

Nghiên cứu ứng dụng công nghệ mới trong ngành xây dựng Việt Nam: Đánh giá hiện trạng và triển vọng công nghệ 4.0

Research on the application of new technologies in Vietnam's construction industry: Assessment of current status and prospects of industry 4.0 technologies

Nguyễn Thị Hồng

Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

Tác giả liên hệ: hong@ut.edu.vn

Ngày nhận bài: 14/8/2024 ; Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2024

Tóm tắt:

Cuộc Cách mạng Công nghiệp 4.0 (CMCN 4.0) đang tạo ra những thay đổi sâu sắc trong ngành xây dựng toàn cầu. Nghiên cứu này khảo sát và phân tích mức độ ứng dụng, dự đoán tầm ảnh hưởng và xu hướng đầu tư vào 8 công nghệ nền tảng của CMCN 4.0 trong ngành xây dựng Việt Nam. Thông qua khảo sát 141 chuyên gia và quản lý trong ngành, kết quả cho thấy có sự chênh lệch đáng kể giữa mức độ ứng dụng hiện tại và kỳ vọng về tầm ảnh hưởng trong tương lai của các công nghệ. An ninh mạng, Internet vạn vật và Dữ liệu lớn được đánh giá cao nhất về mức độ ứng dụng và đầu tư.

Nghiên cứu cũng chỉ ra những thách thức trong việc áp dụng các công nghệ mới như Trí tuệ nhân tạo, Blockchain và Robot tiên tiến. Kết quả nghiên cứu cung cấp cái nhìn tổng quan về xu hướng chuyển đổi số trong ngành xây dựng Việt Nam, góp phần định hướng cho các doanh nghiệp và nhà hoạch định chính sách trong việc ứng dụng công nghệ 4.0.

Từ khóa: Cách mạng Công nghiệp 4.0; Ngành xây dựng Việt Nam; Chuyển đổi số; Công nghệ nền tảng; Xu hướng đầu tư.

Abstract:

The Fourth Industrial Revolution is profoundly transforming the global construction industry. This study surveys and analyzes the application level, predicted impact, and investment trends of 8 core technologies of Industry 4.0 in the Vietnamese construction sector. Through a survey of 141 industry experts and managers, the results reveal a significant gap between current application levels and future impact expectations of these technologies. Cybersecurity, Internet of Things, and Big Data are rated highest in terms of application and investment.

The study also highlights challenges in adopting new technologies such as Artificial Intelligence, Blockchain, and Advanced Robotics. The research findings provide an overview of digital transformation trends in Vietnam's construction industry, contributing to guiding businesses and policymakers in implementing Industry 4.0 technologies.

Keywords: Industry 4.0; Vietnamese construction industry; Digital transformation; Core technologies; Investment trends.

1. Giới thiệu

1.1. Cách mạng Công nghiệp 4.0 trong ngành xây dựng Việt Nam

Khái niệm “Cách mạng Công nghiệp 4.0” (CMCN 4.0) hay “Công nghiệp 4.0”, bắt nguồn từ Đức, đề cập đến bước nhảy vọt về tự động hóa và trí tuệ nhân tạo. CMCN 4.0 thể hiện mối liên kết giữa con người và máy móc, có khả năng xóa nhòa ranh giới giữa thế giới thực, ảo và sinh học [1]. Qua đó, đã mang đến nhiều giải pháp công nghệ mới như dữ liệu lớn (Big Data), Internet vạn vật (IoT), robot tiên tiến và vật liệu thông minh cho ngành công nghiệp xây dựng. Trong đó, mô hình thông tin công trình (BIM) trở thành nền tảng để tích hợp dữ liệu kỹ thuật số của toàn bộ dự án [2]. Để triển khai BIM, các công ty cần có đội ngũ chuyên trách và chuyên gia kỹ thuật để quản lý. Bên cạnh đó, việc nâng cao kỹ năng cho nhân sự hiện tại cũng rất quan trọng để thích ứng với những thay đổi của ngành. CMCN 4.0 tạo ra giá trị mới, làm thay đổi chiến lược kinh doanh của các doanh nghiệp xây dựng [3]. Tuy nhiên, thiếu vắng lộ trình và hướng dẫn cụ thể để chuyển đổi số là một trong những lý do khiến nhiều các nhà thầu còn lúng túng khi tiếp cận CMCN 4.0 [2].

1.2. Ngành xây dựng Việt Nam trước làn sóng Cách mạng Công nghiệp 4.0

Việt Nam là một trong những quốc gia chịu ảnh hưởng mạnh mẽ của CMCN 4.0. Nhiều ngành đã có những bước chuyển mình đáng kể và đang tiến dần tới kỷ nguyên số, ngành xây dựng cũng không nằm ngoài xu thế đó. Các bên liên quan đang gia tăng đầu tư vào những công nghệ của CMCN 4.0 nhằm tối ưu toàn bộ quy trình xây dựng [4]. Việt Nam là một trong những quốc gia đang phát triển đã áp dụng nhiều công nghệ tiên tiến vào các công trình để nâng cao năng suất và hiệu quả [5]. Trong khi ngành công nghiệp nhìn chung đã bắt nhịp tốt với CMCN 4.0 thì riêng ngành xây dựng vẫn chưa theo kịp và năng suất đang có dấu hiệu đình trệ [2], [6].

Các ngành công nghiệp khác như sản xuất, dịch vụ đã có những bước tiến nhanh chóng

trong thời gian qua. Ngược lại, ngành xây dựng vẫn còn hạn chế và cần những thay đổi mạnh mẽ. Tại Việt Nam, việc hiện thực hoá CMCN 4.0 trong xây dựng chủ yếu vẫn đang ở giai đoạn đầu, thông qua một số sáng kiến được đề xuất bởi Bộ Xây dựng, Hiệp hội Nhà thầu Xây dựng Việt Nam (VACC). Bộ Xây dựng đã xây dựng đề án chuyển đổi số và kỳ vọng các công nghệ thông minh sẽ trở nên phổ biến trong tương lai gần (Quyết định 576/QĐ-BCĐCĐS ban hành Kế hoạch hoạt động năm 2024 của Ban chỉ đạo chuyển đổi số Bộ Xây dựng) [7].

Trên thế giới, cuộc Cách mạng Công nghiệp 5.0 (CMCN 5.0) đã manh nha xuất hiện [8]. Tuy nhiên, ngành xây dựng Việt Nam vẫn đang chậm tiếp cận CMCN 4.0, đặc biệt là các doanh nghiệp nhỏ và siêu nhỏ vốn chiếm tỷ trọng lớn. Chỉ một số ít tập đoàn lớn đang từng bước áp dụng các công nghệ số. Chuyển đổi số trong xây dựng là một hành trình dài, gặp không ít thách thức cần giải quyết.

1.3. Đặt vấn đề

Về mặt chủ trương, chính sách, Chính phủ và Bộ Xây dựng đã thể hiện sự sẵn sàng với công cuộc CMCN 4.0 [9]. Tuy nhiên, các doanh nghiệp xây dựng vẫn còn e ngại, chưa thực sự quyết tâm tham gia. Sau một thời gian tiếp cận khái niệm về CMCN 4.0, bước đầu cần tìm hiểu rõ những nhận định, đánh giá của các doanh nghiệp về vấn đề này qua các câu hỏi:

- Mức độ phổ biến của các công nghệ nền tảng CMCN 4.0 trong lĩnh vực xây dựng?
- Mức độ ảnh hưởng của các công nghệ nền tảng CMCN 4.0 trong lĩnh vực xây dựng?
- Nên đầu tư vào công nghệ nền tảng CMCN 4.0 nào vào lĩnh vực xây dựng?

Với bối cảnh hiện nay, việc nhận định mức độ sẵn sàng, quan tâm và đánh giá của các doanh nghiệp xây dựng đối với CMCN 4.0 là rất cần thiết.

1.4. Mục tiêu, ý nghĩa và phạm vi nghiên cứu

Mục tiêu nghiên cứu là đánh giá mức độ áp dụng các công nghệ chính của CMCN 4.0 trong

lĩnh vực quản lý xây dựng tại Việt Nam; đánh giá tầm ảnh hưởng trong tương lai gần của các công nghệ CMCN 4.0 trong xây dựng Việt Nam; phân tích mối quan hệ giữa các đối tượng khảo sát và các công nghệ được nghiên cứu.

Qua nghiên cứu này nhằm cung cấp dữ liệu sơ cấp về tình hình ứng dụng và dự đoán tầm ảnh hưởng trong tương lai gần của công nghệ CMCN 4.0 trong ngành xây dựng tại Việt Nam; góp phần mang đến cái nhìn tổng quan cho các doanh nghiệp xây dựng về xu hướng công nghệ trong ngành; đóng góp một nghiên cứu về chuyển đổi số trong ngành xây dựng Việt Nam.

