

CÔNG NGHỆ IN BÊ TÔNG 3D - ĐỊNH HƯỚNG PHÁT TRIỂN VÀ ỨNG DỤNG Ở VIỆT NAM

Lưu Văn Thực^{a,*}, Trần Quang Dũng^a, Nguyễn Thị Diệu Thùy^b

^a*Khoa Xây dựng Dân dụng & Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng, 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

^b*Khoa Kỹ Thuật Xây Dựng, Trường Đại học Vinh, 182 đường Lê Duẩn, thành phố Vinh, Nghệ An, Việt Nam*

Nhận ngày 10/09/2018, Sửa xong 24/09/2018, Chấp nhận đăng 28/09/2018

Tóm tắt

Công nghệ in 3D là một công nghệ hiện đại cho phép tự động sản xuất các sản phẩm với cấu trúc phức tạp trực tiếp từ mô hình 3D dưới sự hỗ trợ của máy tính. Tiềm năng ứng dụng của công nghệ này trong lĩnh vực xây dựng được đánh giá là rất lớn với mục đích cải tiến công nghệ xây dựng truyền thống, giảm nhu cầu nhân lực, tăng hiệu quả đầu tư dự án, giảm lượng rác thải và hướng tới phát triển bền vững. Bài báo sử dụng tiếp cận nghiên cứu tổng quan theo hướng định tính, nhằm tới mục đích giới thiệu công nghệ, chỉ ra tiềm năng, thách thức và phân tích những điểm nổi bật mà công nghệ này có thể thay đổi tích cực ngành xây dựng Việt Nam. Để đạt được mục tiêu nghiên cứu, một nghiên cứu tổng quan đã được thực hiện dựa trên các bài báo khoa học được xuất bản trong tạp chí quốc tế uy tín. Qua đó, bài báo đề xuất các định hướng nghiên cứu tiếp theo nhằm thúc đẩy tính khả thi của công nghệ trong bối cảnh xây dựng Việt Nam.

Từ khoá: in bê tông 3D; kỹ thuật đắp dần; thi công tự động; công nghệ in.

3D CONCRETE PRINTING TECHNOLOGY - DEVELOPMENT ORIENTATION AND APPLICATION IN VIET NAM

Abstract

3D concrete printing technology is a modern technology that allows to manufacture complex-structural products automatically from a 3D computer-aided design model. The application of this technology in the construction field provides much benefit for construction projects such as reducing labor demand, increasing the project efficiency, minimizing material wastage etc. Furthermore, application of this technology is suitable for the trend of sustainable development in construction field. This paper aims at introducing the 3D concrete printing technology along with its application potentiality and challenge in Vietnam. Besides, through the analysis of the outstanding advantages of this technology, this paper demonstrates that the application of the 3D concrete printing will enhance the development of construction field in Vietnam. Finally, further research is proposed to facilitate the application of the 3D concrete printing in the Vietnam construction context. In order to achieve the objectives, the author performs a comprehensive study of international journal papers, report and relative studies etc.

Keywords: 3D concrete printing; additive manufacturing; digital construction; printing technology.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12\(6\)-06](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12(6)-06) © 2018 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: thuclv@nuce.edu.vn (Thực, L. V.)

1. Tổng quan

Sau hơn 25 năm nghiên cứu, phát triển và ứng dụng, làn sóng in 3D đã tràn sang hầu hết các lĩnh vực trong cuộc sống như không gian vũ trụ, y học, dược phẩm, ô tô và tiếp tục phát triển với các kỹ thuật và ứng dụng mới [1]. In bê tông 3D là một ứng dụng của công nghệ này, đã và đang được nghiên cứu cũng như áp dụng trong thực hành sản xuất. Công nghệ thi công bê tông truyền thống đang phải đối mặt với rất nhiều thách thức. Theo [1, 2] công tác ván khuôn chiếm gần 40% chi phí thi công bê tông, tạo ra gần 80% lượng rác thải trên thế giới. Sản phẩm xây dựng tạo ra một lượng lớn khí thải, các sản phẩm xi măng tạo ra gần 5% khí CO₂ [3]. Bên cạnh đó, công nghệ thi công truyền thống tạo ra các thực thể đơn điệu, kiến trúc bị giới hạn, ván khuôn phức tạp và nguồn nhân lực lớn [1–3]. Ngành xây dựng có tỷ lệ tử vong và các bệnh nghề nghiệp cao nhất trong các ngành công nghiệp [4]. Đồng thời, quá trình thi công truyền thống bao gồm nhiều bước chiếm một lượng thời gian lớn [2] và tiêu tốn năng lượng. Công nghệ in bê tông 3D có tiềm năng giải quyết được các thách thức mà ngành xây dựng đang phải đối mặt. Các nghiên cứu ở lĩnh vực hàng không đã chỉ ra công nghệ in 3D có thể giảm chi phí xây dựng, mở ra cuộc cách mạng mới thay đổi căn bản cách thức xây dựng hiện tại, từ ý tưởng, kiến trúc, kết cấu đến thi công và thị hiếu khách hàng. Số lượng nghiên cứu về công nghệ này ngày càng tăng [3], hiểu biết về mối quan hệ giữa vật liệu, cách thức thiết kế, quy trình thi công của công nghệ này ngày càng được sáng tỏ.

