



Xây dựng Tinh gọn trong quản lý dự án xây dựng: Tổng quan hệ thống về lý thuyết, công cụ, triển khai và tích hợp công nghệ

Lean Construction in construction project management: A systematic review of theory, tools, implementation, and technology integration

Nguyễn Minh Tự^{1,*}, Lê Hoàng An², Lê Bá Anh³

¹Bệnh viện Quân y 175

²Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

³Trường Đại học Giao thông vận tải

Từ khóa: TÓM TẮT

Xây dựng Tinh gọn; Last Planner System; Lý thuyết TFV; Value Stream Mapping; Quản lý dự án xây dựng

Ngành xây dựng toàn cầu đang chịu áp lực cố hữu về năng suất thấp, lãng phí vật liệu từ 20–30% chi phí dự án và tỷ lệ vượt tiến độ cao. Xây dựng Tinh gọn (Lean Construction – LC) đã nổi lên như một triết lý quản lý sản xuất có hệ thống nhằm giải quyết những thách thức này. Bài tổng quan hệ thống này phân tích 91 nguồn tài liệu về LC giai đoạn 1988–2025 theo sáu nội dung: (1) nền tảng lý thuyết từ Hệ thống Sản xuất Toyota và lý thuyết TFV của Koskela; (2) hệ thống công cụ gồm Last Planner System, Value Stream Mapping và KanBIM; (3) bằng chứng thực nghiệm từ hơn 15 quốc gia với PPC cải thiện từ 35–50% lên 65–85%, giảm 16–25% chi phí và tăng 24–50% năng suất; (4) phân tích 40 rào cản trong sáu nhóm theo khu vực địa lý; (5) tích hợp công nghệ số với 56 tương tác BIM-Lean và 54 tương tác LC-IoT; và (6) triển vọng ứng dụng trong bối cảnh Việt Nam. Kết quả chỉ ra rằng LC cung cấp nền tảng lý thuyết vững chắc và công cụ thực tiễn để cải thiện hiệu suất dự án, đồng thời xác định năm khoảng trống nghiên cứu cần ưu tiên trong hướng tới Lean Construction 4.0.

Keywords: ABSTRACT

Lean Construction; Last Planner System; TFV Theory; Value Stream Mapping; Construction Project Management.

The global construction industry faces persistent challenges of low productivity, material waste of 20–30% of project cost, and chronic schedule overruns. Lean Construction (LC) has emerged as a systematic production management philosophy to address these structural problems. This systematic review analyzes 90 sources on LC from 1988 to 2025 across six dimensions: (1) theoretical foundations from the Toyota Production System and Koskela's Transformation-Flow-Value theory; (2) key tools including Last Planner System, Value Stream Mapping, and KanBIM; (3) empirical evidence from over 15 countries showing PPC improvement from 35–50% to 65–85%, 16–25% cost reduction, and 24–50% productivity increase; (4) analysis of 40 barriers across six categories and geographic regions; (5) digital technology integration encompassing 56 BIM-Lean interactions and 54 LC-IoT interactions; and (6) implications for LC application in Vietnam. Results demonstrate that LC provides a robust theoretical framework and practical tools for significant project performance improvement. Five research gaps are identified as priorities: longitudinal evidence of LC sustainability, empirical validation of LC-IoT interactions, developing-country contexts, LC-ESG linkage, and LC application in megaprojects—collectively pointing toward a Lean Construction 4.0 research agenda.

* Nguyễn Minh Tự. Bệnh viện Quân y 175.

Email: minhtuhcqs@gmail.com

<https://www.doi.org/10.55228/JTST150305>

Ngày nhận bài: 16/03/2026; Ngày nhận bài sửa: 09/04/2026; Ngày chấp nhận đăng: 15/04/2026

Ngày xuất bản trực tuyến: 15/05/2026

pISSN: 1859-4263; eISSN: 3030-4261

1. Giới thiệu

Ngành xây dựng đóng vai trò then chốt trong nền kinh tế toàn cầu, với quy mô thị trường đạt 7,28 nghìn tỷ USD năm 2022 và dự báo tăng lên 10,5 nghìn tỷ USD vào năm 2030 [1]. Ngành này đóng góp khoảng 13% GDP toàn cầu và tạo việc làm cho hàng trăm triệu lao động [2]. Tuy nhiên, bất chấp quy mô kinh tế lớn, Diễn đàn Kinh tế thế giới [3] ghi nhận năng suất lao động trong xây dựng gần như không thay đổi trong 50 năm qua — một tình trạng hoàn toàn đối lập với xu hướng tăng trưởng liên tục của ngành sản xuất chế tạo.

Thực trạng này bắt nguồn từ các vấn đề có tính hệ thống, không phải ngẫu nhiên. Khoảng 90% các siêu dự án (megaproject) trải qua chậm tiến độ và vượt chi phí [4]. Tỷ lệ lãng phí vật liệu ước tính từ 20–30% chi phí dự án [5], trong khi lãng phí tổng hợp — bao gồm lao động, thời gian chờ đợi và quy trình không tạo giá trị — có thể lên đến 25–50% [6]. Nếu ngành xây dựng nâng được năng suất lên ngang mức ngành sản xuất, giá trị gia tăng hàng năm toàn cầu có thể tăng thêm 1,6 nghìn tỷ USD [1]. Áp lực từ đô thị hóa nhanh, biến đổi khí hậu và yêu cầu phát triển bền vững đang đòi hỏi ngành phải tìm kiếm phương pháp quản lý có hiệu quả hơn.

Trong bối cảnh đó, Xây dựng Tinh gọn (Lean Construction – LC) nổi lên như một hướng tiếp cận có hệ thống và có cơ sở lý thuyết vững. LC tập trung vào ba mục tiêu cốt lõi: loại bỏ lãng phí (muda), tối đa hóa giá trị cho khách hàng, và cải tiến liên tục [7]. Tính đến nay, LC đã được triển khai tại hơn 40 quốc gia với kết quả tích cực được ghi nhận về chi phí, tiến độ và chất lượng [8]. Jasti và Kodali [9] xác nhận các nguyên tắc tinh gọn từ sản xuất chế tạo có thể được điều chỉnh thành công sang các ngành khác, trong đó xây dựng là lĩnh vực quan trọng nhất về quy mô kinh tế.

Mặc dù số lượng công bố về LC tăng nhanh trong thập kỷ qua, các tổng quan hiện có thường tập trung vào từng khía cạnh riêng lẻ: một công cụ cụ thể, một khu vực địa lý, hoặc một giai đoạn phát triển nhất định. Chưa có tổng quan nào cung cấp bức tranh hệ thống từ nền tảng lý thuyết đến triển khai thực tiễn và tích hợp công nghệ số, đặc biệt là chưa kết nối được với bối cảnh các nước đang phát triển như Việt Nam. Bài tổng quan này nhằm lấp đầy khoảng trống đó.

Nghiên cứu áp dụng phương pháp tổng quan văn bản hệ thống theo hướng dẫn PRISMA 2020 [10] và khung đánh giá chất lượng của Booth và cộng sự [11]. Tài liệu được thu thập từ Scopus, Web of Science, kỷ yếu IGLC (1993–2025) [12] và Google Scholar, với khung phân loại theo Grant và Booth [13]. Từ khóa tìm kiếm bao gồm: "lean construction", "last planner system", "TFV theory", "BIM lean integration", "lean construction barriers". Quy trình sàng lọc theo bốn bước PRISMA: (i) nhận diện (identification) — tìm kiếm ban đầu thu được 412 bản ghi; (ii) sàng lọc tiêu đề và tóm tắt (screening) — loại 187 bản ghi do trùng lặp hoặc không liên quan; (iii) đánh giá toàn văn (eligibility) — loại thêm 135 bài do không đáp ứng tiêu chí chất lượng hoặc phạm vi; (iv) đưa vào phân tích (included) — 91 nguồn tài liệu từ 1988 đến 2025 được chọn, với trọng tâm giai đoạn 2020–2025. Bài tổng quan bao gồm 6 nội dung chính: (1) nền tảng lý thuyết; (2) công cụ và kỹ thuật; (3) bằng chứng thực nghiệm; (4) rào cản triển khai; (5) tích hợp công nghệ số; và (6) ứng dụng tại Việt Nam.

2. Nguồn gốc và nền tảng lý thuyết

2.1. Hệ thống sản xuất Toyota và tư duy tinh gọn

Tư duy tinh gọn bắt nguồn từ Hệ thống Sản xuất Toyota (Toyota Production System – TPS), được Taiichi Ohno [14] và Shigeo Shingo [15] phát triển tại Toyota Motor Corporation sau Thế chiến II trong bối cảnh Nhật Bản thiếu vốn và tài nguyên, buộc phải sản xuất hiệu quả hơn thay vì sản xuất nhiều hơn. TPS được xây dựng trên hai trụ cột: (1) Just-in-Time (JIT) — sản xuất đúng sản phẩm, đúng số lượng, đúng thời điểm, không sản xuất dư một đơn vị nào; và (2) Jidoka — tự động hóa có khả năng nhận biết lỗi và dừng quy trình ngay khi xảy ra bất thường, thay vì để lỗi lan truyền và tích lũy qua các công đoạn tiếp theo. Ohno [14] đồng thời xác định bảy loại lãng phí (muda) cốt lõi cần loại bỏ, trong khi Shingo [15] đóng góp kỹ thuật SMED (Single Minute Exchange of Dies) giảm thời gian chuyển đổi sản phẩm xuống dưới 10 phút.

Thuật ngữ "Lean" được đặt ra lần đầu năm 1988 bởi Krafcik [16] trong bài báo có ảnh hưởng lớn trên Sloan Management Review, đặt tên cho một hệ thống sản xuất "tinh gọn" (lean) đối lập với sản xuất hàng loạt "đồ sộ" (buffered). Womack, Jones và Roos [17] sau đó phổ biến khái niệm này rộng rãi qua cuốn sách "The Machine That Changed the World", chứng minh

bằng dữ liệu định lượng rằng nhà sản xuất ô tô Nhật Bản đạt năng suất cao hơn 2 lần và chất lượng tốt hơn với ít không gian, vốn và nhân lực hơn so với đối thủ. Liker [18] hệ thống hóa tư tưởng Toyota thành 14 nguyên tắc quản lý trong bốn nhóm (4P: Philosophy — triết lý dài hạn; Process — quy trình đúng; People & Partners — phát triển con người; Problem Solving — giải quyết vấn đề liên tục). Womack và Jones [19] chắt lọc thành năm nguyên tắc Lean Thinking có thể áp dụng cho bất kỳ ngành nào: xác định giá trị từ góc độ khách hàng, nhận diện dòng giá trị, tạo dòng chảy liên tục, thiết lập hệ thống kéo, và theo đuổi sự hoàn hảo. Fullerton và McWatters [20] xác nhận bằng dữ liệu thực nghiệm từ các nhà máy rằng mức độ triển khai JIT có tương quan dương đáng kể với hiệu suất tổ chức — cung cấp cơ sở định lượng cho việc áp dụng tư duy tinh gọn. Ngoài JIT, Spearman và cộng sự [21] phát triển CONWIP (Constant Work-In-Process) như giải pháp kiểm soát lượng WIP không đổi trong môi trường biến động cao, trong khi Agustadi và Cudney [22] đóng góp phương pháp TPM (Total Productive Maintenance) để duy trì hiệu suất thiết bị tối ưu và tránh lãng phí chờ đợi do hỏng máy.

2.2. Sự ra đời của Xây dựng Tinh gọn

Việc chuyển giao tư duy tinh gọn sang ngành xây dựng bắt đầu có hệ thống từ đầu những năm 1990. Điểm khởi đầu là một câu hỏi căn bản: tại sao ngành xây dựng, dù đã áp dụng nhiều công cụ quản lý dự án tinh vi, vẫn liên tục chậm tiến độ, vượt chi phí và có lãng phí cao? Báo cáo kỹ thuật của Koskela năm 1992 tại Đại học Stanford [23] trả lời câu hỏi này: quản lý xây dựng truyền thống chỉ nhìn sản xuất qua lăng kính "biến đổi" (chuyển đầu vào thành đầu ra) và bỏ qua toàn bộ những gì xảy ra giữa các bước biến đổi — chờ đợi, di chuyển, kiểm tra — chính là nơi phần lớn lãng phí tồn tại. Koskela [23] đề xuất 11 nguyên tắc cải tiến dòng chảy áp dụng cho xây dựng, trong đó nổi bật là giảm biến động, rút ngắn thời gian chu trình và tăng tính minh bạch quy trình.

Năm 1993, International Group for Lean Construction (IGLC) [12] được thành lập, đánh dấu sự ra đời chính thức của LC như một lĩnh vực nghiên cứu độc lập với hội nghị học thuật thường niên liên tục đến nay. Howell và Ballard [24] đóng góp quan trọng trong phát triển các khái niệm và công cụ LC thực tiễn ứng dụng được tại công trường. Koskela và Howell [25] lập luận trực tiếp rằng lý thuyết quản lý

dự án truyền thống — dựa hoàn toàn trên mô hình biến đổi và kiểm soát theo kế hoạch — là chưa đủ và không thể giải quyết tính bất định vốn có của xây dựng; cần một lý thuyết mới toàn diện hơn. AlSehaimi và cộng sự [26] bổ sung bằng cách chỉ ra nhu cầu cấp thiết về các phương pháp nghiên cứu thay thế trong quản lý xây dựng, đặc biệt khi phân tích nguyên nhân gốc rễ của chậm trễ dự án — hầu hết các nghiên cứu truyền thống chỉ mô tả hiện tượng mà không chỉ ra được nguyên nhân hệ thống.

2.3. Lý thuyết Biến đổi – Dòng chảy – Giá trị

Đóng góp lý thuyết quan trọng nhất và có hệ thống nhất cho LC là lý thuyết Lý thuyết Biến đổi-Dòng chảy-Giá trị (Transformation-Flow-Value) được Koskela [27] phát triển trong luận án tiến sĩ năm 2000. Xuất phát điểm của TFW là nhận định rằng bất kỳ lý thuyết sản xuất đơn lẻ nào cũng chỉ nắm bắt được một phần thực tại — do đó cần ba quan điểm bổ sung, không thay thế nhau.

Quan điểm Biến đổi (Transformation – T) coi sản xuất là quá trình chuyển đổi đầu vào thành đầu ra có giá trị cao hơn. Đây là nền tảng của CPM và WBS — hữu ích để phân chia công việc, phân bổ nguồn lực và lập tiến độ. Nhưng quan điểm này có một giới hạn căn bản: nó không thấy được những gì xảy ra giữa các bước biến đổi.

Quan điểm Dòng chảy (Flow – F) lấp đầy giới hạn đó bằng cách coi sản xuất là dòng chảy vật liệu, thông tin và nguồn lực qua thời gian và không gian [27]. Trong thực tế xây dựng, các hoạt động không tạo giá trị (NVA) như chờ đợi, di chuyển và kiểm tra chiếm 50–70% tổng thời gian — đây chính là mục tiêu cải thiện trực tiếp của LC.

Quan điểm Giá trị (Value – V) đặt khách hàng vào trung tâm: sản xuất chỉ tạo ra giá trị khi đáp ứng yêu cầu và kỳ vọng của người sử dụng cuối cùng. Quan điểm này được Lichtig [28] hiện thực hóa thành mô hình hợp đồng Target Value Design (Thiết kế theo Giá trị Mục tiêu) tại Sutter Health, và được Sacks và cộng sự [29] mở rộng thành khung phân tích tương tác BIM-Lean với 56 điểm tương tác được xác định.

Bên cạnh lý thuyết TFW, Koskela [30] xác định loại lãng phí thứ tám không có trong danh sách gốc của Ohno: "make-do" — tình trạng bắt đầu thực hiện một công việc khi các điều kiện tiên quyết (bản vẽ hoàn chỉnh, vật liệu đủ, mặt bằng chuẩn bị, nhân lực và

thiết bị sẵn sàng) chưa được đáp ứng đầy đủ. Make-do đặc biệt phổ biến trong xây dựng vì áp lực tiến độ thường buộc đội thi công bắt đầu sớm dù chưa đủ điều kiện. Hậu quả là tạo ra một chuỗi lãng phí phát sinh: công việc phải dừng giữa chừng, làm lại, điều chỉnh — tốn kém hơn nhiều so với việc chờ đến khi

điều kiện đủ. Bảng 1 mô tả chi tiết tám loại lãng phí với định nghĩa chính xác và ví dụ cụ thể từ thực tiễn xây dựng. Bảng 2 trình bày tiến trình phát triển tư tưởng LC từ 1950s đến 2025, cho thấy tính liên tục và tích lũy của lĩnh vực.

Bảng 1. 8 loại lãng phí theo quan điểm Xây dựng Tinh gọn.

Loại lãng phí	Định nghĩa	Ví dụ điển hình trong xây dựng	Nguồn
1. Sản xuất thừa (Overproduction)	Thực hiện công việc nhiều hơn hoặc sớm hơn yêu cầu thực tế, khiến nguồn lực bị tiêu tốn mà không tạo ra giá trị tức thời	Đổ bê tông hoặc lắp cấu kiện thép trước khi điều kiện lắp đặt liền kề sẵn sàng; sản xuất cấu kiện vượt số lượng hợp đồng	Ohno [14]; Sacks et al. [29]
2. Chờ đợi (Waiting)	Thời gian gián đoạn trong đó người lao động hoặc thiết bị không hoạt động do không có đủ đầu vào	Thi công phải dừng do chờ bản vẽ phê duyệt, vật liệu giao chậm, thiết bị hỏng hoặc chờ phê duyệt của chủ đầu tư	Ohno [14]; Babalola et al. [8]
3. Vận chuyển (Transportation)	Di chuyển vật liệu, cấu kiện hoặc thông tin không cần thiết, không tạo giá trị cho sản phẩm cuối cùng	Vận chuyển vật liệu qua nhiều điểm trung gian; bố trí kho bãi không hợp lý buộc phải vận chuyển nhiều lần	Ohno [14]; Vilventhan et al. [40]
4. Gia công quá mức (Over-processing)	Thực hiện nhiều bước xử lý hơn mức khách hàng yêu cầu và sẵn sàng trả tiền	Hoàn thiện bề mặt quá tiêu chuẩn ở những vị trí sẽ bị che khuất; kiểm tra và phê duyệt trùng lặp không cần thiết	Ohno [14]; Ibrahim et al. [7]
5. Tồn kho dư thừa (Inventory)	Vật liệu, thông tin hoặc công việc dở dang vượt quá nhu cầu tức thời, gây ứ đọng vốn và chiếm mặt bằng	Tích trữ vật liệu lớn tại công trường; tồn tại WIP (work-in-progress) cao giữa các công đoạn không liên tục	Ohno [14]; Formoso et al. [5]
6. Di chuyển không cần thiết (Motion)	Người lao động phải di chuyển không phục vụ trực tiếp cho hoạt động sản xuất	Công nhân đi lại nhiều lần để tìm dụng cụ, vật tư hoặc thông tin không có sẵn tại vị trí làm việc	Ohno [14]; Aziz & Hafez [6]
7. Khuyết tật (Defects)	Sản phẩm hoặc công việc không đạt yêu cầu kỹ thuật, phải sửa chữa hoặc làm lại, tiêu tốn thêm nguồn lực	Tường xây sai vị trí; hệ thống cơ-diện (MEP) lắp đặt sai phải tháo dỡ và lắp lại; sai kích thước kết cấu	Ohno [14]; Koskela [23]
8. Make-do (Thực hiện khi thiếu điều kiện)	Bắt đầu thực hiện một công việc khi các điều kiện tiên quyết chưa được đáp ứng đầy đủ — loại lãng phí đặc trưng của xây dựng, không có trong danh sách gốc của Ohno	Thi công khi bản vẽ chưa hoàn chỉnh hoặc chưa được phê duyệt; thiếu vật liệu hoặc mặt bằng chưa được chuẩn bị	Koskela [30]; Sacks et al. [29]

Bảng 2. Sự phát triển của nền tảng Xây dựng Tinh gọn.

Giai đoạn	Phát triển chính	Công trình tiêu biểu	Đóng góp cốt lõi
1950s–1970s	Hệ thống Sản xuất Toyota (TPS) được hình thành tại Nhật Bản sau Thế chiến II,	Ohno (1988) [14]; Shingo (1988) [15]	JIT; Jidoka; 7 loại lãng phí (muda); Kanban; SMED; hệ thống kéo

Giai đoạn	Phát triển chính	Công trình tiêu biểu	Đóng góp cốt lõi
	đặt nền tảng cho toàn bộ tư duy Lean		
1988–1990	Thuật ngữ "Lean" được đặt ra và phổ biến toàn cầu qua nghiên cứu so sánh ngành ô tô quốc tế	Krafcik (1988) [16]; Womack et al. (1990) [17]	Chứng minh bằng dữ liệu định lượng ưu thế sản xuất Nhật Bản; khái niệm Lean Production
1992–1993	Lean Construction ra đời như lĩnh vực nghiên cứu độc lập; 11 nguyên tắc cải tiến dòng chảy được đề xuất	Koskela (1992) [23]; IGLC (1993) [12]	Chuyển giao Lean từ sản xuất sang xây dựng; thành lập IGLC; hội nghị hàng năm liên tục đến nay
1994–2000	Last Planner System được phát triển và hoàn thiện; chỉ số PPC được thiết lập	Ballard (1994) [31]; Ballard (2000) [32]	LPS 5 cấp độ; PPC như thước đo độ tin cậy kế hoạch; Lean Project Delivery System (LPDS)
2000–2010	Nền tảng lý thuyết TFM được xây dựng và công bố; lãng phí thứ 8 (make-do) được xác định	Koskela (2000) [27]; Koskela (2004) [30]; Liker (2004) [18]	Lý thuyết Transformation-Flow-Value; lãng phí make-do; Toyota Way 14 nguyên tắc
2010–2020	56 tương tác BIM-LC được lập thành ma trận; KanBIM và Digital Obeya Room được phát triển	Sacks et al. (2010) [29][45]; Nascimento et al. (2017) [41]	Tích hợp BIM-Lean có hệ thống; công cụ quản lý trực quan tích hợp; KanBIM tại công trường
2020–2025	Lean Construction 4.0 hướng tới tích hợp toàn diện với IoT, AI và Digital Twin	González et al. (2022) [83]; Al Balkhy (2023) [82]; Agrawal et al. (2024) [33]	54 tương tác LC-IoT; 50 chức năng LPS tiềm năng tự động hóa; Digital Twin trong LC

3. Công cụ và kỹ thuật Xây dựng Tinh gọn

3.1. Công cụ lập kế hoạch và kiểm soát sản xuất LPS

Hệ thống Kế hoạch Cuối (Last Planner System – LPS) là công cụ lập kế hoạch và kiểm soát sản xuất được triển khai rộng rãi nhất trong LC, được Agrawal và cộng sự [33] xác nhận qua tổng quan 112 nghiên cứu. Xuất phát từ công trình ban đầu của Glenn Ballard năm 1994 [31] và hoàn thiện trong luận án tiến sĩ năm 2000 [32], LPS giải quyết một nghịch lý cơ bản của quản lý dự án truyền thống: kế hoạch được lập từ trên xuống dựa trên điều kiện lý tưởng, nhưng thực tế thi công luôn có biến động do thiếu vật liệu, mặt bằng chưa sẵn sàng, nhà thầu phụ không đủ năng lực hoặc thời tiết xấu. Kết quả là kế hoạch liên tục không được thực hiện nhưng không có cơ chế học hỏi và điều chỉnh có hệ thống.

LPS giải quyết nghịch lý này bằng cách thay đổi ai là người lập kế hoạch: thay vì kế hoạch đến từ cấp quản lý cao nhất, LPS để những người trực tiếp thực hiện công việc — "last planners" (người lập kế hoạch

cuối) — cam kết chỉ vào những công việc mà họ thực sự có thể và sẽ hoàn thành trong tuần, dựa trên điều kiện thực tế đã được kiểm tra. LPS hoạt động qua năm cấp độ lập kế hoạch kết nối từ dài hạn đến ngắn hạn: (1) Kế hoạch tổng thể (Master Planning) thiết lập các mốc chính của dự án; (2) Kế hoạch giai đoạn (Phase Planning) sử dụng kỹ thuật kéo ngược (Pull Planning) — bắt đầu từ ngày hoàn thành mục tiêu và lùi về hiện tại để xác định chuỗi công việc và điều kiện tiên quyết; (3) Kế hoạch tầm nhìn 3–6 tuần (Lookahead Planning) xác định và chủ động loại bỏ các ràng buộc (constraints) trước khi công việc bắt đầu; (4) Kế hoạch tuần (Weekly Work Planning) với cam kết rõ ràng từ đội thi công; và (5) Học hỏi (Learning) thông qua phân tích nguyên nhân gốc rễ khi kế hoạch không hoàn thành [34].

Chỉ số Percent Plan Complete (PPC) — tỷ lệ phần trăm nhiệm vụ được cam kết và hoàn thành trong tuần — là thước đo cốt lõi của LPS, đo lường độ tin cậy của kế hoạch (không phải tiến độ tổng thể). Khi PPC cao, điều đó có nghĩa là đội dự án đang lập kế

hoạch thực tế, ràng buộc đang được loại bỏ trước thời hạn, và dòng công việc ổn định. Ballard và Tommelein [34][35] xác định PPC trung bình ngành khoảng 54%, trong khi các đội áp dụng LC đầy đủ đạt 70–85%. Larsson và Ratnayake [36] xác nhận rằng hiệu quả của LPS phụ thuộc nhiều vào chất lượng cuộc họp lập kế hoạch tuần và quá trình phân tích nguyên nhân khi PPC thấp — không chỉ vào việc có hay không có các biểu mẫu LPS. Hamzeh [37] phát triển chi tiết vai trò của Lookahead Planning trong cải thiện dòng công việc xây dựng. Lagos và cộng sự [38] cho thấy hỗ trợ công nghệ thông tin cải thiện đáng kể 6 trong 16 thành phần cốt lõi của LPS, đặc biệt là theo dõi ràng buộc và phân tích nguyên nhân gốc rễ.

3.2. Công cụ nhận diện lãng phí Sơ đồ Dòng giá trị

Sơ đồ Dòng giá trị (Value Stream Mapping – VSM) là công cụ trực quan hóa do Rother và Shook [39] phát triển để phân tích toàn bộ dòng chảy vật liệu và thông tin từ nguyên liệu đầu vào đến sản phẩm bàn giao cho khách hàng. Điểm mạnh cốt lõi của VSM là cho phép nhóm dự án nhìn thấy toàn bộ quy trình trên một trang, bao gồm cả các hoạt động không tạo giá trị thường bị vô hình trong báo cáo quản lý truyền thống. VSM phân biệt rõ ba loại hoạt động: (1) tạo giá trị (VAA – Value-Adding Activities): khách hàng sẵn sàng trả tiền; (2) không tạo giá trị nhưng cần thiết do ràng buộc hiện tại (NNVA – Necessary Non-Value-Adding): cần tối thiểu hóa; và (3) không tạo giá trị và có thể loại bỏ ngay (NVA): cần loại bỏ. Quy trình VSM gồm ba bước: lập bản đồ trạng thái hiện tại (nhận diện và đo lường lãng phí hiện tại); thiết kế bản đồ trạng thái tương lai (mô hình quy trình cải tiến); và

phát triển kế hoạch hành động cụ thể. Vilventhan và cộng sự [40] áp dụng VSM trong dự án xây dựng thực tế tại Ấn Độ và phát hiện chỉ 30–40% thời gian là VAA. Nascimento và cộng sự [41] phát triển Digital Obeya Room kết hợp VSM với BIM trong nhà máy công nghiệp. Bataglin và cộng sự [42] mở rộng VSM vào hệ thống sản xuất và giao hàng bê tông đúc sẵn, kết hợp với BIM để lập kế hoạch và kiểm soát.

3.3. Các công cụ hỗ trợ và hệ sinh thái công cụ LC

Just-In-Time (JIT) là nguyên tắc cung ứng cốt lõi: vật liệu và nguồn lực đến đúng loại, đúng số lượng, đúng thời điểm, đúng địa điểm [14]. Trong xây dựng, JIT đòi hỏi phối hợp chặt chẽ với chuỗi cung ứng — vốn là điểm yếu cấu trúc của ngành. Pheng và Chuan [43] nghiên cứu mức độ sẵn sàng của nhà thầu tại Singapore trong áp dụng JIT cho bê tông đúc sẵn, ghi nhận tiềm năng lớn nhưng cũng nhiều thách thức về độ tin cậy của nhà cung cấp và tính linh hoạt hợp đồng. Li và cộng sự [44] chứng minh hệ thống CONWIP — kiểm soát tổng lượng WIP không đổi trong toàn bộ chuỗi sản xuất, một biến thể của Kanban do Spearman và cộng sự [21] phát triển — giúp tiết kiệm 25,4% chi phí làm thêm giờ so với hệ thống đẩy truyền thống trong sản xuất bê tông đúc sẵn. Sacks và cộng sự [45] phát triển KanBIM — tích hợp tín hiệu Kanban với mô hình BIM — thử nghiệm thành công tại công trường bệnh viện tại Israel: nhà thầu phụ kéo công việc tiếp theo thông qua giao diện BIM chỉ khi có năng lực sẵn sàng, tạo ra hệ thống kéo trực quan ngay tại công trường. Bảng 3 tổng hợp đầy đủ 11 công cụ LC chính với chức năng cụ thể và nguồn gốc.

Bảng 3. Tổng hợp các công cụ và kỹ thuật Xây dựng Tinh gọn chính.

Công cụ/Kỹ thuật	Năm	Chức năng chính và cơ chế tạo ra lợi ích	Nguồn
Last Planner System (LPS)	1994	Lập kế hoạch phân cấp 5 cấp từ dài hạn đến tuần; tăng độ tin cậy qua cam kết của người thực hiện; đo lường PPC để học hỏi liên tục	Ballard [31][32]
Value Stream Mapping (VSM)	1999	Lập bản đồ toàn bộ dòng chảy vật liệu và thông tin; phân biệt VAA/NNVA/NVA; nhận diện lãng phí hệ thống	Rother & Shook [39]
Just-In-Time (JIT)	1950s	Cung cấp đúng vật liệu, đúng số lượng, đúng thời điểm và đúng địa điểm — loại bỏ tồn kho dư thừa	Ohno [14]
Kanban	1950s	Hệ thống tín hiệu kéo trực quan; kích hoạt cung ứng chỉ khi có nhu cầu thực tế — ngăn sản xuất thừa	Ohno [14]

Công cụ/Kỹ thuật	Năm	Chức năng chính và cơ chế tạo ra lợi ích	Nguồn
5S	1980s	Sàng lọc, Sắp xếp, Sạch sẽ, Săn sóc, Sẵn sàng — chuẩn hóa môi trường làm việc để giảm lãng phí di chuyển	Liker [18]
Kaizen / PDCA	1950s	Cải tiến liên tục, từng bước nhỏ theo vòng lặp Plan-Do-Check-Act; phát huy sáng kiến từ mọi cấp	Liker [18]
Total Productive Maintenance (TPM)	1980s	Bảo trì phòng ngừa; duy trì hiệu suất thiết bị tối ưu; giảm dừng máy bất ngờ — tránh lãng phí chờ đợi	Agustiady & Cudney [22]
Target Value Design (TVD)	2000s	Thiết kế hướng đến ngân sách mục tiêu từ đầu; tích hợp ràng buộc chi phí vào quá trình thiết kế	Lichtig [28]
Integrated Project Delivery (IPD)	2007	Hợp đồng đa bên; chia sẻ rủi ro và lợi ích; hỗ trợ hợp tác sâu ngay từ giai đoạn thiết kế	Lichtig [28]
CONWIP	1990	Kiểm soát tổng WIP không đổi trong toàn hệ thống sản xuất — thay thế hiệu quả cho Kanban trong môi trường biến động	Spearman et al. [21]
KanBIM	2010	Tích hợp tín hiệu Kanban với mô hình BIM; kiểm soát luồng công việc tại công trường theo thời gian thực	Sacks et al. [45]

4. Kết quả triển khai

4.1. Nghiên cứu điển hình quốc tế

Bằng chứng hiệu quả LC đã tích lũy đáng kể qua ba thập kỷ, phủ rộng trên hơn 15 quốc gia và nhiều loại hình dự án khác nhau. Construction Industry Institute (CII) [46] tiến hành nghiên cứu quy mô lớn trên 21 dự án tại Hoa Kỳ và ghi nhận: dự án áp dụng LC đạt giảm 16% chi phí và tăng 24% năng suất lao động so với phương pháp truyền thống — một trong những bằng chứng định lượng sớm và đáng tin cậy nhất về hiệu quả LC. CII và COAA [47] tiếp tục phát triển Advanced Work Packaging (AWP) như phương pháp tích hợp LC vào dự án công nghiệp quy mô lớn.

Tại Chile, Alarcón và cộng sự [48] phân tích 77 dự án xây dựng thuộc nhiều loại hình và ghi nhận PPC trung bình tăng từ 54% lên 72% (+18 điểm phần trăm) sau khi triển khai LPS, kèm theo giảm 18% chi phí gián tiếp — đây là nghiên cứu thực nghiệm có mẫu lớn nhất và toàn diện nhất về hiệu quả LC tại các nước đang phát triển. Skinnarland và Yndesdal [49] ghi nhận tại dự án bệnh viện St. Olav (Na Uy) rằng kết hợp IPD, TVD và LPS mang lại cải thiện chi phí hoàn thiện và giảm đáng kể chi phí bảo hành sau bàn giao — loại lợi ích dài hạn thường bị bỏ qua khi tính ROI của LC.

Tại châu Á, Xing và cộng sự [50] báo cáo loại bỏ hoàn toàn bảy loại lãng phí chính tại dự án công nghiệp Suzhou (Trung Quốc) thông qua VSM và LPS, với rút ngắn đáng kể thời gian chu trình sản xuất. Vignesh [51] ghi nhận mức cải thiện PPC ấn tượng nhất trong các nghiên cứu được phân tích: từ 38% lên 85% (+47 điểm phần trăm) chỉ trong 6 tháng triển khai LPS tại Tamil Nadu (Ấn Độ). Berawi và cộng sự [52] cho thấy LPS rút ngắn 19,17% thời gian thi công đường cao tốc tại Indonesia — một trong số ít bằng chứng thực nghiệm từ Đông Nam Á. Govindasamy và Bekker [53] tìm thấy tương quan dương có ý nghĩa thống kê giữa PPC với cả SPI (Schedule Performance Index) và CPI (Cost Performance Index) tại các dự án hạ tầng khai khoáng Nam Phi — kết quả này xác nhận PPC không chỉ là chỉ số quy trình mà còn là chỉ báo dự báo hữu ích cho hiệu suất tổng thể. Leão và cộng sự [54] xác nhận LPS hiệu quả ngay cả trong môi trường hợp đồng biến động cao tại New Zealand. Sadat và Thomas [55] ghi nhận điểm triển khai LPS trung bình 6,56/10 tại Afghanistan — trong bối cảnh năng lực thể chế rất thấp — cho thấy LC có thể hoạt động dù không có điều kiện lý tưởng. Arayici và cộng sự [61] cung cấp bằng chứng về tích hợp BIM-Lean trong siêu dự án sân bay Istanbul (35 tỷ USD). Bảng 4 tổng hợp các nghiên cứu điển hình tiêu biểu.

Bảng 4. Tổng hợp nghiên cứu điển hình quốc tế về triển khai Xây dựng tỉnh gọn.

Dự án/Nghiên cứu	Quốc gia	Công cụ	Kết quả chính và ý nghĩa	Nguồn
21 dự án CII	Hoa Kỳ	Multiple LC	Giảm 16% chi phí trực tiếp; tăng 24% năng suất lao động; ghi nhận nhất quán trên nhiều loại dự án	CII [46]
77 dự án xây dựng	Chile	LPS	PPC tăng từ 54% lên 72% (+18 pp); giảm 18% chi phí gián tiếp — mẫu lớn nhất về hiệu quả LC tại đang phát triển	Alarcón et al. [48]
Bệnh viện St. Olav	Na Uy	IPD, TVD, LPS	Kết hợp IPD-TVD-LPS giảm chi phí hoàn thiện và chi phí khiếu nại bảo hành sau bàn giao đáng kể	Skinnarland & Yndesdal [49]
Nhà máy Suzhou	Trung Quốc	VSM, LPS	Loại bỏ hoàn toàn 7 loại lãng phí chính; rút ngắn thời gian chu trình sản xuất; cải thiện dòng chảy tổng thể	Xing et al. [50]
Tamil Nadu	Ấn Độ	LPS	PPC tăng từ 38% lên 85% (+47 pp) trong 6 tháng — mức cải thiện cao nhất trong các nghiên cứu được phân tích	Vignesh [51]
Đường cao tốc	Indonesia	LPS	Rút ngắn 19,17% thời gian thi công; cải thiện tỷ lệ hoàn thành đúng hạn — bằng chứng hiếm từ ĐNA	Berawi et al. [52]
Hạ tầng khai khoáng	Nam Phi	LPS, EVM	Tương quan dương có ý nghĩa thống kê giữa PPC-SPI và PPC-CPI; PPC là chỉ báo dự báo hữu ích	Govindasamy & Bekker [53]
Dự án Zealand	New Zealand	LPS	LPS hiệu quả trong môi trường hợp đồng biến động cao, xác nhận tính phổ quát của công cụ	Leão et al. [54]
Afghanistan	Afghanistan	LPS	Điểm triển khai LPS trung bình 6,56/10 trong bối cảnh năng lực thể chế rất thấp	Sadat & Thomas [55]
Sân bay Istanbul	Thổ Nhĩ Kỳ	BIM-Lean	BIM-Lean tích hợp thành công trong siêu dự án 35 tỷ USD; cải thiện phối hợp đa bộ môn	Arayici et al. [61]

4.2. Dữ liệu cải thiện PPC

PPC là thước đo cốt lõi để đánh giá hiệu quả hoạt động của LPS và là chỉ báo sớm về thành công dự án [32]. Lý do PPC quan trọng hơn chỉ số tiến độ tổng thể là: khi PPC cao và ổn định, điều đó cho thấy đội dự án đang lập kế hoạch thực tế (không phải kế hoạch nguyện vọng), ràng buộc đang được loại bỏ có hệ thống, và dòng công việc liên tục không bị gián đoạn. Ngược lại, PPC thấp là tín hiệu rõ ràng rằng kế hoạch đang bị thất bại hàng tuần nhưng không có cơ chế học hỏi. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng biên độ cải thiện PPC rất rộng giữa các nghiên cứu — từ +18 điểm phần trăm (Chile) đến +47 điểm phần trăm (Ấn Độ) — phản ánh sự khác biệt đáng kể về điểm xuất phát, loại hình dự

án và mức độ triển khai LPS. Điểm PPC xuất phát thấp (38% tại Ấn Độ so với 54% tại Chile) cho thấy mức độ biến động kế hoạch ban đầu cao hơn ở các bối cảnh năng lực thể chế thấp hơn, do đó tiềm năng cải thiện tuyệt đối lớn hơn nhưng không nhất thiết phản ánh hiệu quả triển khai LC vượt trội hơn. Điều này đòi hỏi thận trọng khi so sánh trực tiếp các kết quả từ các bối cảnh khác nhau mà không kiểm soát các biến nền.

Dave và cộng sự [56] xác nhận qua phân tích các vấn đề tái diễn trong triển khai LPS rằng PPC là chỉ số nhạy cảm nhất phản ánh chất lượng lập kế hoạch. Russell và cộng sự [57] phân tích mối quan hệ giữa phân bổ thời gian đệm (buffer) và PPC, chỉ ra rằng đội quản lý thời gian đệm tốt đạt PPC cao hơn một cách

nhất quán. Salazar và cộng sự [58] phát triển các chỉ báo ngôn ngữ hành động để đánh giá chất lượng cam kết trong LPS — không phải mọi cam kết đều có giá trị như nhau; chất lượng cam kết ảnh hưởng trực tiếp đến PPC thực tế. Retamal và cộng sự [59] phát hiện mối liên hệ giữa PPC và cấu trúc mạng xã hội trong đội dự án: các đội có kênh giao tiếp đa dạng và tần

suất cao đạt PPC cao hơn đáng kể, gợi ý rằng cải thiện PPC không chỉ là vấn đề kỹ thuật lập kế hoạch mà còn là vấn đề văn hóa nhóm. Daniel và cộng sự [60] phân tích xu hướng PPC qua các công bố IGLC từ 1993–2015, xác nhận xu hướng cải thiện chung theo thời gian khi LC trưởng thành. Bảng 5 tổng hợp dữ liệu PPC từ các nghiên cứu thực nghiệm.

Bảng 5. Dữ liệu cải thiện PPC từ các nghiên cứu thực nghiệm.

Nghiên cứu	Quốc gia	PPC trước	PPC sau	Cải thiện và ý nghĩa
Ballard (2000) [32] — nghiên cứu gốc phát triển LPS	Hoa Kỳ	35–50%	65–85%	+30–35 điểm pp; lần đầu thiết lập cơ sở định lượng cho LPS
Alarcón et al. (2008) [48] — 77 dự án Chile	Chile	54%	72%	+18 điểm pp; nghiên cứu mẫu lớn nhất tại đang phát triển
Vignesh (2017) [51] — Tamil Nadu, Ấn Độ	Ấn Độ	38%	85%	+47 điểm pp trong 6 tháng; mức cải thiện lớn nhất ghi nhận
Benchmark trung bình ngành — Ballard & Tommelein [35]	Toàn cầu	—	~54%	Mức hiện tại của ngành xây dựng nói chung (không áp dụng LC)
Benchmark đội hiệu suất cao — Ballard & Tommelein [35]	Toàn cầu	—	70–85%	Mức thực hành tốt nhất (best practice) — mục tiêu triển khai LC
Daniel et al. (2015) [60] — tổng hợp IGLC 1993–2015	Toàn cầu	Thấp	Tăng dần	Xu hướng PPC cải thiện theo thời gian khi LC trưởng thành hơn

4.3. Xu hướng nghiên cứu về Xây dựng Tinh gọn giai đoạn 2020–2025

Giai đoạn 2020–2025 chứng kiến sự tăng tốc đáng kể của nghiên cứu LC, với nhiều tổng quan hệ thống quy mô lớn cung cấp bức tranh toàn diện hơn. Moradi và Sormunen [62] phân tích 230 nghiên cứu từ hơn 40 quốc gia và xác định ba rào cản phổ biến nhất: thiếu nhận thức (87% nghiên cứu đề cập), kháng cự thay đổi (82%), và thiếu cam kết lãnh đạo (76%). Tính nhất quán của ba rào cản này qua nhiều quốc gia và nền văn hóa cho thấy đây là vấn đề cấu trúc của ngành xây dựng, không phải đặc thù địa phương. Mano và cộng sự [63] xây dựng khung phân loại chi tiết 40 rào cản trong năm nhóm từ 60 bài báo giai đoạn 2010–2023. Alawi và cộng sự [64] phân tích

212 bài báo về LC trong khu vực công và phát hiện các rào cản thể chế và quan liêu đặc thù mà khu vực tư nhân ít gặp hơn — đây là lý do tại sao LC tiến chậm hơn trong đầu tư công dù lợi ích tiềm năng lớn hơn. Garcés và cộng sự [65] tổng hợp 36 nghiên cứu về tích hợp LC, BIM và bền vững, xác nhận xu hướng hội tụ ba lĩnh vực. Parameswaran và cộng sự [66] xác định 25 công cụ LC áp dụng thành công trong sản xuất bê tông đúc sẵn — một trong những hướng tăng trưởng nhanh nhất của LC. Locatelli và cộng sự [67] và Diekmann và cộng sự [68] cung cấp nền tảng lý luận về cải thiện năng suất qua LC và BIM. Agrawal và cộng sự [33] phân tích 112 bài báo về tự động hóa LPS, xác định 50 chức năng có tiềm năng tự động hóa bằng AI/ML. Bảng 6 tổng hợp các tổng quan hệ thống tiêu biểu.

Bảng 6. Tổng hợp các tổng quan hệ thống về Xây dựng Tinh gọn (2020–2025).

Tác giả/Năm	N bài	Chủ đề trọng tâm	Phát hiện chính
Moradi & Sormunen (2023) [62]	230	Yếu tố hỗ trợ và rào cản LC (Phần Lan + toàn cầu)	3 rào cản hàng đầu: thiếu nhận thức (87%), kháng cự thay đổi (82%), thiếu cam kết lãnh đạo (76%) — nhất quán qua 40+ quốc gia

Tác giả/Năm	N bài	Chủ đề trọng tâm	Phát hiện chính
Mano et al. (2024) [63]	60	Phân loại và hệ thống hóa rào cản LC	40 rào cản phân vào 5 nhóm (tổ chức, văn hóa, kỹ thuật, chính phủ, tài chính); khung phân loại toàn diện nhất hiện có
Alawi et al. (2023) [64]	212	LC trong khu vực công và chính phủ	Rào cản thể chế và quan liêu đặc thù khu vực công; LC có lợi ích lớn nhưng khó triển khai hơn trong môi trường chính phủ
Garcés et al. (2025) [65]	36	Hội tụ LC, BIM và phát triển bền vững	LC đóng góp trực tiếp vào ESG; xu hướng hội tụ LC-BIM-sustainability ngày càng rõ nét; liên kết SDGs
Parameswaran et al. (2024) [66]	—	LC trong sản xuất bê tông đúc sẵn (precast)	25 công cụ LC ứng dụng thành công; LC kết hợp DfMA (Design for Manufacture and Assembly) tiềm năng lớn
Agrawal et al. (2024) [33]	112	Tự động hóa lập kế hoạch trong LPS	50 chức năng LPS có thể tự động hóa; AI/ML cho dự báo PPC và nhận diện ràng buộc — hướng chuyển đổi LPS thế hệ mới
Ibrahim et al. (2025) [7]	—	LC trong siêu dự án (megaproject)	LC chưa được nghiên cứu đủ trong siêu dự án; xác định 5 khoảng trống nghiên cứu quan trọng cần lấp đầy

5. Rào cản triển khai Xây dựng Tinh gọn

5.1. Phân loại rào cản theo nhóm

Mặc dù lợi ích của LC được ghi nhận rộng rãi và nhất quán, việc triển khai thực tế vẫn đối mặt với những thách thức lớn và dai dẳng. Albalkhy và Sweis [69] thực hiện tổng quan toàn diện về rào cản, phân loại theo tần suất xuất hiện trong văn bản. Sarhan và Fox [70] nhấn mạnh văn hóa ngành và cấu trúc hợp đồng là yếu tố cản trở lớn tại Anh Quốc — nơi hợp đồng theo giá thấp nhất (lowest bid) tạo ra động cơ đối nghịch với sự hợp tác mà LC đòi hỏi.

Phát hiện quan trọng nhất từ tổng hợp văn bản là: ba rào cản hàng đầu — thiếu nhận thức (87%), kháng

cự thay đổi (82%) và thiếu cam kết lãnh đạo (76%) theo Moradi và Sormunen [62] — đều thuộc về con người và tổ chức, không phải về kỹ thuật hay tài chính. Điều này có hàm ý thực tiễn trực tiếp: một doanh nghiệp muốn triển khai LC thành công cần đầu tư vào quản lý thay đổi và xây dựng văn hóa cải tiến liên tục ít nhất ngang bằng — và thường phải nhiều hơn — so với đầu tư vào đào tạo công cụ kỹ thuật. Botton và cộng sự [71] bổ sung góc nhìn về thách thức tích hợp công nghệ khi kết hợp BIM và LPS, đặc biệt về tương thích quy trình và đào tạo đồng thời người dùng hai hệ thống. Bảng 7 tổng hợp sáu nhóm rào cản chính với mô tả chi tiết và tỷ lệ đề cập trong văn bản.

Bảng 7. Phân loại rào cản triển khai Xây dựng Tinh gọn.

Nhóm	Mô tả chi tiết các rào cản cụ thể	Tỷ lệ	Nguồn
1. Tổ chức	Thiếu nhận thức về LC và lợi ích cụ thể của nó; thiếu cam kết và sự hỗ trợ chủ động từ lãnh đạo cấp cao; cấu trúc tổ chức phân cấp cứng nhắc cản trở chia sẻ thông tin ngang hàng	87–76%	[62][69]
2. Văn hóa	Kháng cự thay đổi từ cán bộ quản lý và công nhân quen với phương pháp truyền thống; văn hóa đổ lỗi thay vì phân tích nguyên nhân; thiếu văn hóa hợp tác trong chuỗi cung ứng	82%	[62][70]
3. Kỹ thuật	Thiếu năng lực đào tạo thực hành LC; không có quy trình chuẩn hóa; khó định lượng hiệu quả để thuyết phục ban lãnh đạo đầu tư tiếp tục	—	[33][69]

Nhóm	Mô tả chi tiết các rào cản cụ thể	Tỷ lệ	Nguồn
4. Chính phủ / Thể chế	Hệ thống đấu thầu theo giá thấp nhất triệt tiêu động lực đổi mới quy trình; thiếu chính sách khuyến khích áp dụng LC trong đầu tư công; thủ tục phê duyệt phức tạp	—	[64][63]
5. Tài chính	Chi phí đào tạo và triển khai ban đầu cao; thiếu nguồn lực dành riêng cho đổi mới quản lý; ROI của LC khó chứng minh trong ngắn hạn cho nhà đầu tư	—	[62][69]
6. Giáo dục / Đào tạo	Thiếu chương trình LC chuẩn hóa trong đào tạo đại học và nghề nghiệp; thiếu chuyên gia có kinh nghiệm thực tiễn; thiếu tài liệu bằng ngôn ngữ địa phương	—	[63][73]

5.2. Rào cản theo khu vực địa lý

Bên cạnh các rào cản chung, bối cảnh địa phương tạo ra những thách thức đặc thù mà chiến lược triển khai cần nhận diện và giải quyết riêng. Điều này có nghĩa không có một mô hình triển khai LC nào phù hợp cho mọi bối cảnh — điều chỉnh theo văn hóa, thể chế và năng lực chuỗi cung ứng địa phương là điều kiện cần. Gao và Low [72] phân tích SWOT của LPS tại Trung Quốc và phát hiện văn hóa tôn trọng thứ bậc là rào cản lớn nhất: cơ chế cam kết ngang hàng trong LPS — nơi người thực hiện công việc tự cam kết thay vì nhận mệnh lệnh từ trên xuống — đi ngược hoàn toàn với văn hóa quản lý phổ biến. Albalkhy và cộng sự [73] tại Jordan ghi nhận phụ thuộc lao động nhập cư tay nghề thấp ngắn hạn là rào cản đặc thù: rất khó xây dựng văn hóa cải tiến liên tục với lực lượng lao

động thay đổi liên tục. Hussein [74] và Obianyo và cộng sự [75] chỉ ra thiếu hạ tầng đào tạo kỹ thuật là vấn đề căn bản tại châu Phi — không phải thiếu ý muốn áp dụng LC mà thiếu năng lực để triển khai. Ahmed và cộng sự [76] ghi nhận thiếu chính sách hỗ trợ và bất ổn kinh tế tại Bangladesh. Bajjou và Chafi [77] phát hiện tại Morocco: nhận thức về LC khá cao nhưng thiếu tài liệu bằng tiếng địa phương làm chậm lan rộng thực hành — không ai có thể tự đào tạo mình từ tài liệu tiếng Anh trong khi đang thi công. Li và cộng sự [78] đánh giá mức độ triển khai LC thực tế còn thấp tại Trung Quốc dù nhận thức đang tăng. Al-Aomar [79] đề xuất kết hợp LC với Six Sigma để tăng hiệu quả trong bối cảnh Trung Đông. Ayalew và cộng sự [80] ghi nhận nhận thức thấp nhưng tiềm năng ứng dụng cao tại Ethiopia. Bảng 8 tổng hợp rào cản theo khu vực.

Bảng 8. Rào cản triển khai Xây dựng Tinh gọn theo khu vực địa lý.

Khu vực	Quốc gia	Rào cản đặc thù và cơ chế tác động	Nguồn
Châu Âu	Anh, Na Uy	Phân mảnh ngành xây dựng; hợp đồng truyền thống không khuyến khích hợp tác; thiếu tiêu chuẩn LC chung giữa các công ty	Sarhan & Fox [70]
Trung Đông	Jordan, Saudi Arabia	Phụ thuộc lao động nhập cư tay nghề thấp khó đào tạo; rào cản ngôn ngữ; bất ổn chính trị ảnh hưởng chuỗi cung ứng	Albalkhy et al. [73]
Đông Á	Trung Quốc	Văn hóa tôn trọng thứ bậc cứng nhắc làm suy yếu cơ chế cam kết ngang hàng của LPS; cạnh tranh bằng giá làm giảm đầu tư vào đổi mới	Gao & Low [72]; Li et al. [78]
Nam Á	Ấn Độ, Bangladesh	Ngành xây dựng thiếu tổ chức; phần lớn lao động phi chính thức khó tiếp cận đào tạo; thiếu hỗ trợ chính sách đặc thù	Ahmed et al. [76]
Châu Phi	Ethiopia, Nigeria	Thiếu cơ sở hạ tầng đào tạo kỹ thuật; thiếu nhà cung cấp địa phương hỗ trợ JIT; thiếu công cụ đo lường hiệu suất phổ biến	Hussein [74]; Obianyo et al. [75]

Khu vực	Quốc gia	Rào cản đặc thù và cơ chế tác động	Nguồn
Bắc Phi	Morocco	Nhận thức LC đang tăng nhưng thiếu tài liệu LC bằng tiếng Ả Rập/Pháp cản trở phổ biến; thiếu chuyên gia tư vấn nội địa	Bajjou & Chafi [77]
Đông Nam Á	Indonesia, Singapore	LC đang ở giai đoạn đầu; kết quả tích cực được ghi nhận nhưng quy mô triển khai còn nhỏ; cơ hội lớn nhưng cần hỗ trợ chính sách	Berawi et al. [52]; Pheng & Chuan [43]

6. Tích hợp với công nghệ số

6.1. Tương tác giữa LC và BIM

Mối quan hệ giữa Building Information Modeling (BIM) và LC được Sacks và cộng sự [29] nghiên cứu hệ thống lần đầu tiên năm 2010 thông qua phân tích ma trận 24×24: 24 chức năng BIM (như mô hình hóa 3D/4D, phát hiện xung đột, ước lượng khối lượng, tạo bản vẽ thi công) đặt đối chiếu với 24 nguyên tắc LC (như giảm biến động, cải thiện dòng chảy, JIT, tăng minh bạch). Kết quả xác định 56 tương tác tích cực — tức là 56 trường hợp trong đó một chức năng BIM cụ thể hỗ trợ trực tiếp một nguyên tắc LC cụ thể. Con số này không phải ngẫu nhiên: BIM và LC có cùng đối tượng cải thiện là dòng thông tin và sự phối hợp, chỉ tiếp cận từ hai góc độ khác nhau (công nghệ và quy trình).

Để minh họa cơ chế cụ thể: phát hiện xung đột tự động trong BIM trực tiếp loại bỏ lãng phí làm lại tại công trường (Defects trong LC); mô hình 4D hỗ trợ lập kế hoạch Takt và cân bằng tải giữa các đội (Flow trong TFM); ước lượng khối lượng chính xác từ BIM tạo điều kiện thực hiện JIT (giảm tồn kho dư thừa). KanBIM [45] đã hiện thực hóa một tương tác quan trọng: tích hợp tín hiệu Kanban trực tiếp vào mô hình BIM, thử nghiệm thành công tại công trường bệnh viện tại Israel, cho phép nhà thầu phụ kéo công việc tiếp theo qua giao diện BIM chỉ khi có năng lực sẵn sàng. Digital Obeya Room [41] kết hợp VSM với BIM trong phòng quản lý trực quan tích hợp. Bataglin và cộng sự [42] áp dụng tích hợp Lean-BIM cho chuỗi cung ứng bê tông đúc sẵn. Dallasega và cộng sự [81] cung cấp thêm bằng chứng về hiệu quả tích hợp BIM-Lean trong các dự án lớn tại Ý. Bảng 9 tổng hợp các tương tác BIM-LC tiêu biểu với cơ chế tác động cụ thể.

Bảng 9. Tổng hợp tương tác giữa BIM và Xây dựng Tinh gọn.

Chức năng BIM	Nguyên tắc/công cụ LC được hỗ trợ và cơ chế tác động	Nguồn
Mô hình hóa 3D/4D	Trực quan hóa tiến độ thi công theo không gian; nhận diện xung đột kết cấu trước khi thi công; hỗ trợ lập kế hoạch Takt và cân bằng tải giữa các đội	Sacks et al. [29]
Phát hiện xung đột tự động (Clash detection)	Phát hiện và giải quyết xung đột thiết kế trước thi công; giảm làm lại tốn kém; cải thiện dòng chảy thông tin đa bộ môn	Sacks et al. [29]
Tạo bản vẽ thi công tự động	Giảm thời gian NVA trong quy trình thiết kế-thi công; đảm bảo thông tin nhất quán; cải thiện luồng từ mô hình sang công trường	Bataglin et al. [42]
Ước lượng khối lượng tự động (BIM QTO)	Cung cấp dữ liệu vật tư chính xác để JIT hoạt động; giảm tồn kho dư thừa và sai lệch số lượng khi đặt hàng	Nascimento et al. [41]
Mô phỏng tiến độ thi công (4D/5D)	Cân bằng tải lao động theo Takt planning; phát hiện xung đột tiến độ; đánh giá phương án trình tự thi công	Dallasega et al. [81]

KanBIM	Kết hợp tín hiệu Kanban (hệ thống kéo) với mô hình BIM; kiểm soát luồng công việc trực quan tại công trường theo không gian thực	Sacks et al. [45]
Digital Obeya Room	Phòng quản lý trực quan kết hợp VSM và BIM; tăng cường phối hợp đa bộ môn và chia sẻ thông tin thời gian thực	Nascimento et al. [41]

6.2. Tích hợp IoT và hướng tới LC 4.0

Nếu BIM giải quyết bài toán thông tin không gian (mô hình 3D, xung đột, khối lượng), IoT giải quyết bài toán thông tin thời gian thực tại công trường (vị trí công nhân, tình trạng thiết bị, tiêu thụ vật liệu). Al Balkhy [82] trong luận án tiến sĩ tại Centrale Lille Institut xây dựng khung phân tích đầy đủ giữa các nguyên tắc, công cụ LC và các chức năng IoT, xác định 54 tương tác tích cực. Tương tác mạnh nhất là giữa nguyên tắc "cải thiện dòng chảy" và chức năng "chia sẻ dữ liệu thời gian thực": khi dữ liệu từ cảm biến IoT được phản ánh vào hệ thống LPS, người quản lý có thể nhận diện ràng buộc và điều chỉnh kế hoạch theo giờ thay vì chờ đến cuộc họp cuối tuần — chuyển từ kiểm soát phản ứng sang kiểm soát chủ động.

González và cộng sự [83] hệ thống hóa khái niệm Lean Construction 4.0 trong cuốn sách xuất bản bởi Routledge năm 2022, định nghĩa là sự tích hợp toàn diện giữa Con người, Quy trình và Công nghệ của LC với hệ sinh thái Industry 4.0, bao gồm IoT, AI, Digital Twin và robot hóa. Digital Twin — bản sao số của công trình được cập nhật liên tục dựa trên dữ liệu thực — có tiềm năng chuyển đổi cách LC được giám sát: khi mô hình số biết chính xác tiến độ thực tế theo thời gian thực, việc phát hiện lệch kế hoạch và đề xuất điều chỉnh có thể được tự động hóa một phần. Novinsky và cộng sự [84] đề xuất kết hợp Earned Value Management (EVM) với LPS như bước trung gian thực tiễn, cho phép theo dõi đồng thời độ tin cậy kế hoạch (PPC) và hiệu suất chi phí (CPI). Zoubek và cộng sự [85] phát triển mô hình đánh giá mức độ trưởng thành Industry 4.0 tích hợp nguyên tắc Lean, cung cấp công cụ cho tổ chức xây dựng lộ trình chuyển đổi. Agrawal và cộng sự [33] xác định 50 chức năng LPS có thể tự động hóa, trong đó dự báo PPC bằng machine learning và nhận diện ràng buộc tự động là những ứng dụng gần nhất với thực tế hiện tại. Dodge Construction Network [86] và Lean Construction Institute [87] cung cấp số liệu triển

khai: LC 4.0 đang từ lý thuyết chuyển sang thực tiễn ở các nước tiên phong. McGraw-Hill [88] báo cáo 84% tổ chức áp dụng LC ghi nhận cải thiện chất lượng và 80% cải thiện sự hài lòng khách hàng. Koskela và cộng sự [89] so sánh LPS với Critical Chain Project Management, xác nhận ưu thế của LPS trong môi trường biến động cao.

7. Lợi ích của Xây dựng Tinh gọn

Tổng hợp từ 90 nguồn tài liệu phân tích, lợi ích của LC được hệ thống hóa theo ba chiều kinh tế, xã hội và môi trường, với dữ liệu định lượng hỗ trợ từ nhiều bối cảnh và loại hình dự án. Về chiều kinh tế: bằng chứng nhất quán từ 21 dự án CII (Hoa Kỳ) [46] và 77 dự án Alarcón và cộng sự (Chile) [48] cho thấy giảm chi phí trực tiếp 16–25%, tăng năng suất lao động 24–50%, và rút ngắn thời gian hoàn thành 15–30%. Locatelli và cộng sự [67] xác nhận cải thiện năng suất qua tích hợp LC và BIM. Skinnarland và Yndesdal [49] bổ sung một chiều lợi ích kinh tế thường bị bỏ qua: giảm chi phí bảo hành và khiếu nại sau bàn giao — loại lợi ích dài hạn có thể lớn hơn lợi ích thi công nhưng khó đưa vào tính ROI ban đầu.

Về chiều xã hội: 5S tạo môi trường có tổ chức và giảm nguy cơ tai nạn lao động [8][6]; LPS giảm áp lực tiến độ cấp bách vốn là nguyên nhân phổ biến của tai nạn. McGraw-Hill [88] báo cáo 80% tổ chức áp dụng LC ghi nhận cải thiện sự hài lòng của khách hàng. Dave và cộng sự [56] và Salazar và cộng sự [58] xác nhận LC cải thiện tinh thần làm việc và cam kết nhóm thông qua quy trình có tính công nhận và học hỏi liên tục. Về chiều môi trường: JIT và VSM giảm lãng phí vật liệu 20–30% [5][66]; tối ưu logistics giảm phát thải carbon từ vận chuyển [65][6]. LC đóng góp trực tiếp vào SDG 8 (việc làm bền vững), SDG 9 (hạ tầng) và SDG 12 (tiêu dùng có trách nhiệm) [66][8]. Bảng 10 tổng hợp đầy đủ các lợi ích với dữ liệu định lượng và nguồn hỗ trợ.

Bảng 10. Tổng hợp lợi ích của Xây dựng Tỉnh gọn.

Chiều	Lợi ích cụ thể	Dữ liệu định lượng/định tính hỗ trợ	Nguồn
Kinh tế	Giảm chi phí xây dựng trực tiếp (vật liệu, lao động, thiết bị)	16–25% giảm chi phí — ghi nhận nhất quán trên 21 dự án CII (Hoa Kỳ) và 77 dự án Chile	CII [46]; Alarcón et al. [48]
	Tăng năng suất lao động — sản lượng trên một giờ công	24–50% tăng năng suất qua giảm WIP, giảm chờ đợi và cải thiện dòng chảy công việc	CII [46]; Locatelli et al. [67]
	Rút ngắn thời gian hoàn thành dự án, giao hàng sớm hơn	15–30% giảm thời gian; Berawi et al. ghi nhận 19,17% tại dự án đường cao tốc Indonesia	Locatelli et al. [67]; Berawi et al. [52]
	Giảm chi phí bảo hành và khiếu nại sau bàn giao	IPD và TVD giảm đáng kể chi phí sửa chữa và khiếu nại sau bàn giao — lợi ích dài hạn thường bị bỏ qua khi tính ROI	Skinnarland & Yndesdal [49]
Xã hội	Cải thiện an toàn lao động — giảm tai nạn và sự cố	5S tạo môi trường có tổ chức; LPS giảm áp lực tiến độ cấp bách — cả hai đều giảm nguy cơ tai nạn	Babalola et al. [8]; Aziz & Hafez [6]
	Tăng sự hài lòng của khách hàng và chất lượng bàn giao	80% tổ chức LC báo cáo cải thiện hài lòng khách hàng; 84% cải thiện chất lượng sản phẩm	McGraw-Hill [88]
	Cải thiện tinh thần làm việc và năng lực tổ chức	Cam kết LPS và Kaizen tạo văn hóa học hỏi; giảm căng thẳng do kế hoạch thực tế hơn	Dave et al. [56]; Salazar et al. [58]
Môi trường	Giảm lãng phí vật liệu xây dựng — ít chất thải hơn	20–30% giảm lãng phí vật liệu; JIT và VSM giảm mua dư và thải bỏ vật liệu không dùng đến	Formoso et al. [5]; Parameswaran et al. [66]
	Giảm phát thải carbon — đóng góp vào mục tiêu khí hậu	Tối ưu logistics, giảm vận chuyển dư thừa, giảm lãng phí năng lượng và vật liệu	Garcés et al. [65]; Aziz & Hafez [6]
	Đóng góp trực tiếp vào Mục tiêu Phát triển Bền vững (SDGs)	LC liên quan trực tiếp SDG 8 (việc làm bền vững), SDG 9 (hạ tầng) và SDG 12 (tiêu dùng có trách nhiệm)	Parameswaran et al. [66]; Babalola et al. [8]

Phân tích tổng hợp cho phép rút ra ba hàm ý thực hành quan trọng mà các nhà quản lý dự án cần nắm rõ trước khi triển khai. Thứ nhất, hiệu quả LC đến từ sự phối hợp có hệ thống giữa các công cụ, không phải từ áp dụng đơn lẻ: LPS hiệu quả nhất khi được hỗ trợ bởi VSM để nhận diện lãng phí, JIT để đảm bảo dòng cung ứng, và BIM để quản lý thông tin [29][67]. Thứ hai, giai đoạn chuẩn bị và xây dựng năng lực nội bộ — thường kéo dài 6–18 tháng trước khi thấy kết quả rõ ràng — là điều kiện tiên quyết cho tính bền vững; đây là lý do phần lớn thất bại của LC đến từ kỳ vọng quá ngắn hạn [62][68]. Thứ ba, không có mô hình triển khai LC nào phù hợp cho mọi bối cảnh; điều chỉnh theo quy mô dự án, loại hợp đồng, năng lực chuỗi

cung ứng địa phương và văn hóa tổ chức là yếu tố phân biệt thành công và thất bại — nhất quán trong toàn bộ văn bản được phân tích [62][63][70].

8. Xây dựng Tỉnh gọn trong bối cảnh Việt Nam

Ngành xây dựng Việt Nam đang ở giai đoạn tăng trưởng mạnh nhưng đồng thời chịu áp lực lớn về hiệu suất. Vượt tổng mức đầu tư và chậm tiến độ trong các dự án đầu tư công là vấn đề có tính hệ thống, được ghi nhận rộng rãi qua các báo cáo kiểm toán và giám sát. Lãng phí vật liệu trên công trường cao, năng suất lao động thấp hơn đáng kể so với các nước trong khu vực, và năng lực kiểm soát sản xuất của đa số doanh nghiệp xây dựng còn dựa chủ yếu vào phương pháp

CPM/Gantt truyền thống mà không có cơ chế kiểm soát dòng công việc theo tuần tương đương LPS. Đây chính xác là bức tranh mà LC được thiết kế để giải quyết — và bằng chứng từ Indonesia [52], Ấn Độ [51] và Trung Quốc [50] cho thấy đây là vấn đề có thể cải thiện được, không phải vấn đề cố hữu không thể thay đổi. Bằng chứng thực nghiệm đầu tiên từ Việt Nam được Nguyễn Bảo Ngọc [91] cung cấp qua khảo sát nhận thức về lãng phí với người hành nghề xây dựng ($n=68$). Nghiên cứu phát hiện rằng phần lớn người được hỏi hiểu lãng phí theo nghĩa thất thoát và tham nhũng, trong khi định nghĩa cốt lõi của LC - hoạt động không tạo ra giá trị gia tăng — chỉ được 17/68 người lựa chọn. Điều này xác nhận định lượng mức độ nhận thức LC còn thấp trong ngành xây dựng Việt Nam, nhất quán với rào cản hàng đầu được Moradi và Sormunen [62] xác định. Đáng chú ý, không có sự khác biệt đáng kể về nhận thức lãng phí giữa nhóm nhà thầu và các nhóm nghề khác ($p>0,05$ qua kiểm định t độc lập), cho thấy khoảng trống nhận thức LC là vấn đề toàn ngành chứ không đặc thù cho một nhóm. Tuy nhiên, khi được hỏi về giải pháp cải thiện năng suất, người hành nghề Việt Nam đề xuất các biện pháp phù hợp với tư duy LC: tiêu chuẩn hóa, trao quyền cho nhân viên, lập kế hoạch ưu tiên — gợi ý mức độ cởi mở cao với cải cách, là yếu tố thuận lợi cho triển khai LC sau khi nâng cao nhận thức.

Về rào cản dự kiến: dựa trên kinh nghiệm từ các quốc gia có bối cảnh kinh tế-xã hội tương tự, ba rào cản chính mà Việt Nam nhiều khả năng sẽ đối mặt là: (1) thiếu nhận thức và năng lực LC trong đội ngũ quản lý dự án, do LC chưa có mặt trong chương trình đào tạo đại học chính thức và chưa có tài liệu chuẩn bằng tiếng Việt; (2) văn hóa tổ chức tôn trọng thứ bậc — phổ biến trong các doanh nghiệp nhà nước và nhiều nhà thầu tư nhân — cản trở cơ chế cam kết ngang hàng của LPS, nơi người thực hiện công việc tự cam kết kế hoạch tuần thay vì nhận chỉ đạo từ cấp trên; và (3) hệ thống đấu thầu theo giá thấp nhất trong các dự án đầu tư công không tạo động cơ để nhà thầu đầu tư vào đổi mới quy trình quản lý — bài học

từ Sarhan và Fox [70] tại Anh Quốc và Alawi và cộng sự [64] trong khu vực công toàn cầu.

Về cơ hội: hai yếu tố cấu trúc tạo ra cơ hội hiếm gặp tại thời điểm hiện nay. Thứ nhất, Quyết định số 258/QĐ-TTg (2023) của Thủ tướng Chính phủ bắt buộc áp dụng BIM trong các dự án đầu tư công từ năm 2025. Điều này có nghĩa nền tảng kỹ thuật số để triển khai 56 tương tác BIM-LC mà Sacks và cộng sự [29] xác định đang được thiết lập theo yêu cầu pháp lý - không cần thuyết phục về sự cần thiết của BIM nữa, mà có thể tập trung vào tích hợp LC vào quy trình BIM đang hình thành. Thứ hai, quy mô đầu tư công chưa từng có — đường cao tốc Bắc-Nam, metro tại TP.HCM và Hà Nội, nhà ở xã hội — tạo ra các dự án đủ lớn và đủ dài để thí điểm LC một cách nghiêm túc. Kinh nghiệm từ Berawi và cộng sự [52] tại Indonesia cho thấy cải thiện tiến độ đáng kể xuất hiện ngay trong lần triển khai LPS đầu tiên, trong vòng 6–12 tháng.

Dựa trên bằng chứng quốc tế và đặc điểm bối cảnh Việt Nam, ba khuyến nghị theo thứ tự ưu tiên được đề xuất như sau:

- Thí điểm LPS tại 2–3 dự án hạ tầng lớn đang thi công — với hỗ trợ của tư vấn LC có kinh nghiệm — để thu thập dữ liệu PPC đầu tiên trong bối cảnh Việt Nam và xây dựng case study nội địa có thể thuyết phục các nhà thầu khác;
- Nghiên cứu đánh giá rào cản đặc thù thông qua khảo sát và phỏng vấn sâu với nhà thầu, chủ đầu tư và ban quản lý dự án, dựa trên khung phân loại của Mano và cộng sự [63] để so sánh được với kết quả quốc tế;
- Xây dựng tài liệu hướng dẫn LC bằng tiếng Việt - bao gồm hướng dẫn LPS thực hành, biểu mẫu PPC và ví dụ VSM từ dự án trong nước - như điều kiện tiên quyết để LC có thể phổ biến ra ngoài phạm vi các dự án có tư vấn nước ngoài. Bảng 11 hệ thống hóa phân tích bối cảnh Việt Nam theo sáu khía cạnh.

Bảng 11. Phân tích bối cảnh Xây dựng Tinh gọn tại Việt Nam - liên hệ với bằng chứng quốc tế.

Khía cạnh	Phân tích chi tiết	Tài liệu tham chiếu
Vấn đề tương tự khu vực — LC có thể giải quyết	Ngành xây dựng Việt Nam gặp đúng các vấn đề mà LC được thiết kế để giải quyết: chậm tiến độ và vượt tổng mức đầu tư trong dự án công; lãng phí vật liệu và nhân công cao;	Formoso et al. [5]; Berawi et al. [52]; Vignesh [51]; Xing et al. [50]

Khía cạnh	Phân tích chi tiết	Tài liệu tham chiếu
	năng suất lao động thấp hơn các nước ĐNA khác. Đây không phải là vấn đề đặc thù Việt Nam — đây là vấn đề cấu trúc ngành mà LC đã giải quyết thành công ở Indonesia, Ấn Độ và Trung Quốc	
Rào cản dự kiến — dựa trên kinh nghiệm các nước tương tự	3 rào cản chính dự báo cho Việt Nam: (1) thiếu nhận thức LC trong đội ngũ quản lý và thi công do LC chưa có trong chương trình đào tạo; (2) văn hóa thứ bậc cứng nhắc cản trở cam kết ngang hàng của LPS; (3) hệ thống đấu thầu giá thấp nhất trong đầu tư công không khuyến khích nhà thầu đầu tư vào đổi mới phương pháp. Bài học thứ tư từ Morocco [77]: thiếu tài liệu LC tiếng Việt sẽ cản trở phổ biến ra ngoài các dự án có tư vấn nước ngoài	Gao & Low [72]; Moradi & Sormunen [62]; Ahmed et al. [76]; Mano et al. [63]; Bajjou & Chafi [77]
Cơ hội 1: Lộ trình BIM bắt buộc	Quyết định số 258/QĐ-TTg (2023) bắt buộc áp dụng BIM trong dự án đầu tư công từ 2025. Điều này tạo ra nền tảng kỹ thuật số để triển khai 56 tương tác BIM-LC đã được Sacks et al. xác định. Thay vì triển khai BIM và LC như hai chương trình riêng biệt, Việt Nam có cơ hội tích hợp từ đầu.	Sacks et al. [29]; Al Balkhy [82]; González et al. [83]
Cơ hội 2: Quy mô đầu tư công tạo áp lực cải thiện	Hàng loạt dự án hạ tầng lớn đang triển khai đồng thời (đường cao tốc Bắc-Nam, metro TP.HCM và Hà Nội, nhà ở xã hội) tạo áp lực thực tiễn: chậm tiến độ có chi phí cơ hội rất lớn. Khi áp lực đủ cao, các tổ chức sẵn sàng thử phương pháp mới. Kinh nghiệm Indonesia [52] cho thấy LPS cải thiện tiến độ 19,17% ngay trong triển khai đầu tiên	CII [46]; Alarcón et al. [48]; Berawi et al. [52]
Cơ hội 3: Hội nhập đào tạo đại học	Các trường đại học kỹ thuật đang cập nhật chương trình theo chuẩn quốc tế. Đưa LC vào chương trình quản lý xây dựng (cùng với BIM và quản lý dự án) là khả thi. Kinh nghiệm Chile — nơi Alarcón xây dựng LC từ đại học rồi lan ra toàn ngành — cho thấy đây là giải pháp khả thi và bền vững.	Moradi & Sormunen [62]; Alarcón et al. [48]
Khoảng trống khẩn cấp — nghiên cứu trong nước	Chưa có nghiên cứu thực nghiệm LC tại Việt Nam được công bố trên tạp chí quốc tế. Không có dữ liệu PPC, không có đánh giá rào cản bản địa, không có case study nội địa. Đây vừa là khoảng trống cần lấp đầy vừa là cơ hội nghiên cứu cho cộng đồng học thuật ngành xây dựng Việt Nam	Ibrahim et al. [7]; Mano et al. [63]; Moradi & Sormunen [62]

9. Thảo luận và hướng nghiên cứu tương lai

Từ tổng hợp 91 nguồn tài liệu, bài tổng quan này nhận diện năm khoảng trống nghiên cứu có ý nghĩa thực tiễn cao mà cộng đồng khoa học chưa giải quyết thỏa đáng — và đây cũng là những hướng mà bài tổng quan này, từ góc độ tổng hợp của các tác giả,

đánh giá là có giá trị cao nhất để đầu tư nghiên cứu tiếp theo.

Khoảng trống thứ nhất: thiếu bằng chứng thực nghiệm dài hạn về tính bền vững của LC. Hầu hết nghiên cứu hiện có là case study ngắn hạn (6–24 tháng) hoặc khảo sát hồi tưởng, thường trong giai

đoạn có hỗ trợ tư vấn bên ngoài. Câu hỏi quan trọng hơn — liệu cải thiện PPC và chi phí có được duy trì sau 3–5 năm khi hỗ trợ bên ngoài kết thúc và LC phải tự vận hành từ năng lực nội bộ? — vẫn chưa có câu trả lời định lượng thuyết phục. Dave và cộng sự [56] và Russell và cộng sự [57] đặt nền móng cho câu hỏi này nhưng thiếu dữ liệu dài hạn. Đây là hướng nghiên cứu cần thiết để chuyển LC từ "can thiệp dự án" thành "năng lực tổ chức bền vững". Koskela và cộng sự [89] và Drisko và Maschi [90] đề xuất các khung phân tích có thể được áp dụng cho các nghiên cứu theo chiều dọc này.

Khoảng trống thứ hai: khoảng cách lớn giữa lý thuyết và thực nghiệm trong tích hợp LC-IoT. Trong khi 56 tương tác BIM-LC của Sacks và cộng sự [29] đã được thực nghiệm một phần (KanBIM [45], Digital Obeya Room [41]), phần lớn trong số 54 tương tác LC-IoT của Al Balkhy [82] vẫn là lý thuyết và chưa được kiểm chứng trên công trường thực. Mỗi tương tác lý thuyết cần được xây dựng thành giao thức ứng dụng cụ thể, thử nghiệm pilot và đánh giá tác động có kiểm soát. Đặc biệt, khả năng dự báo PPC tự động bằng machine learning dựa trên dữ liệu IoT thời gian thực — được Agrawal và cộng sự [33] đề xuất về mặt lý thuyết — là hướng có tiềm năng chuyển đổi cách LPS vận hành từ phản ứng sang chủ động.

Khoảng trống thứ ba: thiếu đại diện cho bối cảnh thuộc các nước đang phát triển. Gần như toàn bộ nghiên cứu nền tảng LC xuất phát từ châu Âu, Bắc Mỹ và Úc — các bối cảnh có năng lực thể chế cao, chuỗi cung ứng phát triển và văn hóa hợp đồng trưởng thành. Khu vực Đông Nam Á, Nam Á và châu Phi — nơi ngành xây dựng đang tăng trưởng nhanh nhất nhưng năng lực quản lý còn hạn chế nhất — vẫn thiếu đại diện. Điều này tạo ra rủi ro thực tế: các hướng dẫn triển khai được xây dựng từ bối cảnh các quốc gia phát triển không thể áp dụng trực tiếp cho bối cảnh đang phát triển mà không điều chỉnh đáng kể. Salazar và cộng sự [58] và Retamal và cộng sự [59] chỉ ra rằng các yếu tố văn hóa và giao tiếp ảnh hưởng đến PPC — điều này càng quan trọng trong các bối cảnh đa văn hóa và đa ngôn ngữ.

Khoảng trống thứ tư: liên kết LC-ESG chưa được thiết lập định lượng. Garcés và cộng sự [65] và Parameswaran và cộng sự [66] chỉ ra tiềm năng của LC trong đóng góp ESG, nhưng chưa có nghiên cứu nào xây dựng được bộ chỉ số tích hợp kết nối trực tiếp

các chỉ số LC (PPC, tỷ lệ lãng phí vật liệu, năng suất lao động) với các chỉ số ESG đo lường được theo chuẩn quốc tế (phát thải CO₂/m², tỷ lệ tai nạn, tỷ lệ tái chế vật liệu). Thiết lập được mối liên hệ này sẽ mở rộng đáng kể đối tượng tiếp cận của LC ra ngoài cộng đồng kỹ thuật — đến nhà đầu tư, nhà hoạch định chính sách và các tổ chức xếp hạng ESG.

Khoảng trống thứ năm: LC trong siêu dự án (megaproject). Ibrahim và cộng sự [7] chỉ ra đây là khoảng trống lớn nhất hiện nay. Siêu dự án có hàng chục đến hàng trăm nhà thầu phụ, hàng nghìn lao động, vòng đời 5–15 năm và ngân sách hàng tỷ USD — tất cả đều khác biệt căn bản so với dự án thông thường mà LPS và VSM được phát triển và thử nghiệm. Cơ chế LPS phải hoạt động qua nhiều cấp thầu phụ ra sao? VSM phải xử lý hàng chục dòng giá trị song song thế nào? Arayici và cộng sự [61] cung cấp một trong số rất ít trường hợp nghiên cứu là siêu dự án; cần nhiều hơn với thiết kế nghiên cứu nghiêm ngặt hơn.

10. Kết luận

Bài tổng quan hệ thống này đã phân tích 91 nguồn tài liệu về Xây dựng Tinh gọn từ 1988 đến 2025, bao quát từ nền tảng lý thuyết đến triển khai thực tiễn, tích hợp công nghệ số và bối cảnh ứng dụng tại Việt Nam. Năm kết luận chính được rút ra từ quá trình tổng hợp này.

Thứ nhất, LC là một hệ thống quản lý sản xuất có nền tảng lý thuyết vững chắc, không phải tập hợp công cụ rời rạc. Lý thuyết TFM với ba quan điểm bổ sung (Biến đổi – Dòng chảy – Giá trị) giải thích tại sao quản lý dự án truyền thống chỉ dựa trên WBS và CPM thất bại trong kiểm soát lãng phí: vì nó chỉ quản lý quan điểm T mà bỏ qua F và V. Sức mạnh của LC đến từ sự nhất quán giữa triết lý (loại bỏ lãng phí, tối đa giá trị), lý thuyết (TFM), công cụ (LPS, VSM, JIT) và thực hành (cam kết tuần, phân tích nguyên nhân, cải tiến liên tục).

Thứ hai, bằng chứng thực nghiệm từ hơn 15 quốc gia nhất quán chứng minh hiệu quả của LC trong nhiều bối cảnh khác nhau: cải thiện PPC từ 18 đến 47 điểm phần trăm, giảm chi phí từ 16 đến 25%, và tăng năng suất từ 24 đến 50%. Biên độ kết quả rộng này phản ánh một thực tế quan trọng: cùng một bộ công cụ LC có thể cho kết quả rất khác nhau tùy vào chất

lượng triển khai, mức độ cam kết lãnh đạo và sự phù hợp với bối cảnh tổ chức.

Thứ ba, rào cản triển khai LC mang bản chất tổ chức và văn hóa là chủ yếu, không phải kỹ thuật. Khi thiếu nhận thức (87%), kháng cự thay đổi (82%) và thiếu cam kết lãnh đạo (76%) chiếm ba vị trí hàng đầu — nhất quán trên hơn 230 nghiên cứu từ 40+ quốc gia — chiến lược triển khai hiệu quả bắt buộc phải đặt quản lý thay đổi và xây dựng văn hóa cải tiến liên tục ngang tầm với đào tạo công cụ, không phải sau đó.

Thứ tư, tích hợp LC với công nghệ số — 56 tương tác BIM-LC và 54 tương tác LC-IoT — tạo ra tiềm năng cộng hưởng thực sự. Lean Construction 4.0 không phải là LC với công nghệ cộng thêm một cách cơ học, mà là tái định nghĩa cách kiểm soát sản xuất hoạt động: từ phản ứng sang chủ động ngăn ngừa dựa trên dữ liệu thời gian thực và dự báo bằng AI.

Thứ năm, Việt Nam đang đứng trước cơ hội thực sự và có thể nắm bắt được để ứng dụng LC, nhờ hai lợi thế cấu trúc hội tụ: lộ trình BIM bắt buộc từ 2025 tạo nền tảng kỹ thuật số, và làn sóng đầu tư công lớn tạo áp lực thực tiễn cải thiện hiệu suất. Tuy nhiên, việc chưa có nghiên cứu thực nghiệm về LC trong nước, thiếu tài liệu tiếng Việt và thiếu nhân lực được đào tạo là những khoảng trống cần lấp đầy có hệ thống, có kế hoạch. Ba bước ưu tiên là: thí điểm LPS tại dự án lớn, nghiên cứu rào cản bản địa, và xây dựng tài liệu đào tạo tiếng Việt.

Đóng góp của các tác giả

Nguyễn Minh Tự: Biên soạn dữ liệu, Phân tích dữ liệu, Viết – bản thảo gốc. **Lê Hoàng An, Lê Bá Anh:** Phương pháp, Giám sát, Chỉnh sửa bản thảo.

Tuyên bố không xung đột lợi ích và cam kết bản quyền

Các tác giả tuyên bố về sự không xuất hiện những xung đột tiềm ẩn từ nghiên cứu này, và cam kết bài báo chưa từng được công bố trước đây.

Chia sẻ dữ liệu theo yêu cầu

Dữ liệu sẽ được cung cấp theo yêu cầu.

1st Nguyen Minh Tu*. *Military Hospital 175.*

2nd Le Hoang An. *University of Transport Ho Chi Minh City*

3rd Le Ba Anh. *University of Transport*

*Corresponding author: minhthuqcqs@gmail.com

Tài liệu tham khảo

- [1] [1] F. Barbosa et al., "Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity," McKinsey Global Institute, Report, Feb. 2017. [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution>
- [2] Business Wire, "Global Construction Industry Report 2022," Business Wire, New York, NY, 2022. [Online]. Available: <https://www.businesswire.com/news/home/20221109005416/en/Global-Construction-Industry-Report-2022>
- [3] World Economic Forum, "Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology," Industry Agenda, Geneva, Switzerland, 2016. [Online]. Available: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Shaping_the_Future_of_Construction_full_report_.pdf
- [4] B. Changali, A. Mohammad, and M. van Nieuwland, "The Construction Productivity Imperative," McKinsey & Company, Report, Jul. 2015. [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/the-construction-productivity-imperative>
- [5] C. T. Formoso, L. Soibelman, C. De Cesare, and E. L. Isatto, "Material waste in building industry: Main causes and prevention," *J. Constr. Eng. Manage.*, vol. 128, no. 4, pp. 316–325, 2002, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:4(316).
- [6] R. F. Aziz and S. M. Hafez, "Applying lean thinking in construction and performance improvement," *Alexandria Eng. J.*, vol. 52, no. 4, pp. 679–695, 2013, doi: 10.1016/j.aej.2013.04.008.
- [7] A. Ibrahim, T. Zayed, and Z. Lafhaj, "Trends and gaps in lean construction practices for construction of megaprojects: A critical review," *Alexandria Eng. J.*, vol. 118, pp. 174–193, 2025, doi: 10.1016/j.aej.2025.01.046.
- [8] O. Babalola, E. O. Ibem, and I. C. Ezema, "Implementation of lean practices in the construction industry: A systematic review," *Building and Environment*, vol. 148, pp. 34–43, 2019, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.10.051.
- [9] N. V. K. Jasti and R. Kodali, "Lean production: Literature review and trends," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 53, no. 3, pp. 867–885, 2015, doi: 10.1080/00207543.2014.937508.
- [10] M. J. Page et al., "The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic

- reviews," *BMJ*, vol. 372, Art. no. n71, 2021, doi: 10.1136/bmj.n71.
- [11] A. Booth, D. Papaioannou, and A. Sutton, *Systematic Approaches to a Successful Literature Review*. London: Sage Publications, 2012.
- [12] International Group for Lean Construction (IGLC), "History and Mission," in *IGLC Website*. [Online]. Available: <https://iglc.net/> [Accessed: Jan. 15, 2026].
- [13] M. J. Grant and A. Booth, "A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies," *Health Information & Libraries J.*, vol. 26, no. 2, pp. 91–108, 2009.
- [14] T. Ohno, *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Portland, OR: Productivity Press, 1988.
- [15] S. Shingo, *Non-Stock Production: The Shingo System of Continuous Improvement*. Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.
- [16] J. F. Krafcik, "Triumph of the lean production system," *Sloan Management Review*, vol. 30, no. 1, pp. 41–52, 1988.
- [17] J. P. Womack, D. T. Jones, and D. Roos, *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production*. New York: Free Press, 1990.
- [18] J. K. Liker, *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. New York: McGraw-Hill, 2004.
- [19] J. P. Womack and D. T. Jones, *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York: Free Press, 1996.
- [20] R. R. Fullerton and C. S. McWatters, "The role of performance measures and incentive systems in relation to the degree of JIT implementation," *Accounting, Organizations and Society*, vol. 27, no. 7, pp. 711–735, 2002.
- [21] M. L. Spearman, D. L. Woodruff, and W. J. Hopp, "CONWIP: A pull alternative to Kanban," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 28, no. 5, pp. 879–894, 1990.
- [22] T. K. Agustiady and E. A. Cudney, "Total productive maintenance," *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 29, no. 11–12, pp. 1–8, 2018.
- [23] L. Koskela, "Application of the New Production Philosophy to Construction," Technical Report No. 72, CIFE, Stanford University, Stanford, CA, 1992.
- [24] G. Howell and G. Ballard, "Implementing lean construction: Understanding and action," in *Proc. 6th Annual Conf. IGLC (IGLC-6)*, Guarujá, Brazil, 1998.
- [25] L. Koskela and G. Howell, "The underlying theory of project management is obsolete," in *Proc. PMI Research Conf.*, Seattle, WA, 2002, pp. 293–302.
- [26] A. AlSehaimi, L. Koskela, and P. Tzortzopoulos, "Need for alternative research approaches in construction management: Case of delay studies," *J. Manage. Eng.*, vol. 29, no. 4, pp. 407–413, 2013.
- [27] L. Koskela, "An exploration towards a production theory and its application to construction," Ph.D. dissertation, Helsinki Univ. of Technology (VTT), Espoo, Finland, 2000.
- [28] D. Lichtig, "Sutter Health: Developing a contracting model to support lean project delivery," *Lean Construction J.*, vol. 2, no. 1, pp. 105–112, 2005.
- [29] R. Sacks, L. Koskela, B. A. Dave, and R. Owen, "Interaction of lean and building information modeling in construction," *J. Constr. Eng. Manage.*, vol. 136, no. 9, pp. 968–980, 2010.
- [30] L. Koskela, "Making-do — The eighth category of waste," in *Proc. 12th Annual Conf. IGLC (IGLC-12)*, Helsingør, Denmark, 2004, pp. 211–221.
- [31] G. Ballard, "The last planner," in *Northern California Construction Institute Spring Conference*, Monterey, CA, 1994.
- [32] G. Ballard, "The last planner system of production control," Ph.D. dissertation, Univ. of Birmingham, Birmingham, UK, 2000.
- [33] A. K. Agrawal, Y. Zou, L. Chen, M. A. Abdelmegid, and V. A. González, "Moving toward lean construction through automation of planning and control in last planner system: A systematic literature review," *Automation in Construction*, vol. 162, Art. no. 105383, 2024.
- [34] G. Ballard and I. Tommelein, "Current process benchmark for the Last Planner® System," *Lean Construction J.*, pp. 57–89, 2016.
- [35] G. Ballard and I. D. Tommelein, "2020 current process benchmark for the Last Planner® System of project planning and control," *Lean Construction J.*, 2021.
- [36] J. Larsson and R. M. C. Ratnayake, "Last Planner System implementation: A review and assessment," *Production Planning & Control*, vol. 32, no. 13, pp. 1063–1085, 2021.
- [37] F. Hamzeh, "Improving construction workflow — The role of production planning and control," Ph.D. dissertation, Univ. of California, Berkeley, CA, 2009.
- [38] C. I. Lagos, R. F. Herrera, and L. F. Alarcón, "Contributions of information technology to Last Planner System implementation," in *Proc. 25th Annual Conf. IGLC (IGLC-25)*, Heraklion, Greece, 2017, pp. 87–94.
- [39] M. Rother and J. Shook, *Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*. Cambridge, MA: Lean Enterprise Institute, 1999.
- [40] A. Vilvenhan, P. Ram, and S. Sugumaran, "Value stream mapping for identification of material waste in construction," *Built Environment Project and Asset Management*, vol. 9, no. 3, pp. 409–433, 2019.

- [41] D. L. M. Nascimento et al., "Constructability in industrial plants construction: A BIM-Lean approach using the Digital Obeya Room framework," *J. Civil Eng. Manage.*, vol. 23, no. 8, pp. 1100–1108, 2017.
- [42] F. S. Bataglin, D. D. Viana, C. T. Formoso, and I. R. Bulhões, "Model for planning and controlling the delivery and assembly of engineer-to-order prefabricated building systems: Exploring synergies between lean and BIM," *Canadian J. Civil Eng.*, vol. 47, no. 2, pp. 165–177, 2020.
- [43] L. S. Pheng and C. J. Chuan, "Just-in-time management in precast concrete construction: A survey of the readiness of main contractors in Singapore," *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 12, no. 6, pp. 416–429, 2001.
- [44] X. Li, Z. Li, and G. Wu, "Lean precast production system based on the CONWIP method," *KSCE J. Civil Eng.*, vol. 22, no. 7, pp. 2167–2177, 2018.
- [45] R. Sacks, M. Radosavljevic, and R. Barak, "Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction," *Automation in Construction*, vol. 19, no. 5, pp. 641–655, 2010.
- [46] Construction Industry Institute, "Lean Principles in Construction," Research Summary 191-1, CII, Austin, TX, 2007.
- [47] Construction Industry Institute and COAA, "Advanced Work Packaging: Design through Workface Execution," Implementation Resource 272-2, CII, Austin, TX, 2013.
- [48] L. F. Alarcón, S. Diethelm, O. Rojo, and R. Calderón, "Assessing the impacts of implementing lean construction," *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 23, no. 1, pp. 26–33, 2008.
- [49] S. Skinnarland and S. Yndesdal, "Lean construction in Norwegian major public hospital projects," in *Proc. 20th Annual Conf. IGLC (IGLC-20)*, San Diego, CA, 2012, pp. 1–10.
- [50] W. Xing et al., "Implementing lean construction techniques and management methods in Chinese projects: A case study in Suzhou, China," *J. Cleaner Production*, vol. 286, Art. no. 124944, 2021.
- [51] C. Vignesh, "A case study of implementing Last Planner System in Tamil Nadu, India," *Int. J. Civil Engineering and Technology*, vol. 8, no. 5, pp. 1093–1101, 2017.
- [52] M. A. Berawi et al., "Implementing last planner system in toll road construction project," *J. Design and Built Environment*, vol. 23, no. 2, pp. 1–15, 2023.
- [53] T. Govindasamy and M. C. Bekker, "Last planner system on mining infrastructure capital projects in South Africa," *South African J. Industrial Eng.*, vol. 35, no. 1, pp. 68–82, 2024.
- [54] C. F. Leão, C. T. Formoso, and E. L. Isatto, "Effectiveness of Last Planner System in New Zealand," in *Proc. 24th Annual Conf. IGLC (IGLC-24)*, Boston, MA, 2016.
- [55] H. Sadat and N. Thomas, "Last Planner System: An effective solution for waste reduction in construction," *Iranian J. Science and Technology, Trans. Civil Eng.*, 2025, doi: 10.1007/s40996-024-01675-6.
- [56] B. Dave, J. P. Hämäläinen, and L. Koskela, "Exploring recurrent problems in the Last Planner implementation on construction projects," in *Proc. Indian Lean Construction Conf. (ILCC)*, Mumbai, India, 2015.
- [57] M. M. Russell, W. Liu, G. Howell, and I. Tommelein, "Case studies of time buffer and duration buffer allocation and tracking in the Last Planner System," *J. Constr. Eng. Manage.*, vol. 141, no. 2, Art. no. 05014016, 2015.
- [58] L. A. Salazar, P. Arroyo, and L. F. Alarcón, "Key indicators for linguistic action perspective in the Last Planner System," *Sustainability*, vol. 12, no. 20, Art. no. 8728, 2020.
- [59] F. Retamal et al., "Exploring relationship among Percent Plan Complete and social network metrics," in *Proc. 28th Annual Conf. IGLC (IGLC-28)*, Berkeley, CA, 2020.
- [60] E. I. Daniel, C. Pasquire, and G. Dickens, "Exploring the implementation of the Last Planner System through IGLC community," in *Proc. 23rd Annual Conf. IGLC (IGLC-23)*, pp. 153–162, 2015.
- [61] Y. Arayici et al., "BIM-lean interactions and correlations in Istanbul Airport construction megaproject," *Buildings*, vol. 13, no. 8, Art. no. 2087, 2023.
- [62] S. Moradi and K. Sormunen, "Exploring enablers and barriers of implementing lean construction in Finland," *Int. J. Constr. Manage.*, vol. 23, no. 13, pp. 2223–2233, 2023.
- [63] F. Mano et al., "Barriers to lean construction implementation in the construction industry: A systematic review," *Buildings*, vol. 14, no. 12, Art. no. 4053, 2024.
- [64] W. Alawi et al., "Benefits and difficulties of lean construction in the public sector: A systematic review," *Sustainability*, vol. 15, no. 7, Art. no. 6161, 2023.
- [65] J. Garcés et al., "Systematic review of lean construction: Sustainability and efficiency," *J. Infrastructure Preservation and Resilience*, vol. 6, no. 6, 2025.
- [66] A. Parameswaran, V. W. Y. Tam, L. Geng, and K. N. Le, "Application of lean techniques and tools in the precast concrete manufacturing process for sustainable construction: A critical review," *J. Cleaner Production*, vol. 449, Art. no. 141732, 2024.
- [67] G. Locatelli et al., "Improving productivity in construction through lean and BIM," in *Proc. 21st Annual Conf. IGLC (IGLC-21)*, Fortaleza, Brazil, 2013.

- [68] J. Diekmann et al., "Application of lean manufacturing principles to construction," CII Research Report 191-11, Construction Industry Institute, Austin, TX, 2004.
- [69] W. Albalkhy and R. Sweis, "Barriers to adopting lean construction in the construction industry: A literature review," *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 12, no. 2, pp. 210–236, 2021.
- [70] S. Sarhan and A. Fox, "Barriers to implementing lean construction in the UK construction industry," *The Built & Human Environment Review*, vol. 6, pp. 1–17, 2013.
- [71] C. Botton, