng

Các công nghệ số được áp dụng rộng rãi trong ngành xây dựng Mỹ bao gồm:

BIM: Được áp dụng rộng rãi trong ngành xây dựng tại Mỹ từ đầu những năm 2000. Tỷ lệ áp dụng BIM trong ngành xây dựng đã tăng mạnh từ 28 % vào năm 2007, 49 % vào năm 2009 và 71 % vào năm 2012. Tỷ lệ áp dụng BIM trong nhóm nhà thầu đạt 74 %, vượt qua nhóm kiến trúc sư – từng dẫn đầu trong giai đoạn trước – hiện ở mức 70 %. Đáng chú ý, có đến 91 % các doanh nghiệp quy mô lớn đã triển khai BIM, trong khi tỷ lệ này ở các doanh nghiệp nhỏ chỉ đạt 49 % [37]. Theo báo cáo của Dodge Data & Analytics năm 2021 cho thấy ngành công nghiệp xây dựng là ngành có sự chuyển dịch mạnh mẽ nhất sang BIM trong thời gian gần đây. Khoảng 70 % kỹ sư đã áp dụng BIM kể từ năm 2016. Theo chuyên môn có 60 % kiến trúc sư và 51 % kỹ sư cơ điện và kết cấu hiện đang sử dụng BIM cho ít nhất 50 % dự án. Con số này được dự báo sẽ tăng lên lần lượt 89 % và 80 % trong vòng 2-3 năm tới [38].

Digital Twins: Công nghệ Digital Twins trong ngành xây dựng tại Mỹ đang phát triển mạnh mẽ nhờ sự kết hợp giữa công nghệ BIM, IoT, AI và dữ liệu thời gian thực.

Bảng 2. Tổng hợp các công nghệ số được ứng dụng tại dự án The Forge – London.

Giai đoạn	Công nghệ được ứng dụng
Thiết kế	Thiết kế BIM kết hợp phương pháp (P-DfMA), xây dựng mô hình số hóa cấu trúc khung thép-bê tông với độ chính xác cao để tối ưu quy trình lắp ráp
Thi công	- Cảm biến IoT trong bê tông (phần mềm Converge): Tạo Digital Twin trực tiếp cho quy trình đổ bê tông. Sử dụng các cảm biến được nhúng trực tiếp vào bê tông để thu thập dữ liệu về nhiệt độ và cường độ của bê tông theo thời gian giúp việc lắp đặt đơn giản và giảm thiểu sự cố. Dữ liệu nhiệt độ được cảm biến thu thập sẽ được truyền không dây đến các trung tâm dữ liệu (data hubs) đặt ở mỗi tầng hoặc khu vực thi công. Sử dụng AI để phân tích cường độ bê tông, xác định thời gian tháo cốt pha - Tạo lập mô hình 3D tương tác của công trường, cung cấp góc nhìn toàn cảnh 360 độ xung quanh công trường định kỳ hàng tuần. Các bản quét 3D này vừa đóng vai trò là bản sao kỹ thuật số trực quan, cho phép xem chi tiết công trình từ xa, vừa là kho lưu trữ kỹ thuật số có thể tìm kiếm, theo dõi tiến độ và những thay đổi quan trọng trong suốt quá trình thi công - Sử dụng mã QR code cho các cấu kiện để theo dõi và giúp số hóa quy trình, giảm sai sót, minh bạch nguồn gốc
Vận hành	Khi đi vào hoạt động, The Forge được trang bị hệ thống BMS từ Schneider Electric, kết hợp tấm pin mặt trời và thiết bị cảm biến IoT để theo dõi và tối ưu tiêu thụ năng lượng, nước, mức phát thải carbon thực tế trong tòa nhà, tạo thành một Digital Twin vận hành và bảo trì thông minh

Nguồn: Tác giả tổng hợp từ [31]

Bảng 3. Tổng hợp các công nghệ số hiện đại được ứng dụng trong ngành xây dựng tại Mỹ.