Bài báo sử dụng tiếp cận nghiên cứu tổng quan theo hướng định tính. Để đạt được mục tiêu nghiên cứu, một nghiên cứu tổng quan đã được thực hiện dựa trên các bài báo khoa học được xuất bản trong tạp chí quốc tế uy tín. Quá trình tìm kiếm sử dụng các từ khóa “công nghệ in bê tông 3D”, “kỹ thuật đắp dần” và “thi công tự động”. Tiến hành phân tích tài liệu thu thập được trên các khía cạnh gồm: nguyên lý in bê tông 3D, các kỹ thuật in, tiềm năng, thách thức và ứng dụng thương mại.

Việt Nam là một nước đang phát triển, nền kinh tế và khoa học kỹ thuật còn non trẻ. Do đó việc phát triển công nghệ in bê tông 3D cần được đầu tư, nghiên cứu để tăng tính ứng dụng, nhất là cần đúc kết các bài học kinh nghiệm từ các nước đi trước để tìm ra hướng đi phù hợp với điều kiện đặc thù xây dựng Việt Nam. Mục tiêu nghiên cứu của bài báo là giới thiệu công nghệ in bê tông 3D, chỉ ra tiềm năng, thách thức và ứng dụng trong lĩnh vực xây dựng. Qua đó, bài báo đề xuất các định hướng nghiên cứu tiếp theo nhằm thúc đẩy tính khả thi của công nghệ này trong bối cảnh xây dựng Việt Nam.

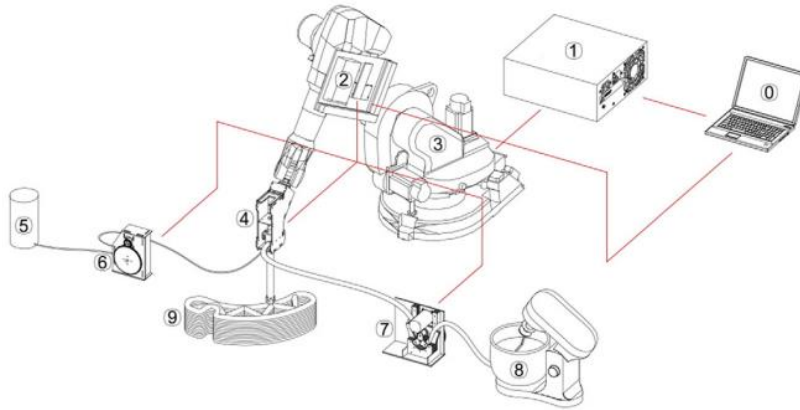
2. Công nghệ in bê tông 3D

2.1. Nguyên lý của công nghệ in bê tông 3D

Công nghệ in bê tông 3D được biết đến với kỹ thuật đắp dần (AM) là một công nghệ mới sản xuất các kết cấu 3D trực tiếp từ mô hình số bằng cách đắp liên tiếp các lớp vật liệu. Hiệp hội thí nghiệm và vật liệu Hoa Kỳ (ASTM): “công nghệ in bê tông 3D là quá trình sử dụng các lớp vật liệu liên kết với nhau để tạo ra đối tượng trực tiếp từ mô hình 3D” [1, 6]. Cấu kiện được hình thành thông qua quá trình in dần từng lớp vữa bê tông tươi [7] (Hình 1). Bảng 1 là hai cấp phối vữa in được sử dụng ở đại học Loughborough (cấp phối 1) và phòng thí nghiệm ở trung tâm phát triển in 3D B&C ở Singapore (cấp phối 2) [1, 2, 8].