Phạm vi nghiên cứu là tập trung vào ngành xây dựng tại Việt Nam. Nghiên cứu chủ yếu 08 công nghệ nền tảng của CMCN 4.0 bao gồm trí tuệ nhân tạo (AI), IoT, phân tích dữ liệu lớn (Big Data Analysis), Blockchain, công nghệ robot, thực tế ảo (AR/VR), và công nghệ in 3D, an ninh mạng. Và nghiên cứu này tiến hành khảo sát với 141 chuyên gia và quản lý trong ngành xây dựng.

2. Tổng quan các công nghệ nền tảng của CMCN 4.0

2.1. In 3D (3D Printing)

Công nghệ in 3D, còn được gọi là sản xuất bồi đắp (Additive Manufacturing - AM), đã tạo ra bước đột phá trong ngành sản xuất từ năm 2014. Một minh chứng ấn tượng đó là chế tạo ra chiếc xe điện đầu tiên trên thế giới chỉ trong 44 giờ. Kỹ thuật này áp dụng phương pháp sản xuất kỹ thuật số trực tiếp (Direct Digital Manufacturing - DDM), kết hợp vật liệu sợi carbon và nhựa, cho phép thiết kế sản phẩm chính xác từng lớp dựa trên các file CAD [10]. In 3D đặc biệt hiệu quả trong việc tạo mẫu sản phẩm mới. Công nghệ này đã mở ra nhiều cơ hội ứng dụng đầy tiềm năng trong công nghiệp. Cụ thể, nó có thể nâng cao hiệu quả quản lý các bộ phận dự phòng, góp phần tối ưu hóa quy trình sản xuất [11]. Bên cạnh đó, việc áp dụng công nghệ này còn giúp doanh nghiệp tiết kiệm đáng kể chi phí liên quan đến vận chuyển và lưu trữ hàng hóa

[12]. Những lợi ích này đang thu hút sự quan tâm của nhiều ngành công nghiệp khác nhau.

2.2. Robot tiên tiến (Advanced Robotics)

Robot tiên tiến là các hệ thống công nghệ cao được thiết kế để tự động hóa hoặc hỗ trợ con người trong việc thực hiện các nhiệm vụ cụ thể. Trong lĩnh vực sản xuất và quản lý, đặc biệt là ngành xây dựng, công nghệ này đã chứng minh được nhiều hiệu quả vượt trội. Robot đã thể hiện khả năng nổi bật trong nhiều hoạt động như xử lý vật liệu, phân loại và đóng gói sản phẩm, thực hiện các công đoạn hàn, đảm nhận các công việc lặp đi lặp lại, kiểm tra chất lượng và tối ưu hóa chi phí sản xuất [13], [14], [15].

Tiềm năng ứng dụng của robot tiên tiến còn rộng mở, hứa hẹn mang lại nhiều lợi ích đáng kể cho ngành công nghiệp. Việc tối ưu hóa chi phí sản xuất là một trong những ưu điểm nổi bật, khi robot có khả năng làm việc liên tục với độ chính xác cao, giúp giảm thiểu lãng phí nguyên vật liệu và tăng năng suất, từ đó, có thể giảm chi phí sản xuất tổng thể. Bên cạnh đó, robot còn góp phần nâng cao hiệu suất sử dụng năng lượng thông qua khả năng vận hành chính xác và hiệu quả, giúp tối ưu hóa quá trình sử dụng năng lượng trong sản xuất, tiết kiệm tài nguyên và giảm tác động môi trường. Đặc biệt, việc sử dụng robot trong công nghiệp còn góp phần xây dựng môi trường làm việc an toàn và bền vững. Robot có thể đảm nhận các công việc nguy hiểm hoặc độc hại, giúp bảo vệ sức khỏe và an toàn cho người lao động, đồng thời, tạo ra một môi trường làm việc bền vững khi giảm thiểu rủi ro và tăng cường độ tin cậy trong quy trình sản xuất [14].

2.3. Trí tuệ nhân tạo (Artificial Intelligence)

Khái niệm “Trí tuệ nhân tạo” (AI) được John McCarthy đề xuất tại Viện Công nghệ Massachusetts (MIT) vào năm 1956, với mục tiêu mô phỏng các khía cạnh của trí thông minh con người thông qua máy móc. Sự phát triển của khoa học dữ liệu và các mô hình tính toán tiên tiến đã thúc đẩy sự tiến bộ đáng kể trong lĩnh vực AI [16], [17], [18]. Ứng dụng của AI

rất đa dạng, bao gồm việc tối ưu hóa các quy trình tính toán phức tạp, hỗ trợ ra quyết định, và giảm thiểu sự can thiệp thủ công trong nhiều lĩnh vực.

Một ứng dụng cụ thể của AI là trong phát triển phương tiện tự hành. Các phương tiện này được trang bị hệ thống cảm biến và thuật toán học máy tiên tiến, cho phép chúng nhận biết môi trường xung quanh, di chuyển tự động và phản ứng linh hoạt trước các tình huống không lường trước [19], [20]. Trong lĩnh vực xây dựng, việc tích hợp công nghệ phương tiện tự hành có tiềm năng mang lại nhiều lợi ích quan trọng. Cụ thể, nó có thể tối ưu hóa quá trình ra quyết định dựa trên dữ liệu thời gian thực, giảm đáng kể tỷ lệ tai nạn lao động thông qua việc thay thế con người trong các môi trường nguy hiểm, đồng thời, nâng cao hiệu quả sử dụng vật liệu thông qua quản lý và vận chuyển chính xác. Những ứng dụng này tiềm năng mang lại sự cải tiến đáng kể về an toàn, hiệu quả và năng suất trong ngành xây dựng.

2.4. Phân tích dữ liệu lớn (Big Data Analytics)

Thuật ngữ “Phân tích dữ liệu lớn” (BDA) được Roger Muogalas đề xuất vào năm 2005, chỉ các tập dữ liệu khổng lồ vượt quá khả năng xử lý của các công cụ phân tích kinh doanh truyền thống. BDA đã trở thành công cụ không thể thiếu trong lĩnh vực xây dựng hiện đại, với các ứng dụng tiềm năng:

- Nâng cao tính linh hoạt trong vận hành;
- Tối ưu hóa trải nghiệm khách hàng;
- Cải thiện khả năng nhận diện cơ hội tiếp thị và bán hàng.

2.5. Blockchain

Blockchain được đánh giá là một trong những đổi mới công nghệ quan trọng nhất của thế kỷ XXI. Dù có nguồn gốc từ đầu thập niên 1990, công nghệ này đã phát triển thành một hệ thống phi tập trung, đảm bảo tính bảo mật và tính toàn vẹn của mọi giao dịch [21], [22], [23]. Trong lĩnh vực xây dựng, Blockchain có tiềm năng

ứng dụng to lớn, tiềm năng mang lại nhiều lợi ích. Cụ thể, nó có thể tăng cường hợp tác giữa các bên liên quan, nâng cao độ chính xác của thông tin, đảm bảo tính minh bạch trong các giao dịch và quy trình, cải thiện an ninh dữ liệu, tạo điều kiện thuận lợi cho việc tích hợp các hệ thống khác nhau, và góp phần thúc đẩy tính bền vững trong ngành xây dựng.

2.6. Thực tế ảo (Virtual Reality) và Thực tế tăng cường (Augmented Reality)

Thực tế ảo (VR) cho phép người dùng tương tác với môi trường 3D mô phỏng thông qua thiết bị đeo đầu và trang phục cảm biến. Thực tế tăng cường (AR) tích hợp các đối tượng 3D ảo vào môi trường thực [22]. Cả hai công nghệ này đều có tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong đào tạo, giáo dục, trực quan hóa sản phẩm và môi trường làm việc [24], [25], [26], [27].

Trong lĩnh vực xây dựng, VR và AR có nhiều ứng dụng đáng chú ý. VR được sử dụng để tạo ra môi trường huấn luyện an toàn và hiệu quả, giúp đào tạo kỹ năng và nâng cao nhận thức về an toàn lao động. Trong thiết kế và quy hoạch, VR cho phép các chuyên gia xây dựng và khách hàng trải nghiệm không gian 3D của các công trình trước khi chúng được xây dựng, giúp tối ưu hóa thiết kế và giảm thiểu sai sót. Ngoài ra, phiên bản VR đa người dùng tạo điều kiện thuận lợi cho việc hợp tác và truyền thông giữa các bên liên quan, cải thiện hiệu quả làm việc nhóm và quản lý dự án.