Công nghệ	Vai trò
IoT	Thu thập dữ liệu cảm biến từ hiện trường
AI / Machine Learning	Phân tích và dự đoán hiệu suất, sự cố
Cloud / Edge Computing	Lưu trữ và xử lý dữ liệu Digital Twins
AR / VR	Trực quan hóa Digital Twins cho đào tạo và mô phỏng
BIM	Nền tảng để phát triển Digital Twins

Nguồn: Tác giả tổng hợp từ [35, 36, 37]

2.3.4. Các dự án điển hình

Tại Mỹ, nhiều dự án xây dựng quy mô lớn đã tiên phong áp dụng chuyển đổi số thông qua các công nghệ như BIM, Digital Twin, IoT, VR/AR và AI nhằm nâng cao hiệu quả trong thiết kế, thi công và vận hành.

Một ví dụ tiêu biểu là dự án Salesforce Tower tại trung tâm thành phố San Francisco, cao 326 m với 61 tầng, đây là tòa nhà cao nhất tại San Francisco kể từ khi hoàn thành vào năm 2018. Dự án được thiết kế bởi Pelli Clarke Pelli Architects và thi công bởi liên danh Clark Construction Group – Hathaway Dinwiddie, trong đó Turner Construction đóng vai trò nổi bật trong việc triển khai các giải pháp xây dựng số hiện đại.

Từ giai đoạn thiết kế đến thi công, Salesforce Tower đã tích hợp sâu rộng các công nghệ số, đặc biệt là BIM và Virtual Design and Construction (VDC). Mô hình BIM 3D, kết hợp với dữ liệu tiến độ thi công (4D) và chi phí (5D), được sử dụng để kiểm soát xung đột hệ thống kỹ thuật, lập lịch công trường, quản lý chi phí, và đảm bảo tiến độ [39]. Ngoài ra, công nghệ quét laser 3D, VR và AR cũng được áp dụng để kiểm tra điều kiện hiện trường, hỗ trợ lắp đặt chính xác, cũng như huấn luyện an toàn cho công nhân. Đặc biệt, hệ thống SiteAware sử dụng máy bay không người lái (drone) và AI để kiểm tra

chất lượng lớp vỏ ngoài tòa nhà theo thời gian thực, đánh dấu bước tiến lớn trong việc kiểm soát chất lượng công trình nhà cao tầng bằng kỹ thuật số [40].

Một dự án khác là The Forge – trụ sở nghiên cứu của Autodesk tại San Francisco. Tại dự án này, Autodesk đã áp dụng mô hình Digital Twin sử dụng nền tảng Forge kết hợp với dữ liệu cảm biến IoT và mô hình BIM. Dữ liệu thời gian thực về nhiệt độ, chất lượng không khí, chiếu sáng... được trực quan hóa trong mô hình 3D qua công cụ Dasher 360, giúp theo dõi hiệu suất vận hành tòa nhà và tối ưu hóa chi phí bảo trì, năng lượng [41].

3. Bài học kinh nghiệm cho Việt Nam

Từ kinh nghiệm chuyển đổi số của Singapore, Vương quốc Anh và Mỹ, Việt Nam có thể rút ra nhiều bài học quý giá để thúc đẩy quá trình chuyển đổi số trong ngành xây dựng.

3.1. Cơ chế, chính sách chuyển đổi số

Các quốc gia tiên phong như Singapore đã chứng minh vai trò then chốt của Chính phủ trong việc dẫn dắt chuyển đổi số trong ngành xây dựng thông qua các chính sách và sáng kiến. Việt Nam cần thiết

lập các khuôn khổ pháp lý rõ ràng và hướng dẫn chi tiết cho việc áp dụng BIM, Digital Twin và các công nghệ số khác trong thiết kế, thẩm định, cấp phép xây dựng và quản lý dự án.

Ngoài ra, Chính phủ cần có các chính sách hỗ trợ tài chính, trợ cấp (như BETC của Singapore) hoặc các quỹ đổi mới để giảm gánh nặng chi phí ban đầu cho các doanh nghiệp, đặc biệt là các doanh nghiệp vừa và nhỏ khi đầu tư vào công nghệ số.

3.2. Phát triển nguồn nhân lực số

Các quốc gia đều đặc biệt nhấn mạnh vai trò then chốt của yếu tố con người trong tiến trình chuyển đổi số. Trong thời gian tới Việt Nam cần đầu tư vào đào tạo và nâng cao kỹ năng số cho nhân lực ngành xây dựng, phát triển các chương trình đào tạo kỹ năng số toàn diện cho toàn bộ lực lượng lao động ngành xây dựng, từ lãnh đạo cấp cao đến công nhân hiện trường. Các chương trình này cần được điều chỉnh phù hợp với các vai trò và nhu cầu công việc khác nhau, tập trung vào các công nghệ cốt lõi như BIM, IoT, AI.

3.3. Đầu tư công nghệ chiến lược

Việc lựa chọn và triển khai các công nghệ phù hợp là rất quan trọng. Trước mắt, Việt Nam nên lấy BIM là công nghệ nền tảng cho chuyển đổi số trong ngành xây dựng, cần tập trung vào việc áp dụng BIM một cách rộng rãi và hiệu quả. Việc triển khai thành công BIM thường mở đường cho việc tích hợp các công nghệ phức tạp khác. Sau khi có nền tảng BIM vững chắc, các doanh nghiệp có thể dần tích hợp các công nghệ tiên tiến khác như IoT để thu thập dữ liệu thời gian thực, AI để phân tích dự đoán và tối ưu hóa, AR/VR cho trực quan hóa và đào tạo, và điện toán đám mây để lưu trữ và chia sẻ dữ liệu tập trung.

3.4. Xây dựng văn hóa số và phát triển hệ sinh thái số

Cần thay đổi tư duy và thói quen làm việc theo hướng số hóa, từ đó tạo động lực cho quá trình chuyển đổi số từ cấp cao đến cấp thấp trong doanh nghiệp và toàn ngành. Ngoài ra, ngành xây dựng với đặc điểm có sự tham gia của nhiều chủ thể khác nhau, đặt ra yêu cầu cấp thiết về sự hợp tác chặt chẽ giữa các bên liên quan trong toàn bộ vòng đời dự án. Do đó cần khuyến khích hợp tác và đổi mới, tạo môi trường thuận lợi cho sự hợp tác xuyên ngành, liên kết giữa doanh nghiệp công nghệ, nhà thầu xây dựng, cơ quan quản lý nhằm phát triển hệ sinh thái số.

4. Kết luận

Chuyển đổi số đang mở ra cơ hội lớn cho ngành xây dựng trong việc nâng cao hiệu quả, giảm chi phí, tối ưu vận hành và hướng tới phát triển bền vững. Kinh nghiệm từ Singapore, Vương quốc Anh và

Hoa Kỳ cho thấy, thành công trong chuyển đổi số phụ thuộc vào nhiều yếu tố: sự dẫn dắt mạnh mẽ của Chính phủ, khung pháp lý đồng bộ, đầu tư chiến lược vào công nghệ, phát triển nguồn nhân lực số và thúc đẩy văn hóa đổi mới sáng tạo trong tổ chức. Trong đó, BIM đóng vai trò nền tảng, là cầu nối cho việc tích hợp các công nghệ tiên tiến như IoT, AI, Digital Twin và Cloud Computing.