2.2. Tiềm năng và thách thức của công nghệ in 3D trong lĩnh vực xây dựng

So sánh với bê tông truyền thống, công nghệ in 3D mang trong nó nhiều tiềm năng thay đổi tích cực cách thức xây dựng [2, 5, 9]: (1) Giảm chi phí xây dựng vì không cần ván khuôn. (2) Giảm tỉ lệ tai nạn và thương vong. Công nhân sẽ không phải làm việc trên cao mà thay vào đó là các cánh tay



0-Hệ thống điều khiển; 1-Kiểm soát robot; 2-Kiểm soát cần in; 3-Cánh tay robot; 4-Đầu in; 5-Xúc tác; 6-Bơm xúc tác; 7-Hệ thống bơm vữa; 8-Hệ thống trộn vữa; 9-Đổ tượng

Hình 1. Nguyên lý hoạt động của công nghệ in bê tông 3D [5]

Bảng 1. Cấp phối bê tông in 3D [8]

Cấp phối	Cát (kg)	Xi măng (kg)	Tro bay (kg)	Bụi Silica (kg)	Nước (kg)
1	1241	579	165	83	232
2	810	253	192	61	152

robot và cần trục. (3) Tạo ra các công việc liên quan đến công nghệ, tự động hóa, giảm lượng công nhân làm trực tiếp trên công trường, tăng lượng công nhân điều khiển, vận hành. (4) Giảm thời gian xây dựng. (5) Tối thiểu hóa nguy cơ sai sót nhờ việc in chính xác bằng máy. (6) Phát triển bền vững bởi không có rác thải từ ván khuôn, vật liệu và quá trình xây dựng. (7) Vật liệu sử dụng cho quá trình in, phần lớn được lựa chọn từ rác thải rắn xây dựng. Do đó, giải quyết được bài toán về rác thải rắn do ngành công nghiệp xây dựng tạo ra.

Tuy vậy nó cũng phải đối mặt với một số thách thức: (1) Mặc dù công nghệ đã giảm được lượng lớn khí CO₂ nhưng việc sử dụng vữa bê tông nó vẫn tạo ra 1 lượng CO₂ đáng kể. (2) Hạn chế lớn nhất của công nghệ này là khả năng in kết cấu ngang [5]. Tuy nhiên, nhược điểm này đang dần được khắc phục bởi bê tông uốn cong [10, 11]. (3) Lý thuyết tính toán và quy trình thi công in bê tông 3D gần như chưa có. Cùng với đó là những rào cản pháp lý do công nghệ này còn mới trong lĩnh vực xây dựng.

2.3. Các công nghệ in bê tông 3D và ứng dụng

a. Kỹ thuật tô đầy hay phương pháp lắng vật liệu (MDM)

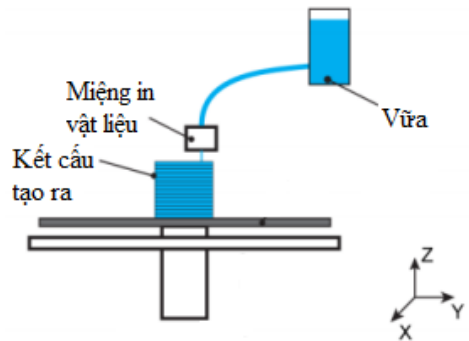
Kỹ thuật tô đầy hay phương pháp lắng vật liệu (MDM) Vữa được bơm tới miệng vòi in gắn ở cần trục hoặc robot để in kết cấu theo từng lớp. Lớp vật liệu vữa được tô (in) đầy phải chịu được trọng lượng bản thân của nó và các lớp kế tiếp cho đến hết [12] (Hình 2). Một số hệ thống tự động sử dụng kỹ thuật tô đầy (MDM) để in bê tông 3D:

Kỹ thuật in theo đường viền CC: Sử dụng một cần trục in các lớp vật liệu để tạo ra kết cấu bê tông theo phương đứng. Khác biệt của hệ thống CC là gắn thiết bị làm nhẵn bề mặt ở vòi in để làm phẳng bề mặt các lớp vật liệu vữa in [1, 2, 12, 13]. Thách thức của phương pháp: (1) sự giới hạn chiều cao

in theo phương đứng; (2) hệ thống làm nhẵn và ván khuôn có thể phức tạp theo đối tượng in; (3) quá trình in bị ngắt quãng trong phạm vi các lớp vừa được in và bề mặt tiếp xúc giữa các lớp bê tông có thể yếu [5].

Kỹ thuật in bê tông CP: CP cho phép in các cấu kiện có hình dạng phức tạp với độ chính xác cao hơn. Đồng thời, CP sử dụng bê tông cốt sợi cường độ cao nên thuộc tính vật liệu cũng tốt hơn CC [1, 2, 14]. Thách thức của CP: (1) quá trình in diễn ra chậm; (2) việc sử dụng thêm vật liệu thứ hai để hỗ trợ các kết cấu nhô ra có thể làm giảm tính linh động của quá trình in; (3) kích thước kết cấu phụ thuộc vào kích thước máy in [5].

Một số ứng dụng in bê tông 3D thương mại sử dụng kỹ thuật tô đẩy (MDM): Năm 2014, công ty Winsun Trung Quốc đã xây dựng 10 ngôi nhà đơn giản sử dụng kỹ thuật in này trong 1 ngày, với diện tích khoảng 195 m² và giá thành 4800 USD/căn [1, 15, 16]. Năm 2016, Winsun cho xây dựng một tòa nhà văn phòng tại Dubai, UAE rộng 250 m² sử dụng một cánh tay robot kích thước 36.6 × 12.2 × 6.1 m [17]. Tháng 9 năm 2016, công ty Apis Core Nga đã xây dựng ngôi nhà đầu tiên hoàn toàn bằng công nghệ in 3D trong vòng 24h với chi phí là 10134 USD [17].



Hình 2. Nguyên lý in bê tông 3D của phương pháp MDM [2]

b. Kỹ thuật in trên nền bột hay kỹ thuật chất kết dính (BJ)

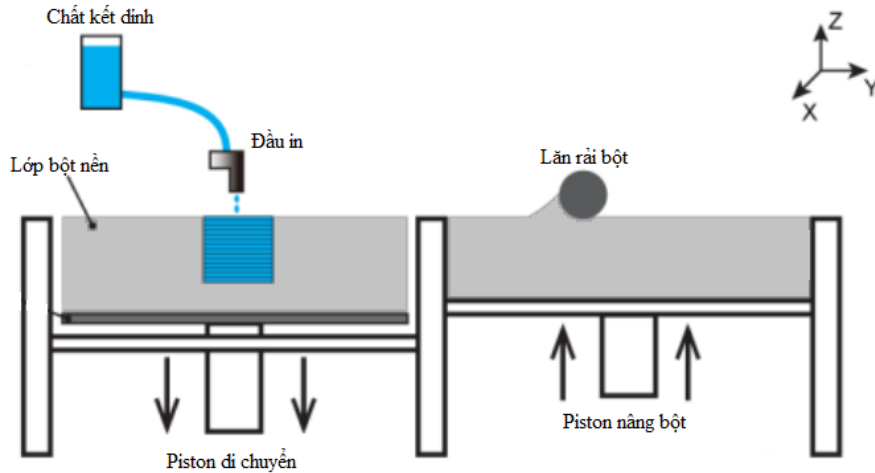
Kỹ thuật in trên nền bột là một quá trình in 3D tạo ra thực thể bằng cách rải từng lớp chất kết dính (mực) lên trên nền cốt liệu là bột. Chất kết dính được phun ra ở dạng tia nhỏ lên trên một lớp mỏng vật liệu bột, qua đó kết dính lớp cốt liệu bột thành hỗn hợp dạng “vữa” (Hình 3). Quá trình được lặp lại cho đến khi thực thể 3D hoàn thành [18]. Một số hệ thống tự động sử dụng kỹ thuật in trên nền bột (BJ) để in bê tông 3D:

Kỹ thuật in dạng D: Được phát triển bởi Enrico Dini, sử dụng kỹ thuật lắng đọng chất kết dính trên đệm cát kích thước lớn [19]. Năm 2008, Shiro Studio tiến hành in kết cấu Radiolaria, với kích thước 3 × 3 × 3 m để chứng minh khả năng thi công của kỹ thuật này [19].

Kỹ thuật in nổi dần (EO): Kỹ thuật EO được phát triển ở Mỹ sử dụng kỹ thuật in trên nền bột với chất kết dính là xi măng composite. EO được sử dụng để in một bông hoa cao 2.74 m đứng tự do với kích thước là 3.66 m được xếp từ 840 khối in 3D tùy biến.

3. Thảo luận và đề xuất áp dụng công nghệ in bê tông 3D trong bối cảnh xây dựng của Việt Nam

Việt Nam là một nước đang phát triển, nền kinh tế và khoa học kỹ thuật còn non trẻ, là quốc gia đi sau trong vấn đề về xây dựng, đặc biệt là ứng dụng công nghệ mới trong xây dựng. Do đó việc phát triển công nghệ in bê tông 3D cần được đầu tư, nghiên cứu để tăng tính ứng dụng, nhất là cần đúc kết các bài học kinh nghiệm từ các nước đi trước để tìm ra hướng đi phù hợp với điều kiện đặc thù xây dựng Việt Nam. Từ những phân tích về tiềm năng và thách thức cũng như xu hướng phát triển và ứng dụng gần đây của công nghệ in bê tông 3D trên thế giới, bài báo đề xuất việc nghiên cứu và ứng dụng công nghệ in bê tông 3D vào Việt Nam để thúc đẩy sự phát triển ngành xây dựng.



Hình 3. Nguyên lý in 3D của phương pháp BJ [2]

3.1. Công nghệ in bê tông 3D đáp ứng nhu cầu nhân lực ngành xây dựng Việt Nam hiện nay

Theo báo cáo năm 2017 của Tổng hội Xây dựng Việt Nam, nguồn nhân lực ngành xây dựng hiện chưa đáp ứng được yêu cầu cả về số lượng và chất lượng [20, 21]. Thực trạng cho thấy nhu cầu về nhân lực ngành xây dựng đã và đang ngày càng trở nên cấp thiết hơn [20, 21]. Công nghệ in bê tông 3D [2, 5, 9], với tiềm năng tạo ra các công việc liên quan đến công nghệ, tự động hóa. Sử dụng nguồn lao động tối thiểu, bởi việc in cấu kiện được thực hiện bằng robot, công nhân sẽ không làm việc trực tiếp với kết cấu mà sẽ thông qua hệ thống điều khiển. Sẽ có một luồng chuyển dịch cơ cấu lao động, giảm lượng công nhân làm trực tiếp trên công trường, tăng lượng công nhân cho công tác điều khiển, vận hành. Qua đó, sử dụng công nghệ in này sẽ đáp ứng nhu cầu lao động cho ngành Xây dựng Việt Nam hiện tại và tương lai.

Theo báo cáo của Bộ Lao động – Thương binh xã hội [22], ngành xây dựng là ngành có tỉ lệ tai nạn lao động và các bệnh liên quan đến nghề nghiệp cao nhất trong các ngành có tai nạn. Sử dụng công nghệ in bê tông 3D trong xây dựng sẽ làm giảm tỉ lệ tai nạn và thương vong. Sử dụng công nghệ này, công nhân không phải làm việc trên cao mà thay vào đó là các cánh tay robot và cần trục. Không còn công tác lắp dựng và tháo dỡ ván khuôn. Bê tông sẽ được chuẩn bị, trộn ở dưới chân công trình, vận chuyển đến vị trí thi công thông qua hệ thống ống bơm. Do đó, sẽ làm tăng mức độ an toàn cho công trường [2, 5, 9]. Qua đó, để đáp ứng yêu cầu về nguồn nhân lực và cải thiện sự an toàn ngành xây dựng, nhóm nghiên cứu đề xuất phát triển công nghệ in bê tông 3D vào ngành xây dựng Việt Nam.

3.2. Có kế hoạch đào tạo nguồn nhân lực cho áp dụng công nghệ in bê tông 3D

Công nghệ in bê tông 3D là một công nghệ hoàn toàn mới, công việc dành cho công nhân và kỹ sư xây dựng tương đối khác so với xây dựng truyền thống hiện nay. Sự chuyển dịch cơ cấu lao động ngành xây dựng, thay vì sản xuất trực tiếp, công nhân và kỹ sư chuyển sang hướng điều khiển, áp dụng tự động hóa [2, 5, 9]. Do đó, cần đổi mới nội dung và chương trình đào tạo theo hướng tiếp cận với công nghệ mới này. Thay vì học các phần mềm và cách thể hiện bản vẽ dưới dạng 2D như hiện nay, các kỹ sư cần được đào tạo để thể hiện được đối tượng thực thể dưới dạng 3D và các chương trình tự động hóa. Thay vì tách biệt giữa thiết kế kiến trúc và kết cấu, kỹ sư cần được trang bị kiến thức để thiết kế cấu kiện theo một cách hoàn toàn mới: cấu kiện vừa là kiến trúc, vừa là kết cấu cho công

trình. Do đó, nhóm nghiên cứu đề xuất cần đổi mới nội dung và có kế hoạch đào tạo nguồn nhân lực để đáp ứng được việc áp dụng công nghệ in này vào ngành xây dựng.

3.3. Vấn đề quản lý nhà nước khi áp dụng công nghệ in bê tông 3D vào các công trình ở Việt Nam

Để công nghệ và vật liệu mới được áp dụng vào các công trình xây dựng, việc đầu tiên là phải nâng cao nhận thức trong quản lý nhà nước về công nghệ mới, vượt qua được tư tưởng “không cần thiết phải áp dụng các công nghệ, vật liệu mới cứ như cũ làm cho nhanh” [23]. Để xem xét áp dụng công nghệ in bê tông 3D cần hình thành quá trình đồng bộ từ quy hoạch, thiết kế, thi công cho đến vận hành sử dụng phù hợp với bối cảnh xây dựng Việt Nam. Việc áp dụng công nghệ in bê tông 3D sẽ gặp phải rào cản đến từ hệ thống tiêu chuẩn, quy chuẩn, định mức [23]. Hệ thống tiêu chuẩn cũ không áp dụng được, định mức dự toán không đồng bộ, thậm chí không có trong định mức, điều này sẽ gây cản trở cho việc sử dụng rộng rãi. Do đó, nhóm nghiên cứu cũng đề xuất thực hiện việc biên soạn, điều chỉnh các tiêu chuẩn, quy chuẩn, định mức dự toán liên quan cho phù hợp với công nghệ in này. Từ phía quản lý nhà nước, cần có cơ chế bảo trợ, khuyến khích áp dụng công nghệ in 3D này không chỉ trong nghiên cứu mà cả trong lĩnh vực thương mại. Để quản lý được chất lượng các dự án áp dụng công nghệ in bê tông 3D, cơ quan quản lý nhà nước cần tiến hành kiểm soát, thẩm định chặt chẽ trước khi cho xây dựng. Đồng thời, cũng phải có cơ chế giải quyết các vấn đề về mặt pháp lý khi có sự cố chất lượng do áp dụng công nghệ in này.

3.4. Lựa chọn vật liệu khi áp dụng công nghệ in bê tông 3D cho các công trình ở Việt Nam

Ngành xây dựng là ngành tạo ra lượng rác thải lớn thứ 2 trong các nguồn phát sinh chất thải rắn ở đô thị [24, 25]. Theo Nghị quyết của Chính phủ, năm 2015 sẽ cơ bản hoàn thành việc phá dỡ, cải tạo các khu chung cư cũ nát tại các đô thị lớn nên lượng rác thải xây dựng sẽ còn tăng mạnh trong thời gian tới. Cũng theo báo cáo này tái chế chất thải rắn xây dựng là giải pháp hiệu quả nhất giải quyết tình trạng chất thải rắn được tạo ra hiện nay. Công nghệ in bê tông 3D được biết đến không chỉ bởi sự tự động hóa mà còn là công nghệ thân thiện môi trường, đáp ứng xu hướng phát triển bền vững hiện nay. Vật liệu in bê tông 3D phần lớn được lựa chọn từ rác thải rắn xây dựng, phế thải từ việc phá dỡ các công trình hết thời gian sử dụng, sản phẩm thừa từ các quá trình sản xuất khác như tro bay, xỉ lò cao... theo đó giúp tiết kiệm tài nguyên thiên nhiên. Rất nhiều công ty đã hiện thực hóa được điều này, công ty Winsun là một ví dụ khi đã sử dụng rác thải làm vật liệu chính cho các thiết kế in bê tông 3D [15].