2.7. Internet vạn vật (Internet of Things)

Internet vạn vật (IoT) trong lĩnh vực xây dựng là công nghệ sử dụng các cảm biến và thiết bị kết nối để thu thập, truyền tải và phân tích dữ liệu trong thời gian thực từ các công trình và quy trình xây dựng. IoT giúp cải thiện hiệu suất, an toàn và quản lý trong ngành xây dựng thông qua việc giám sát liên tục, tự động hóa và ra quyết định dựa trên dữ liệu.

IoT trong xây dựng có nhiều ứng dụng tiềm năng đáng chú ý. Nó cho phép giám sát an toàn môi trường làm việc trên công trường một cách

hiệu quả, giúp phát hiện và ngăn ngừa các rủi ro tiềm ẩn [28]. Công nghệ này cũng hỗ trợ quản lý và theo dõi thiết bị, vật tư một cách chính xác và kịp thời, tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên [29]. IoT còn góp phần tối ưu hóa quy trình và tự động hóa trong xây dựng, nâng cao hiệu suất và giảm thiểu lãng phí [30]. Đặc biệt, khi tích hợp với mô hình thông tin công trình (BIM), IoT có thể tạo ra “công trình thông minh”, nâng cao khả năng quản lý và vận hành công trình [31]. Ngoài ra, IoT còn đóng vai trò quan trọng trong bảo trì dự đoán và quản lý cơ sở hạ tầng, giúp kéo dài tuổi thọ và tối ưu hóa hiệu suất của các công trình [32].

2.8. An ninh mạng

An ninh mạng (Cybersecurity) trong lĩnh vực xây dựng đề cập đến việc bảo vệ các hệ thống, mạng lưới và dữ liệu kỹ thuật số trong ngành xây dựng khỏi các cuộc tấn công mạng và truy cập trái phép. Với sự gia tăng của số hóa và tự động hóa trong ngành xây dựng, an ninh mạng đang trở nên ngày càng quan trọng để bảo mật thông tin quan trọng, đảm bảo hoạt động liên tục của các dự án, và duy trì tính toàn vẹn của cơ sở hạ tầng xây dựng. Một số khía cạnh chính của an ninh mạng trong xây dựng, bao gồm:

- Bảo vệ dữ liệu thiết kế và thông tin dự án quan trọng [33];
- Đảm bảo an toàn cho các hệ thống điều khiển tự động và IoT trong các tòa nhà thông minh [34];
- Bảo vệ các hệ thống quản lý dự án và chuỗi cung ứng khỏi các cuộc tấn công mạng [35];
- Đào tạo nhân viên về các mối đe dọa an ninh mạng và thực hành tốt nhất [36];
- Phát triển các khuôn khổ và tiêu chuẩn an ninh mạng cụ thể cho ngành xây dựng [37].

3. Thực hiện khảo sát dữ liệu sơ cấp

3.1. Quá trình khảo sát

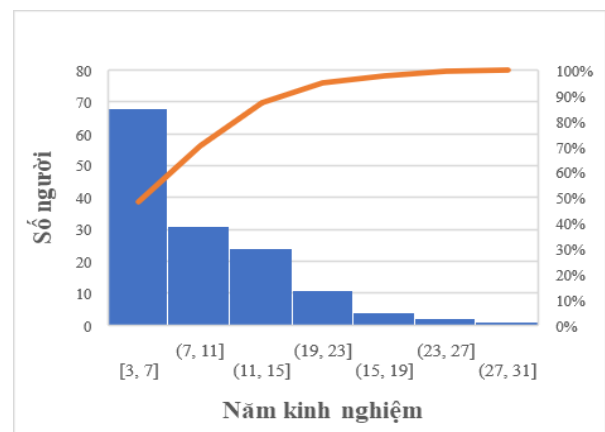
Phương pháp thu thập dữ liệu

Nghiên cứu sử dụng phương pháp khảo sát bằng bảng hỏi để thu thập dữ liệu. Bảng hỏi được thiết kế với 16 câu hỏi nhằm ghi nhận đánh giá của người tham gia về việc ứng dụng các công nghệ mới trong ngành xây dựng. Ngoài ra, bảng câu hỏi cũng lấy thêm dữ liệu sinh trắc học của người tham gia khảo sát.

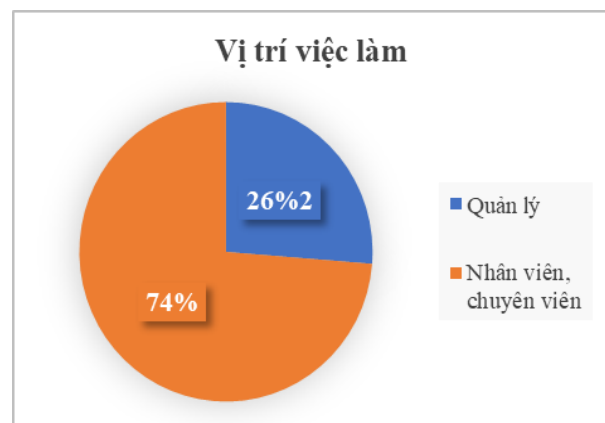
Quy trình lấy mẫu

Nghiên cứu xác định đối tượng khảo sát là các chuyên gia và nhân viên đang làm việc trong ngành xây dựng tại Việt Nam. Tác giả sử dụng phương pháp chọn mẫu có mục đích (purposive sampling), tập trung vào những người có kinh nghiệm làm việc trong ngành. Kích thước mẫu được chọn gồm 168 phiếu khảo sát được gửi đến đối tượng mục tiêu.

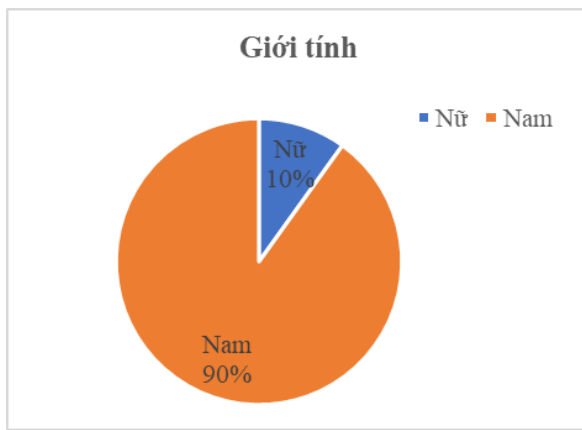
Quá trình thu thập dữ liệu



Hình 1. Biểu đồ số lượng người khảo sát theo số năm kinh nghiệm.



Hình 2. Biểu đồ vị trí việc làm của các đối tượng lấy khảo sát.



Hình 3. Biểu đồ tỷ lệ giới tính của các đối tượng lấy khảo sát.

168 phiếu được phân phối đến các đối tượng mục tiêu và thu hồi, đạt tỷ lệ hoàn thành 100%. Sau đó, tiến hành loại bỏ những phiếu không đáp ứng tiêu chí về kinh nghiệm làm việc. Cụ thể, những phiếu của đối tượng có kinh nghiệm dưới 3 năm bị loại bỏ. Sau quá trình sàng lọc, còn lại 141 phiếu hợp lệ được sử dụng cho phân tích trong nghiên cứu.

Từ 141 phiếu thu hồi hợp lệ tương ứng 141 đối tượng khảo sát, có kinh nghiệm làm việc từ 3 năm trở lên, với phạm vi từ 3 đến 29 năm (Hình 1). Đó là các nhân viên hoặc chuyên viên và các vị trí quản lý (Hình 2). Giới tính bao gồm cả nam và nữ, đa số là nam giới (Hình 3). Trình độ học vấn là Đại học và Thạc sĩ. Lĩnh vực công tác đa dạng trong ngành xây dựng, bao gồm xây dựng dân dụng, cầu đường, quản lý dự án, tư vấn thiết kế, và các lĩnh vực liên quan khác.

Đặc điểm của mẫu nghiên cứu

Đánh giá tính đại diện và hạn chế

Mẫu nghiên cứu có tính đa dạng về kinh nghiệm và lĩnh vực công tác, giúp cung cấp cái nhìn tổng quan về ngành xây dựng. Tuy nhiên, việc loại bỏ những người có kinh nghiệm dưới 3 năm có thể làm giảm góc nhìn của nhóm nhân sự trẻ về các công nghệ mới. Điều này không quá ảnh hưởng vì các nhân sự từ 7 đến 11 năm kinh nghiệm vẫn trong nhóm nhân sự trẻ.