Đối với Việt Nam, chuyển đổi số trong ngành xây dựng không chỉ là yêu cầu cấp thiết trước áp lực cạnh tranh và yêu cầu phát triển bền vững, mà còn là một phần quan trọng trong chiến lược quốc gia về kinh tế số. Bài học quốc tế cung cấp cơ sở tham chiếu quan trọng để Việt Nam xây dựng lộ trình phù hợp với bối cảnh trong nước. Việc định hướng chiến lược, ban hành chính sách hỗ trợ, xây dựng hệ sinh thái hợp tác và chú trọng phát triển năng lực con người sẽ là những yếu tố then chốt giúp ngành xây dựng Việt Nam chuyển đổi số thành công và bền vững trong thời gian tới.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Bộ Thông tin và Truyền thông (2021). Cẩm nang chuyển đổi số. Nhà xuất bản Thông tin và Truyền thông
- [2]. Leong, L. K., Manickam, L., Haque, R., Jumbulingam, K., & Noordin, N. M. (2024). Embracing digital transformation for sustainable business in the construction industry. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, 22(2), 1621–1640. <https://doi.org/10.57239/PJLSS-2024-22.2.00113>
- [3]. Baghalzadeh Shishehgharkhaneh, M., Keivani, A., Moehler, R. C., Jelodari, N., & Roshdi Laleh, S. (2022). Internet of Things (IoT), Building Information Modeling (BIM), and Digital Twin (DT) in construction industry: A review, bibliometric, and network analysis. *Buildings*, 12(10), 1503. <https://doi.org/10.3390/buildings12101503>
- [4]. Arifin, J., Hamsal, M., Furinto, A., & Kartono, R (2022). A literature review on digital transformation in the construction industry. In *Proceedings of the 3rd South American International Conference on Industrial Engineering and Operations Management* (pp. 1621–1640). IEOM Society International. <https://doi.org/10.46254/SAO3.20220314>
- [5]. Das, K., Khursheed, S., & Paul, V. K. (2025). The impact of BIM on project time and cost: insights from case studies. *Discover Materials*, Volume 5, article number 25, (2025). <https://doi.org/10.1007/s43939-025-00200-2>
- [6]. Nguyen, V. T., Nguyen, Q. T., Dinh, T. H., & Nguyen, L. D. Q. (2021). Critical factors affecting construction labor productivity: A comparison between perceptions of project managers and contractors. *Cogent Business & Management*. <https://doi.org/10.1080/23311975.2020.1863303>
- [7]. Nguyễn Phạm Quang Tú, Nguyễn Quốc Bảo (2023). Thực trạng và xu hướng áp dụng BIM. *Tạp chí Xây dựng*. <https://tapchixaydung.vn/thuc-trang-va-xu-huong-ap-dung-bim-20201224000016997.html> (truy cập ngày 3/7/2025)
- [8]. Chính phủ (2020). Quyết định số 749/QĐ-TTg ngày 03/6/2020 của Thủ tướng Chính phủ: Phê duyệt “Chương trình Chuyển đổi số quốc gia đến năm 2025, định hướng đến năm 2030”
- [9]. Chính phủ (2023). Quyết định số 258/QĐ-TTg ngày 17/03/2023, phê duyệt “Lộ trình áp dụng Mô hình thông tin công trình (BIM) trong hoạt động xây dựng”
- [10]. The Singapore Contractors Association Ltd (2016). *Construction productivity in Singapore: Effective measurement to facilitate improvement*
- [11]. Building and Construction Authority Singapore (2024). *CORENET X - Code of*

- Practice Second Edition 2024-11. <https://www1.bca.gov.sg/docs/default-source/docs-corp-regulatory/building-control/corenet-x/corenet-x-cop---second-edition-2024-11.pdf> (truy cập ngày 30/7/2025)
- [12]. Building and Construction Authority Singapore (2023). Annexes for media factsheets on initiatives to support transformation in the built environment sector
- [13]. Building and Construction Authority Singapore (2022). Singapore green building masterplan 4th Edition
- [14]. Ministry of National Development (2025). Annex B: Built Environment Technology and Capability (BETC) Grant
- [15]. Hwang, B.-G., Ngo, J., & Teo, J. Z. K. (2022). Challenges and strategies for the adoption of smart technologies in the construction industry: The case of Singapore. *Journal of Management in Engineering*, 38(1). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000986](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000986)
- [16]. Autodesk & Deloitte (2024). State of Digital Adoption in the Construction Industry 2024
- [17]. Building and Construction Authority Singapore (2021). How Digital Transformation Empowers Us to Build Better. <https://www1.bca.gov.sg/buildsg-emag/articles/how-digital-transformation-empowers-us-to-build-better> (truy cập ngày 30/7/2025)
- [18]. Construction Task Force (1998). Rethinking construction: The report of the Construction Task Force to the Deputy Prime Minister, John Prescott, on the scope for improving the quality and efficiency of UK construction. Department of the Environment, Transport and the Regions.
- [19]. Office for National Statistics (2021). Productivity in the construction industry, UK: 2021. ONS
- [20]. Cabinet Office UK (2011). Government Construction Strategy
- [21]. Infrastructure and Projects Authority (2016). Government Construction Strategy: 2016-2020
- [22]. Centre for Digital Built Britain (2022). The foundations of a digital built Britain
- [23]. Digital Twin Hub (2022). National Digital Twin programme to 2022. <https://digitaltwinhub.co.uk/national-digital-twin-programme-to-2022> (truy cập ngày 30/7/2025)
- [24]. Chính phủ vương quốc Anh (2023). Transforming for a digital future: 2022 to 2025 roadmap for digital and data. <https://www.gov.uk/government/publications/roadmap-for-digital-and-data2022-to-2025> (truy cập ngày 30/7/2025)
- [25]. NBS & Glenigan (2023). Digital Construction Report 2023
- [26]. Rockwell Automation (2025). State of Smart Manufacturing Report 10th Annual
- [27]. WebWispUK (2025). Revolutionising UK Construction: AI Applications for 2025 & Beyond. <https://www.webwispuk.com/blog/revolutionising-uk-construction-ai-applications-for-2025-beyond> (truy cập ngày 30/7/2025)
- [28]. PBCtoday (2024). AI use in construction is rising, but how much will change?. <https://www.pbctoday.co.uk/news/digital-construction-news/ai-use-in-construction-is-rising-but-how-much-will-change> (truy cập ngày 30/7/2025)
- [29]. Emma Head, Chris Rayner (2022). The Digital Twin: A Vision for HS2
- [30]. Elena Solja, Paul Challinor (2025). Data-led digital value creation in HS2. <https://www.normet.com/en/blog/data-led-digital-value-creation-in-hs-2/> (truy cập ngày 30/7/2025)
- [31]. Robert McAlpine (2021). Changing the face of construction at The Forge
- [32]. McKinsey Global Institute (2017). Reinventing construction: A route to higher productivity
- [33]. Flyvbjerg, B. (2014). What you should know about megaprojects and why: An overview. *Project Management Journal*, 45(2), 6-19
- [34]. National Research Council (2009). Advancing the competitiveness and efficiency of the U.S. construction industry. National Academies Press
- [35]. Federal Highway Administration (2021). National Strategic Roadmap: Advancing BIM for Infrastructure
- [36]. National Institute of Building Sciences (2024). Digital Twins for the Built Environment
- [37]. McGraw-Hill Construction (2012). SmartMarket Report: The Business Value of BIM in North America, Multi-Year Trend Analysis and User Ratings (2007-2012)
- [38]. Dodge Data & Analytics (2021). SmartMarket Report: Accelerating Digital Transformation Through BIM
- [39]. Turner Construction (2024). Virtual Design & Construction. <https://www.turnerconstruction.com/services/virtual-design-and-construction-bim> (truy cập ngày 30/7/2025)
- [40]. PR Newswire (2019). SiteAware Completes Full-Scale Digital Façade Inspection on Iconic Salesforce Tower. <https://www.prnewswire.com/news-releases/siteaware-completes-full-scale-digital-facade-inspection-on-iconic-salesforce-tower-marking-tallest-building-ever-to-use-real-time-computerized-quality-control-technology-300819601.html> (truy cập ngày 30/7/2025)
- [41]. Kean Walmsley (2021). Lessons from Project Dasher: Building a Digital Twin Using Forge .<https://medium.com/autodesk-university/lessons-from-project-dasher-building-a-digital-twin-using-forge-fbfff311cb2a3> (truy cập ngày 30/7/2025)