3.5. Giải pháp tính toán và thi công cho các công trình sử dụng in bê tông 3D ở Việt Nam

Đây là công nghệ hoàn toàn mới không chỉ đối với ngành xây dựng trong nước mà còn cả các quốc gia khác. Lý thuyết tính toán, hệ thống tiêu chuẩn, quy phạm liên quan còn rất hạn chế. Cuốn sách đầu tiên trình bày về lý thuyết tính toán được Wolfs công bố vào 2015. Các lý thuyết tính toán, mô hình tính đã được đề xuất qua cuốn sách này [26, 27]. Việc ứng dụng công nghệ in bê tông 3D vào ngành xây dựng là một xu thế tất yếu. Tuy nhiên, trong quá trình thực hiện, chắc chắn không tránh khỏi những khó khăn bước đầu. Do đó rất cần một chiến lược tổng thể và dài hạn cho quá trình ứng dụng công nghệ mới này, tiến đến đổi mới toàn diện cả quy trình đầu tư, thiết kế và thi công, trong đó nhân tố con người phải được đặt lên hàng đầu.

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày tổng quan công nghệ in bê tông 3D, tiềm năng, thách thức, thực trạng ngành xây dựng Việt Nam và những điểm nổi bật mà công nghệ này có thể giải quyết các thách thức ngành xây dựng trong nước đang phải đối mặt. Thế giới đã bước vào cuộc cách mạng 4.0, công nghệ in bê tông 3D, với những tiềm năng của nó, được tiên đoán sẽ thay thế công nghệ thi công bê tông truyền thống mở ra một kỷ nguyên mới thay đổi hoàn toàn cách thức xây dựng hiện đại. Ứng dụng của công nghệ in bê tông 3D tuy còn những hạn chế nhưng trong tương lai gần, khi mà các nghiên cứu tiếp tục phát triển, các tiêu chuẩn thiết kế được ban hành, đây sẽ là công nghệ xây dựng bền vững, giảm tối đa thời gian sản xuất, sử dụng ít lao động, tối thiểu lượng rác thải và thân thiện với môi trường.

Công nghệ in bê tông 3D hoàn toàn có thể áp dụng được tại Việt Nam và khi ứng dụng sẽ được điều chỉnh cho phù hợp với điều kiện về nguyên vật liệu, phương pháp thi công, quản lý nhà nước. Bài báo đã đặt nền móng cho hướng nghiên cứu trong nước trong lĩnh vực này, mở ra một làn sóng mới để nhiều nhà nghiên cứu, các đơn vị sản xuất quan tâm, thúc đẩy sự phát triển của công nghệ in bê tông 3D trong bối cảnh xây dựng Việt Nam. Trong thời gian tới việc nghiên cứu và phát triển công nghệ này cần được đẩy mạnh hơn nữa để chúng ta có thể tiếp cận với thế giới, từ đó dần làm chủ công nghệ, áp dụng cho công trình xây dựng ở Việt Nam.

Công nghệ in bê tông 3D là một công nghệ hoàn toàn mới, do đó còn nhiều khía cạnh cần được nghiên cứu và phát triển: (1) nghiên cứu các giải pháp về vật liệu in, đặc biệt vật liệu in có khả năng chịu kéo, vật liệu tái chế cho công nghệ in; (2) hệ thống thiết bị in bao gồm cánh tay robot, hệ căn trục; (3) giải pháp, lý thuyết tính toán kết cấu in 3D, (4) quy trình thi công bê tông in 3D để có thể thương mại hóa các sản phẩm ở quy mô lớn và phát triển trên thị trường.

Tài liệu tham khảo

- [1] Tay, Y. W. D., Panda, B., Paul, S. C., Noor Mohamed, N. A., Tan, M. J., Leong, K. F. (2017). [3D printing trends in building and construction industry: a review](#). *Virtual and Physical Prototyping*, 12(3):261–276.
- [2] Nematollahi, B., Xia, M., Sanjayan, J. (2017). [Current progress of 3D concrete printing technologies](#). In *Proceedings of the 34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*, 260–267.
- [3] Bos, F., Wolfs, R., Ahmed, Z., Salet, T. (2016). [Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing](#). *Virtual and Physical Prototyping*, 11(3):209–225.
- [4] Meliá, J. L., Mearns, K., Silva, S. A., Lima, M. L. (2008). [Safety climate responses and the perceived risk of accidents in the construction industry](#). *Safety Science*, 46(6):949–958.
- [5] Gosselin, C., Duballet, R., Roux, P., Gaudillière, N., Dirrenberger, J., Morel, P. (2016). [Large-scale 3D printing of ultra-high performance concrete – a new processing route for architects and builders](#). *Materials & Design*, 100:102–109.
- [6] International ASTM (2015). *Standard terminology for additive manufacturing technologies*. West Conshohocken.
- [7] Panda, B., Paul, S. C., Mohamed, N. A. N., Tay, Y. W. D., Tan, M. J. (2018). [Measurement of tensile bond strength of 3D printed geopolymers mortar](#). *Measurement*, 113:108–116.
- [8] Tay, Y. W., Panda, B., Paul, S. C., Tan, M. J., Qian, S. Z., Leong, K. F., Chua, C. K. (2016). Processing and properties of construction materials for 3D printing. *Materials Science Forum*, 861:177–181.
- [9] Buswell, R. A., Soar, R. C., Gibb, A. G. F., Thorpe, A. (2007). [Freeform construction: mega-scale rapid manufacturing for construction](#). *Automation in Construction*, 16(2):224–231.
- [10] Gadhiya, S., Patel, T. N., Shah, D. (2015). [Bendable concrete: a review](#). *International Journal For Technological Research In Engineering*, 4(1):141–147.

- [11] Ganesh, S. G., Nilesh, S. D., Yogesh, S. B., Dattatraya, S. G., Sagar, A. C., Ashwini, W. (2015). Experimental study of bendable concrete by using admixture and fiber. *International Journal for Technological Research in Engineering*, 4(9):1743–1746.
- [12] Hwang, D., Khoshnevis, B., Daniel, E. (2004). [Concrete wall fabrication by contour crafting](#). In *21st International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2004)*, Jeju, South Korea, 301–307.
- [13] Fernandes, G., Feitosa, L. (2015). Impact of contour crafting on civil engineering. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 4(8):628–632.
- [14] Lim, S., Buswell, R. A., Le, T. T., Austin, S. A., Gibb, A. G. F., Thorpe, T. (2012). [Developments in construction-scale additive manufacturing processes](#). *Automation in Construction*, 21:262–268.
- [15] Chien, S., Choo, S., Schnabel, M. A., Nakapan, W., Kim, M. J., Roudavski, S. (2016). [Parametric customisation of a 3D concrete printed pavilion](#). In *Proceedings of the 21st International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA*, 549–558.
- [16] Thomas, D. S., Gilbert, S. W. (2014). *Costs and cost effectiveness of additive manufacturing*. National Institute of Standards and Technology (NIST).
- [17] Cor, A. (2017). [The first on-site house has been printed in Russia](#).
- [18] Perkins, I., Skitmore, M. (2015). [Three-dimensional printing in the construction industry: A review](#). *International Journal of Construction Management*, 15(1):1–9.
- [19] Cesaretti, G., Dini, E., De Kestelier, X., Colla, V., Pambaguian, L. (2014). [Building components for an outpost on the Lunar soil by means of a novel 3D printing technology](#). *Acta Astronautica*, 93:430–450.
- [20] Anh, Q. (2017). [Nhu cầu nhân lực trong lĩnh vực công nghệ kỹ thuật vật liệu xây dựng](#).
- [21] Hùng, T. N. (2017). Nguồn nhân lực hoạt động xây dựng ở Việt Nam. *Tạp chí Xây Dựng và Đô Thị*, (53).
- [22] Bộ Lao động - Thương binh và xã hội (2016). [Tình hình tai nạn lao động năm 2016](#).
- [23] Hồng, N. T. (2013). Đổi mới công nghệ và vật liệu mới nhằm giảm giá thành xây dựng trong các công trình giao thông. *Tạp Chí Công Nghệ - Vật Liệu Mới*, (3&4).
- [24] Bộ Tài nguyên và Môi trường (2011). *Báo cáo môi trường quốc gia 2011: Chất thải rắn*.
- [25] Bộ Tài nguyên và Môi trường (2015). *Quản lý chất thải, bảo vệ môi trường lưu vực sông, khắc phục suy thoái và cải thiện chất lượng môi trường 2015*. Hội nghị môi trường toàn quốc.
- [26] Hopkinson, N., Dicknes, P. (2003). [Analysis of rapid manufacturing - using layer manufacturing processes for production](#). *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 217(1):31–39.
- [27] Wolfs, R. (2015). *3D printing of concrete structures*. PhD, Department of the Built Environment, Eindhoven University of Technology.