Quá trình lấy mẫu và thu thập dữ liệu được thực hiện một cách có hệ thống, đảm bảo tính đại diện của mẫu nghiên cứu cho ngành xây

dựng. Việc sàng lọc kỹ lưỡng giúp đảm bảo chất lượng dữ liệu thu thập được, tạo cơ sở vững chắc cho các phân tích tiếp theo.

3.2. Bộ câu hỏi

Bộ câu hỏi được thiết kế với tổng cộng 16 câu hỏi, bao gồm các phần chính sau:

- Đánh giá mức độ ứng dụng hiện tại của các công nghệ (08 câu hỏi). Sử dụng thang đo Likert năm mức độ (từ 1 = rất ít đến 5 = rất phổ biến) để đánh giá mức độ ứng dụng của 08 công nghệ;

- Đánh giá tầm ảnh hưởng dự kiến của các công nghệ (08 câu hỏi). Sử dụng thang đo Likert năm mức độ (từ 1 = rất thấp đến 5 = rất nhiều) để đánh giá tầm ảnh hưởng dự kiến trong 05 năm tới của 08 công nghệ.

Đánh giá bộ câu hỏi

Tính toàn diện: Bộ câu hỏi bao quát được nhiều khía cạnh quan trọng của việc ứng dụng công nghệ trong ngành xây dựng, từ hiện trạng đến dự báo tương lai.

Cấu trúc logic: Các câu hỏi được sắp xếp theo trình tự từ hiện tại đến tương lai, giúp người trả lời dễ dàng theo dõi và cung cấp thông tin một cách nhất quán.

Sử dụng thang đo chuẩn: Việc sử dụng thang đo Likert năm mức độ cho phép thu thập dữ liệu định lượng, tạo điều kiện thuận lợi cho việc phân tích thống kê sau này.

Tập trung vào các công nghệ cụ thể: Bộ câu hỏi tập trung vào 08 công nghệ chính, giúp thu thập thông tin chi tiết về từng công nghệ.

Đa chiều: Bộ câu hỏi không chỉ tìm hiểu về mức độ ứng dụng hiện tại còn yêu cầu dự đoán về tương lai, giúp có cái nhìn đa chiều về xu hướng công nghệ trong ngành.

4. Kết quả và phân tích

4.1. Mức độ ứng dụng

Bảng kết quả cho 08 câu hỏi đầu tiên (Bảng 1) cung cấp thông tin về mức độ ứng dụng của 08

công nghệ chủ chốt trong cuộc Cách mạng Công nghiệp 4.0 đối với ngành xây dựng. Các mức độ được chia thành 05 cấp từ “rất ít” đến

“rất phổ biến”, giúp có cái nhìn chi tiết về tình hình áp dụng công nghệ trong ngành.

Bảng 1. Kết quả 8 câu hỏi đầu tiên về mức độ ứng dụng của 8 công nghệ.

TT	Mức độ	Mức độ ứng dụng các công nghệ							
		AI (%)	IoT (%)	Big Data (%)	Blockchain (%)	Robot (%)	An ninh mạng (%)	Thực tế ảo VR/AR (%)	In 3D (%)
1	Rất ít	18,44	13,48	13,67	29,08	51,77	6,38	35,46	17,02
2	Ít	27,66	17,73	28,06	20,57	21,28	12,77	29,08	22,70
3	Trung bình	32,62	31,21	28,78	37,59	14,18	24,82	19,86	29,79
4	Phổ biến	20,57	29,08	21,58	9,93	11,35	36,17	14,89	25,53
5	Rất phổ biến	0,71	8,51	7,91	2,84	1,42	19,86	0,71	4,96

Phân tích chi tiết

(i) Công nghệ được ứng dụng phổ biến nhất

An ninh mạng với 56.03% người tham gia đánh giá mức độ ứng dụng từ phổ biến đến rất phổ biến (36.17% + 19.86%). Đây là công nghệ duy nhất có tỷ lệ “rất phổ biến” cao nhất (19.86%), phản ánh tầm quan trọng của bảo mật thông tin trong ngành xây dựng.

Internet vạn vật (IoT) chiếm 37.59% đánh giá từ phổ biến đến rất phổ biến. Điều này cho thấy xu hướng tăng cường kết nối và tự động hóa trong các dự án xây dựng.

(ii) Công nghệ có mức độ ứng dụng trung bình

Big Data với 28.78% đánh giá ở mức trung bình, 29.49% từ phổ biến đến rất phổ biến. Điều này cho thấy ngành đang bắt đầu nhận ra giá trị của phân tích dữ liệu lớn.

AI có 32.62% đánh giá ở mức trung bình, với 21.28% từ phổ biến đến rất phổ biến. Có thể thấy rằng, AI đang dần được áp dụng nhưng chưa thực sự phổ biến.

In 3D chiếm 29.79% đánh giá ở mức trung bình, với 30.49% từ phổ biến đến rất phổ biến.

Qua đó, nhận định công nghệ này đang có xu hướng tăng trong ứng dụng.

(iii) Công nghệ có mức độ ứng dụng thấp

Robot với 73.05% đánh giá từ rất ít đến ít. Đây là công nghệ có tỷ lệ “rất ít” cao nhất (51.77%), cho thấy việc áp dụng robot trong xây dựng vẫn còn hạn chế.

Thực tế ảo (VR/AR) có 64.54% đánh giá từ rất ít đến ít. Có thể thấy, công nghệ này vẫn chưa được áp dụng rộng rãi trong ngành.

Blockchain chiếm 49.65% đánh giá từ rất ít đến ít. Mặc dù có tiềm năng nhưng blockchain vẫn chưa thật sự áp dụng nhiều trong xây dựng.

Nhận xét và đánh giá

Như vậy, nhận thấy rằng, ngành xây dựng đang ưu tiên đầu tư vào an ninh mạng và IoT, phản ánh xu hướng số hóa và nhu cầu bảo mật thông tin ngày càng cao. Các công nghệ như Big Data, AI và in 3D đang trong giai đoạn chuyển tiếp, với mức độ áp dụng trung bình và có xu hướng tăng. Robot, VR/AR và Blockchain vẫn chưa được áp dụng rộng rãi, có thể do chi phí đầu tư cao, thiếu nhân lực chuyên môn hoặc chưa thấy được lợi ích rõ ràng trong ngắn hạn.

4.2. Dự đoán tầm ảnh hưởng

Bảng 2 cung cấp thông tin về dự đoán tầm ảnh hưởng của 08 công nghệ chủ chốt trong 05 năm tới

tới. Các mức độ ảnh hưởng được chia thành 05 cấp từ “rất ít” đến “rất nhiều”, cho phép đánh giá chi tiết về xu hướng và kỳ vọng của ngành đối với từng công nghệ.

Bảng 2. Kết quả 08 câu hỏi về dự đoán tầm ảnh hưởng của 08 công nghệ trong 05 năm tới.

Công nghệ sau dự đoán có tầm ảnh hưởng trong 5 năm tới									
STT	Mức độ	AI (%)	IoT (%)	Big Data (%)	Blockchain (%)	Robot (%)	An ninh mạng (%)	Thực tế ảo VR/AR (%)	In 3D (%)
1	Rất ít	3,55	1,42	4,26	9,22	9,22	2,84	7,09	3,55
2	Ít	8,51	9,93	5,67	8,51	17,73	3,55	15,60	9,22
3	Trung bình	27,66	19,86	22,70	29,79	24,82	15,60	26,24	27,66
4	Nhiều	41,84	50,35	51,77	37,59	36,88	35,46	39,72	37,59
5	Rất nhiều	18,44	18,44	15,60	14,89	11,35	42,55	11,35	21,99

Phân tích chi tiết

(i) Công nghệ được dự đoán có tầm ảnh hưởng lớn nhất

An ninh mạng với 78.01% người tham gia dự đoán tầm ảnh hưởng từ nhiều đến rất nhiều (35.46% + 42.55%). Đặc biệt, đây là công nghệ duy nhất có tỷ lệ “rất nhiều” cao nhất (42.55%), phản ánh nhận thức ngày càng tăng về tầm quan trọng của bảo mật thông tin trong tương lai.

Internet vạn vật (IoT) có 68.79% dự đoán tầm ảnh hưởng từ nhiều đến rất nhiều. Điều này cho thấy kỳ vọng cao về vai trò của IoT trong việc kết nối và tự động hóa của ngành xây dựng.

Big Data chiếm 67.37% dự đoán tầm ảnh hưởng từ nhiều đến rất nhiều. Xu hướng này phản ánh nhận thức về tiềm năng của phân tích dữ liệu lớn trong việc cải thiện quy trình ra quyết định và tối ưu hóa dự án.

(ii) Công nghệ có tầm ảnh hưởng dự đoán ở mức trung bình đến cao

AI với 60.28% dự đoán tầm ảnh hưởng từ nhiều đến rất nhiều. Điều này cho thấy kỳ vọng về vai trò ngày càng quan trọng của AI trong tự động hóa và tối ưu hóa quy trình.

In 3D có 59.58% dự đoán tầm ảnh hưởng từ nhiều đến rất nhiều. Công nghệ này dự báo sẽ có tác động đáng kể đến quy trình sản xuất và xây dựng.

Blockchain chiếm 52.48% dự đoán tầm ảnh hưởng từ nhiều đến rất nhiều. Mặc dù hiện tại ứng dụng còn hạn chế, nhưng có kỳ vọng về tiềm năng trong tương lai.

(iii) Công nghệ có tầm ảnh hưởng dự đoán thấp hơn

Robot với 48.23% dự đoán tầm ảnh hưởng từ nhiều đến rất nhiều, nhưng cũng có 26.95% dự đoán từ rất ít đến ít. Điều này phản ánh sự không chắc chắn về vai trò của robot trong ngành xây dựng.

Thực tế ảo (VR/AR) chiếm 51.07% dự đoán tầm ảnh hưởng từ nhiều đến rất nhiều, nhưng

22.69% dự đoán từ rất ít đến ít. Đây là công nghệ có ý kiến phân hóa nhất.

Nhận xét và đánh giá

Có sự chuyển dịch rõ rệt trong nhận thức về tầm quan trọng của các công nghệ 4.0 trong tương lai so với hiện tại. An ninh mạng, IoT và Big Data được dự đoán sẽ có tầm ảnh hưởng lớn nhất, phản ánh xu hướng số hóa và nhu cầu quản lý dữ liệu ngày càng cao trong ngành xây dựng. AI và In 3D được kỳ vọng sẽ có vai trò quan trọng hơn trong tương lai, cho thấy ngành đang nhận ra tiềm năng của các công nghệ này.

Mặc dù hiện tại ứng dụng còn hạn chế, nhưng Blockchain được dự đoán sẽ có tầm ảnh hưởng đáng kể, phản ánh kỳ vọng về tính minh bạch và an toàn trong giao dịch. Robot và VR/AR có ý kiến phân hóa nhất, cho thấy sự không chắc chắn về khả năng áp dụng rộng rãi của các công nghệ này trong ngành xây dựng.

5. Thảo luận

Qua các phân tích về mức độ ứng dụng hiện tại và dự đoán tầm ảnh hưởng trong tương lai của Cách mạng Công nghiệp 4.0 của ngành xây dựng Việt Nam, có thể thấy một bức tranh tổng thể về quá trình chuyển đổi số đang diễn ra trong ngành. Nhận định rằng, ngành xây dựng Việt Nam đang trong giai đoạn đầu của quá trình này, với sự khác biệt đáng kể giữa mức độ ứng dụng hiện tại và kỳ vọng về tầm ảnh hưởng trong tương lai của các công nghệ.

5.1. Thảo luận đối với từng công nghệ

• An ninh mạng

An ninh mạng nổi lên như công nghệ được ưu tiên hàng đầu trong các khía cạnh: mức độ ứng dụng hiện tại, dự đoán tầm ảnh hưởng. Mức độ ứng dụng hiện tại với 56.03% đánh giá từ phổ biến đến rất phổ biến. Dự đoán tầm ảnh hưởng trong tương lai (5 năm tới) có 78.01% dự đoán từ nhiều đến rất nhiều.

Trong bối cảnh số hóa ngày càng sâu rộng, việc bảo vệ dữ liệu thiết kế, thông tin dự án và hệ thống quản lý trở nên cực kỳ quan trọng. Các

cuộc tấn công mạng ngày càng tinh vi có thể gây ra những thiệt hại nghiêm trọng về tài chính và uy tín cho các doanh nghiệp xây dựng. Vì vậy, các doanh nghiệp cần ưu tiên đầu tư vào an ninh mạng. Tuy nhiên, vẫn còn khoảng cách giữa mức độ ứng dụng hiện tại và dự đoán tầm ảnh hưởng trong tương lai. Điều này cho thấy các doanh nghiệp cần tiếp tục đẩy mạnh đầu tư và ứng dụng các giải pháp an ninh mạng tiên tiến. Các giải pháp này có thể bao gồm việc triển khai hệ thống phát hiện và ngăn chặn xâm nhập (IDS/IPS), áp dụng công nghệ Blockchain để bảo vệ tính toàn vẹn của dữ liệu, và thường xuyên đào tạo nhân viên về các mối đe dọa an ninh mạng mới nhất.

• Internet vạn vật

IoT cũng là một trong những công nghệ được đánh giá cao trong những khía cạnh: Mức độ ứng dụng hiện tại với 37.59% đánh giá từ phổ biến đến rất phổ biến và dự đoán tầm ảnh hưởng trong tương lai (5 năm tới) có 68.79% dự đoán từ nhiều đến rất nhiều. IoT có khả năng cách mạng hóa việc quản lý và giám sát các dự án xây dựng. Từ việc theo dõi thiết bị và vật tư trong thời gian thực đến tối ưu hóa quy trình và tự động hóa trong xây dựng, IoT mở ra những cơ hội mới để nâng cao hiệu quả và giảm chi phí. Ví dụ, việc sử dụng các cảm biến IoT trên công trường có thể giúp giám sát an toàn và điều kiện làm việc, từ đó giảm thiểu rủi ro tai nạn lao động. Thế nhưng, có sự chênh lệch đáng kể giữa mức độ ứng dụng hiện tại và dự đoán tầm ảnh hưởng trong tương lai. Điều này cho thấy ngành xây dựng Việt Nam đang trong giai đoạn chuyển đổi, với kỳ vọng cao về vai trò của IoT trong tương lai. Để thu hẹp khoảng cách này, các doanh nghiệp cần xem xét tăng cường đầu tư vào cơ sở hạ tầng IoT, đào tạo nhân viên về công nghệ mới, và phát triển các ứng dụng cụ thể phù hợp với nhu cầu của ngành xây dựng Việt Nam.

• Big Data

Big Data cũng thể hiện xu hướng tương tự như IoT với mức độ ứng dụng hiện tại chiếm

29.49% đánh giá từ phổ biến đến rất phổ biến, dự đoán tầm ảnh hưởng trong tương lai (5 năm tới) có 67.37% dự đoán từ nhiều đến rất nhiều. Trong ngành xây dựng, Big Data có thể được ứng dụng để phân tích và dự đoán xu hướng thị trường, tối ưu hóa quy trình thiết kế, cải thiện quản lý chuỗi cung ứng, và nâng cao hiệu quả quản lý dự án. Ví dụ, bằng cách phân tích dữ liệu từ các dự án trước đó, các công ty có thể dự đoán chính xác hơn về chi phí và thời gian hoàn thành dự án, từ đó, giảm thiểu rủi ro vượt ngân sách và chậm tiến độ. Dù vậy, vẫn còn khoảng cách giữa mức độ ứng dụng và dự đoán tầm ảnh hưởng. Điều này gợi ý rằng các doanh nghiệp cần có chiến lược đầu tư dài hạn và toàn diện hơn vào Big Data. Có thể bao gồm việc xây dựng cơ sở hạ tầng dữ liệu mạnh mẽ, đầu tư vào các công cụ phân tích tiên tiến, và phát triển đội ngũ chuyên gia phân tích dữ liệu

• Trí tuệ nhân tạo

AI thể hiện sự khác biệt đáng kể giữa mức độ ứng dụng hiện tại và kỳ vọng trong tương lai: Mức độ ứng dụng hiện tại là 21.28% đánh giá từ phổ biến đến rất phổ biến và dự đoán tầm ảnh hưởng trong tương lai (5 năm tới) là 60.28% dự đoán từ nhiều đến rất nhiều. Trong ngành xây dựng, AI có thể được ứng dụng với nhiều lĩnh vực như tối ưu hóa thiết kế, lập kế hoạch dự án, quản lý rủi ro, và bảo trì dự đoán. Chẳng hạn, AI có thể được sử dụng để phân tích hàng ngàn bản vẽ CAD và đề xuất các cải tiến thiết kế, hoặc dự đoán các vấn đề bảo trì tiềm ẩn trong các công trình hiện hữu. Nhận thấy, mức độ ứng dụng chưa tương xứng với dự đoán tầm ảnh hưởng. Điều này có thể do nhiều yếu tố như chi phí đầu tư ban đầu cao, thiếu hụt nhân lực có kỹ năng AI trong ngành xây dựng, hoặc chưa có những ứng dụng cụ thể phù hợp với bối cảnh Việt Nam. Để khắc phục tình trạng này, các doanh nghiệp cần đẩy mạnh hơn nữa việc đầu tư vào AI, bao gồm cả việc đào tạo nhân viên, hợp tác với các công ty công nghệ, và phát triển các ứng dụng AI cụ thể cho ngành xây dựng Việt Nam.

• In 3D

In 3D thể hiện xu hướng tích cực với mức độ ứng dụng hiện tại là 30.49% đánh giá từ phổ biến đến rất phổ biến; dự đoán tầm ảnh hưởng trong tương lai (5 năm tới) là 59.58% dự đoán từ nhiều đến rất nhiều. Qua đó, cho thấy sự chênh lệch không quá lớn giữa mức độ ứng dụng hiện tại và dự đoán tầm ảnh hưởng. Như vậy, in 3D đã bắt đầu được ứng dụng rộng rãi hơn trong ngành xây dựng Việt Nam.

Công nghệ in 3D có tiềm năng cách mạng hóa quy trình sản xuất và xây dựng. Nó cho phép tạo ra các mô hình kiến trúc chi tiết, sản xuất các bộ phận phức tạp tại chỗ, và thậm chí xây dựng toàn bộ cấu trúc. Điều này có thể dẫn đến giảm thời gian sản xuất, giảm chi phí vận chuyển và lưu kho, đồng thời, tăng khả năng tùy chỉnh. Mức độ ứng dụng tương đối phù hợp với dự đoán tầm ảnh hưởng cho thấy các doanh nghiệp đang có cách tiếp cận cân bằng đối với công nghệ này. Tuy nhiên, để tận dụng tối đa tiềm năng của in 3D, các doanh nghiệp cần tiếp tục đầu tư vào nghiên cứu và phát triển, đặc biệt là trong việc cải thiện chất lượng và đa dạng hóa vật liệu in 3D, cũng như phát triển các ứng dụng cụ thể cho ngành xây dựng Việt Nam.

• Blockchain

Blockchain thể hiện sự không chắc chắn trong ngành: Mức độ ứng dụng hiện tại với 12.77% đánh giá từ phổ biến đến rất phổ biến; dự đoán tầm ảnh hưởng trong tương lai (5 năm tới) chiếm 52.48% dự đoán từ nhiều đến rất nhiều.

Có sự chênh lệch lớn giữa mức độ ứng dụng hiện tại và dự đoán tầm ảnh hưởng, phản ánh kỳ vọng cao về tiềm năng của Blockchain trong tương lai. Tuy nhiên, với mức độ ứng dụng hiện tại rất thấp và đây là công nghệ có thể nói rằng chưa nhận được sự tìm hiểu sâu rộng về cơ chế hoạt động trong ngành xây dựng, chính vì vậy việc ứng dụng được đánh giá là rất thấp. Mặc dù kỳ vọng tương lai khá cao nhưng cho thấy các doanh nghiệp vẫn còn rất thận trọng trong việc đầu tư vào công nghệ này. Đây là công nghệ không quá mới, nhưng cơ chế vận hành

phức tạp, để hiểu được ứng dụng của công nghệ cần phải có sự nghiên cứu cặn kẽ của các doanh nghiệp. Qua đó, nhằm có thể tiếp cận công nghệ này một cách thấu đáo, phải cần thời gian trong tương lai Blockchain được áp dụng phổ biến, rộng rãi hơn ở nhiều lĩnh vực khác nhau.

• Robot tiên tiến

Robot là công nghệ có sự chênh lệch lớn nhất giữa mức độ ứng dụng hiện tại và dự đoán tầm ảnh hưởng. Với 12.77% đánh giá từ phổ biến đến rất phổ biến thuộc mức độ ứng dụng hiện tại và 48.23% dự đoán từ nhiều đến rất nhiều tại dự đoán tầm ảnh hưởng trong tương lai (5 năm tới). Điều này phản ánh thực tế ứng dụng robot trong xây dựng Việt Nam còn rất hạn chế, nhưng có kỳ vọng cao về tiềm năng trong thời gian tới. Tuy nhiên, mức độ ứng dụng vẫn chưa tương xứng với dự đoán tầm ảnh hưởng, cho thấy các doanh nghiệp vẫn còn thận trọng trong việc đầu tư vào công nghệ này, nguyên nhân đến từ việc chi phí đầu tư rất lớn. Công nghệ robot đã rất quen thuộc và các doanh nghiệp Việt Nam đều nhận thấy được tầm quan trọng và hiệu quả của công nghệ này. Với chi phí đầu tư không nhỏ đã trở thành rào cản lớn nhất dẫn đến các doanh nghiệp phải đưa ra những bước đầu tư kỹ lưỡng hơn.

• Công nghệ thực tế ảo

VR/AR cũng thể hiện sự không chắc chắn trong ngành: Mức độ ứng dụng hiện tại có 15.60% đánh giá từ phổ biến đến rất phổ biến, và dự đoán tầm ảnh hưởng đến 51.07% dự đoán từ nhiều đến rất nhiều. Có sự chênh lệch đáng kể giữa mức độ ứng dụng hiện tại và dự đoán tầm ảnh hưởng, nhận thấy tiềm năng của VR/AR trong tương lai. Tuy nhiên, mức độ ứng dụng chưa tương xứng với dự đoán tầm ảnh hưởng, phản ánh sự thận trọng của các doanh nghiệp trong đầu tư công nghệ này.

5.2. Thảo luận chung

Nhìn chung, có sự chênh lệch đáng kể giữa mức độ ứng dụng hiện tại và dự đoán tầm ảnh hưởng của các công nghệ. Điều này phản ánh nhận

thức của ngành về tiềm năng to lớn của các công nghệ 4.0 trong tương lai, nhưng cũng cho thấy thực tế ứng dụng hiện tại còn hạn chế. Những công nghệ có sự chênh lệch lớn nhất (như AI, Robot, và Blockchain) có thể được xem là những công nghệ “đột phá” để ngành xây dựng Việt Nam kỳ vọng sẽ tạo ra những thay đổi lớn trong tương lai. Tuy nhiên, sự chênh lệch này cũng cho thấy những thách thức trong việc áp dụng các công nghệ này, có thể do chi phí đầu tư cao, thiếu nhân lực có kỹ năng, hoặc chưa có những ứng dụng cụ thể phù hợp với bối cảnh Việt Nam. Ngược lại, những công nghệ có sự chênh lệch ít hơn (như An ninh mạng và In 3D) có thể được xem là những công nghệ “cận kề” mà ngành đã bắt đầu ứng dụng và nhận thấy giá trị thực tế. Điều này cũng phản ánh mức độ sẵn sàng cao hơn của ngành đối với những công nghệ này.

Qua kết quả khảo sát và phân tích, có thể thấy rõ sự phân hóa trong mức độ quan tâm và ứng dụng các công nghệ 4.0 trong ngành xây dựng Việt Nam. Có những công nghệ được đánh giá cao và ưu tiên đầu tư, ứng dụng, trong khi một số khác vẫn chưa nhận được sự quan tâm tương xứng với tiềm năng của chúng.

An ninh mạng nổi lên như một công nghệ được ưu tiên quan tâm hàng đầu trong ngành xây dựng. Sự ưu tiên này xuất phát từ nhiều nguyên nhân. Trong bối cảnh số hóa ngày càng tăng, các cuộc tấn công mạng hướng vào doanh nghiệp và dự án xây dựng có xu hướng gia tăng, tạo ra mối đe dọa đáng kể. Đồng thời, doanh nghiệp cũng đã có sự nâng cao nhận thức về giá trị của dữ liệu và thông tin trong kỷ nguyên số, khiến việc bảo vệ chúng trở nên cấp thiết. Thêm vào đó, các quy định về bảo vệ dữ liệu ngày càng trở nên nghiêm ngặt, đòi hỏi các doanh nghiệp phải tuân thủ và đầu tư vào an ninh mạng. Ngược lại, công nghệ robot lại có mức độ ứng dụng thấp nhất, với chỉ 12.77% đánh giá từ phổ biến đến rất phổ biến, mặc dù, 48.23% dự đoán tầm ảnh hưởng trong tương lai từ nhiều đến rất nhiều. Sự chậm trễ trong việc áp dụng công nghệ robot xuất phát từ nhiều yếu tố. Chi

phí đầu tư ban đầu cao là rào cản lớn đối với nhiều doanh nghiệp, đặc biệt là các doanh nghiệp vừa và nhỏ. Bên cạnh đó, sự thiếu hụt nhân lực có kỹ năng vận hành và bảo trì robot trong ngành xây dựng cũng là một thách thức đáng kể. Việc chưa có nhiều ứng dụng cụ thể phù hợp với điều kiện công trường tại Việt Nam làm giảm tính hấp dẫn của công nghệ này. Cuối cùng, tâm lý e ngại thay đổi và tỷ lệ lao động thất nghiệp có thể tăng cao cũng là yếu tố cản trở việc áp dụng rộng rãi công nghệ robot trong ngành xây dựng.

Từ các số liệu và phân tích trên, có thể nhận thấy định hướng cho việc đầu tư, ứng dụng các công nghệ của các doanh nghiệp xây dựng tại Việt Nam như sau:

Đối với các công nghệ được quan tâm cao như An ninh mạng, IoT và Big Data:

- Cần tiếp tục đẩy mạnh đầu tư và phát triển để duy trì lợi thế cạnh tranh;
- Tập trung vào việc tích hợp các công nghệ này để tạo ra hệ sinh thái số hoàn chỉnh cho ngành xây dựng;
- Phát triển các giải pháp tùy chỉnh phù hợp với nhu cầu cụ thể của thị trường xây dựng Việt Nam.

Đối với các công nghệ chưa quan tâm nhiều như Robot tiên tiến, Blockchain và VR/AR:

- Cần có chiến lược phát triển dài hạn và toàn diện để thu hẹp khoảng cách giữa nhận thức về tiềm năng và thực tế ứng dụng;
- Đầu tư vào nghiên cứu và phát triển để tìm ra các ứng dụng phù hợp với bối cảnh Việt Nam;
- Xây dựng các chương trình thí điểm và trình diễn công nghệ để tăng nhận thức và sự chấp nhận trong ngành;
- Hợp tác với các trường đại học và viện nghiên cứu để đào tạo nguồn nhân lực chất lượng cao cho các công nghệ mới này.

Cân bằng giữa phát triển công nghệ mới và tối ưu hóa công nghệ hiện có:

- Trong khi đẩy mạnh phát triển các công nghệ mới, cần tiếp tục tối ưu hóa việc sử dụng các công nghệ đã được áp dụng rộng rãi;
- Xây dựng lộ trình chuyển đổi số phù hợp với từng doanh nghiệp, có tính đến quy mô, nguồn lực và mục tiêu kinh doanh;
- Khuyến khích văn hóa đổi mới và học hỏi liên tục trong tổ chức để thích ứng với sự thay đổi nhanh chóng của công nghệ;
- Xây dựng hệ sinh thái số cho ngành xây dựng;
- Thúc đẩy sự hợp tác giữa các doanh nghiệp xây dựng, công ty công nghệ, và các cơ quan quản lý để tạo ra một hệ sinh thái số toàn diện;
- Phát triển các nền tảng chia sẻ dữ liệu và kiến thức để tận dụng sức mạnh của Big Data và AI trong ngành;
- Xây dựng các tiêu chuẩn và quy trình chung để đảm bảo khả năng tương tác giữa các công nghệ và hệ thống khác nhau.

Đào tạo và phát triển nguồn nhân lực:

- Đầu tư mạnh mẽ vào đào tạo và nâng cao kỹ năng cho nhân viên hiện tại về các công nghệ mới;
- Hợp tác với các cơ sở giáo dục để phát triển các chương trình đào tạo phù hợp với nhu cầu của ngành trong kỷ nguyên số;
- Khuyến khích văn hóa học tập suốt đời và tự đào tạo trong tổ chức.

Chính sách và quy định:

- Làm việc chặt chẽ với các cơ quan quản lý để phát triển các chính sách và quy định hỗ trợ việc áp dụng công nghệ mới trong ngành xây dựng;
- Xây dựng các hướng dẫn và tiêu chuẩn cho việc sử dụng các công nghệ mới như AI, Blockchain và IoT trong các dự án xây dựng.

6. Kết luận

Nghiên cứu này đã cung cấp một bức tranh toàn diện về tình hình ứng dụng và xu hướng phát triển của các công nghệ Cách mạng Công nghiệp 4.0 trong ngành xây dựng Việt Nam. Thông qua khảo sát 141 chuyên gia và quản lý trong ngành, tác giả đã phân tích mức độ ứng dụng hiện tại, dự đoán tầm ảnh hưởng và xu hướng đầu tư cho 08 công nghệ nền tảng của CMCN 4.0.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, ngành xây dựng Việt Nam đang ở giai đoạn đầu của quá trình chuyển đổi số, với sự chênh lệch đáng kể giữa mức độ ứng dụng hiện tại và kỳ vọng về tầm ảnh hưởng trong tương lai của các công nghệ. An ninh mạng, Internet vạn vật (IoT) và Dữ liệu lớn (Big Data) được xác định là những công nghệ được ưu tiên hàng đầu về mức độ ứng dụng và xu hướng phát triển trong tương lai. Điều này phản ánh nhận thức ngày càng cao về tầm quan trọng của bảo mật thông tin, kết nối và phân tích dữ liệu trong ngành xây dựng. Trí tuệ nhân tạo (AI), Blockchain và Robot tiên tiến thể hiện sự chênh lệch đáng kể giữa mức độ ứng dụng hiện tại và kỳ vọng về tầm ảnh hưởng trong tương lai. Điều này cho thấy tiềm năng lớn của các công nghệ này, nhưng cũng chỉ ra những thách thức trong việc triển khai thực tế.

Nghiên cứu này đóng góp vào việc cung cấp cơ sở dữ liệu quan trọng để các doanh nghiệp và nhà hoạch định chính sách xây dựng chiến lược ứng dụng và đầu tư công nghệ 4.0 trong ngành xây dựng. Tuy nhiên, cũng cần lưu ý rằng nghiên cứu có một số hạn chế như kích thước mẫu còn khiêm tốn và chỉ tập trung vào các chuyên gia và quản lý có kinh nghiệm trên 3 năm. Hướng nghiên cứu trong tương lai có thể tập trung vào việc khảo sát thực tế về mức độ đầu tư sắp tới của các doanh nghiệp đối với các công nghệ trong CMCN 4.0 để có thể thấy rõ sự sẵn sàng đầu tư của doanh nghiệp đối với các công nghệ này.

Tài liệu tham khảo

- [1] W. S. Alaloul, M. S. Liew, N. A. W. A. Zawawi, and I. B. Kennedy, "Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: challenges and opportunities for stakeholders," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 11, no. 1, pp. 225-230, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.asej.2019.08.010.
- [2] R. Maskuriy, A. Selamat, K. N. Ali, P. Maresova, and O. Krejcar, "Industry 4.0 for the construction industry - how ready is the industry?," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 14, 2019, Art. no. 2819, doi: 10.3390/app9142819.
- [3] J. Weking, M. Stöcker, M. Kowalkiewicz, M. Böhm, and H. Krcmar, "Leveraging industry 4.0 - A business model pattern framework," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 225, Jul. 2020, Art. no. 107588, doi: 10.1016/j.ijpe.2019.107588.
- [4] S. Mansouri, F. Castronovo, and R. Akhavian, "Analysis of the synergistic effect of data analytics and technology trends in the AEC/FM industry," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 146, no. 3, Mar. 2020, Art. no. 04019113, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001759.
- [5] M. A. Musarat, W. S. Alaloul, M. H. F. Khan, S. Ayub, and C. P. L. Guy, "Evaluating Cloud computing in construction projects to avoid project delay," *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, vol. 10, no. 2, Jun. 2024, Art. no. 100296, doi: 10.1016/j.joitmc.2024.100296.
- [6] G. Taher, "Industrial revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities," *Management Studies and Economic Systems*, vol. 6, no. 3/4, pp. 109-127, 2021, doi: 10.12816/0060000.
- [7] Ban chỉ đạo chuyển đổi số Bộ Xây dựng. (17/6/2024). 576/QĐ-BCĐCDS, *Quyết định Ban hành Kế hoạch hoạt động năm 2024 của Ban chỉ đạo chuyển đổi số Bộ Xây dựng*. [Online]. Available: <https://luatvietnam.vn/xay-dung/quy-et-dinh-576-qd-bcdcds-cua-ban-chi-dao-chuyen-doi-so-bo-xay-dung-ban-hanh-ke-hoach-hoat-dong-nam-2024-cua-ban-chi-dao-chuyen-doi-so-bo-xay-dung-353465-d1.html>

- [8] M. A. Musarat, M. Irfan, W. S. Alaloul, A. Maqsoom, and M. Ghufuran, "A review on the way forward in construction through industrial revolution 5.0," *Sustainability*, vol. 15, no. 18, 2023, Art. no. 13862, doi: 10.3390/su151813862.
- [9] Bộ Chính trị. (27/9/2024). *52-NQ/TW, Nghị quyết về một số chủ trương, chính sách chủ động tham gia cuộc Cách mạng công nghiệp lần thứ tư*. [Online]. Available: <https://tulieuvankien.dangcongsan.vn/he-thong-van-ban/van-ban-cua-dang/ngghi-quyet-so-52-nqtw-ngay-2792019-cua-bo-chinh-tri-ve-mot-so-chu-truong-chinh-sach-chu-dong-tham-gia-cuoc-cach-mang-cong-5715>
- [10] Local Motors, "World's first 3D printed car created and driven by Local Motors." newatlas.com. Accessed: 2024, Jul. 9. [Online]. Available: <https://newatlas.com/local-motors-strati-imts/33846/>
- [11] M. Rehnberg and S. Ponte, "From smiling to smirking? 3D printing, upgrading and the restructuring of global value chains," *Global Networks*, vol. 18, no. 1, pp. 57-80, 2018, doi: 10.1111/glob.12166.
- [12] A. C. McKinnon, "The possible impact of 3D printing and drones on last-mile logistics: an exploratory study," *Built Environment*, vol. 42, no. 4, pp. 617-629, 2016, doi: 10.2148/benv.42.4.617.
- [13] V. Eckert, C. Curran, and S. C. Bhardwaj, "Tech breakthroughs megatrend: How to prepare for its impact," PwC, London, UK, 189632-2017, 2016. Accessed: 2024, Jul. 9. [Online]. Available: <https://www.pwc.com/gr/en/publications/assets/tech-breakthroughs-megatrend-how-to-prepare-for-its-impact.pdf>
- [14] P. Ganesan, G. Sajiv, and L. M. Leo, "Warehouse management system using microprocessor based mobile robotic approach," in *Proc. 2017 Third Int. Conf. Sci. Technol. Eng. Manag. (ICONSTEM)*, Chennai, India, doi: 10.1109/ICONSTEM.2017.8261327.
- [15] V. Krueger et al., "A vertical and cyber-physical integration of cognitive robots in manufacturing," in *Proc. IEEE*, vol. 104, no. 5, 2016, pp. 1114-1127, doi: 10.1109/JPROC.2016.2521731.
- [16] J. C. Miles and A. J. Walker, "The potential application of artificial intelligence in transport," in *IEE Proc. Intell. Transp. Syst.*, vol. 153, no. 3, 2006, pp. 183-198, doi: 10.1049/ip-its:20060014.
- [17] PwC, "The new Essential Eight technologies: what you need to know." pwc.com. Accessed: 2024, Jul. 9. [Online]. Available: <https://www.pwc.com/us/en/tech-effect/emerging-tech/essential-eight-technologies.html>
- [18] F. Wamba, M. M. Queiroz, C. Guthrie, and A. Braganza, "Industry experiences of artificial intelligence (AI): benefits and challenges in operations and supply chain management," *Production Planning and Control*, vol. 33, no. 16, pp. 1493-1497, 2021, doi: 10.1080/09537287.2021.1882695.
- [19] P. E. Hagen, O. Midtgaard, and O. Hasvold, "Making AUVs truly autonomous," in *Proc. OCEANS 2007*, Vancouver, BC, Canada, doi: 10.1109/OCEANS.2007.4449405.
- [20] D. Bechtsis, N. Tsolakis, D. Vlachos, and J. S. Srai, "Intelligent Autonomous Vehicles in digital supply chains: a framework for integrating innovations towards sustainable value networks," *J. Clean. Prod.*, vol. 181, pp. 60-71, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.01.173.
- [21] F. Zhang, A. P. C. Chan, A. Darko, Z. Chen, and D. Li, "Integrated applications of building information modeling and artificial intelligence techniques in the AEC/FM industry," *Automation in Construction*, vol. 139, Jul. 2022, Art. no. 104289, doi: 10.1016/j.autcon.2022.104289.
- [22] Y. Celik, I. Petri, and Y. Rezgui, "Integrating BIM and Blockchain across construction lifecycle and supply chains," *Computers in Industry*, vol. 148, Jun. 2023, Art. no. 103886, doi: 10.1016/j.compind.2023.103886.
- [23] W. van Groesen and P. Pauwels, "Tracking prefabricated assets and compliance using quick response (QR) codes, blockchain and smart contract technology," *Automation in Construction*, vol. 141, Sep. 2022, Art. no. 104420, doi: 10.1016/j.autcon.2022.104420.
- [24] J. Wen and M. Gheisari, "VR-Electricians: Immersive storytelling for attracting students to

- the electrical construction industry,” *Adv. Eng. Inform.*, vol. 50, Oct. 2021, Art. no. 101411, doi: 10.1016/j.aei.2021.101411.
- [25] P. Adami et al., “Participants matter: Effectiveness of VR-based training on the knowledge, trust in the robot, and self-efficacy of construction workers and university students,” *Adv. Eng. Inform.*, vol. 55, Jan. 2023, Art. no. 101837, doi:10.1016/j.aei.2022.101837.
- [26] A. Sudiarno, R. S. Dewi, R. Widyaningrum, A. M. D. Ma'arij, and A. Y. Supriatna, “Investigating the future study area on VR technology implementation in safety training: A systematic literature review,” *Journal of Safety Science and Resilience*, vol. 5, no. 2, pp. 235-248, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.jnlssr.2024.03.005.
- [27] M. Johansson and M. Roupé, “Real-world applications of BIM and immersive VR in construction,” *Automation in Construction*, vol. 158, Feb. 2024, Art. no. 105233, doi: 10.1016/j.autcon.2023.105233.
- [28] M. Khan et al., “Tag and IoT based safety hook monitoring for prevention of falls from height,” *Automation in Construction*, vol. 136, Apr. 2022, Art. no. 104153, doi: 10.1016/j.autcon.2022.104153.
- [29] J. Louis and P. S. Dunston, “Integrating IoT into operational work flows for real-time and automated decision-making in repetitive construction operations,” *Automation in Construction*, vol. 94, pp. 317-327, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2018.07.005.
- [30] R. Woodhead, P. Stephenson, and D. Morrey, “Digital construction : From point solutions to IoT ecosystem,” *Automation in Construction*, vol. 93, pp. 35-46, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2018.05.004.
- [31] S. Tang, D. R. Shelden, C. M. Eastman, P. Pishdad-bozorgi, and X. Gao, “A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration : Present status and future trends,” *Automation in Construction*, vol. 101, pp. 127-139, May 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2019.01.020.
- [32] M. Jia, A. Komeily, Y. Wang, and R. S. Srinivasan, “Adopting Internet of Things for the development of smart buildings: A review of enabling technologies and applications,” *Automation in Construction*, vol. 101, pp. 111-126, May 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2019.01.023.
- [33] E. A. Parn and D. Edwards, “Cyber threats confronting the digital built environment: Common data environment vulnerabilities and block chain deterrence,” *Eng. Constr. Archit. Manag.*, vol. 26, no. 2, pp. 245-266, 2019, doi: 10.1108/ECAM-03-2018-0101.
- [34] S. K. Baduge et al., “Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications,” *Autom. Constr.*, vol. 141, p. 104440, 2022.
- [35] B. R. K. Mantha and B. García de Soto, “Cybersecurity challenges and vulnerability assessment in the construction industry,” in *Proc. Creat. Constr. Conf. 2019*, Banff, AB, Canada, pp. 29-36, doi: 10.3311/CCC2019-005.
- [36] Z. Turk, B. García de Soto, B. R. K. Mantha, A. Maciel, and A. Georgescu, “A systemic framework for addressing cybersecurity in construction,” *Autom. Constr.*, vol. 133, Jan. 2022, Art. no. 103988, doi: 10.1016/j.autcon.2021.103988.
- [37] A. Hammi and A. Bouras, “Towards safe-BIM curricula based on the integration of cybersecurity and blockchains features,” in *Proc. 12th Int. Technol., Educ. Dev. Conf.*, Valencia, Spain, 2018, doi: 10.21125/inted.2018.0453.
- [38] A. G. Frank, L. S. Dalenogare, and N. F. Ayala, “Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 210, pp. 15-26, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.ijpe.2019.01.004.
- [39] K. Okedara, O. Ejohwomu, and P. Chan, “Ethics and stakeholder engagement for Industry/construction 4.0: A systematic review,” in *Proc. Constr. Ind. Dev. Board Postgrad. Res. Conf.*, pp. 577-587, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-26528-1_59.
- [40] L. Frommberger, K. Schill, and B. Scholz-Reiter, “Artificial intelligence and logistics,” *SFB/TR 8 Spatial Cognition*, 2012.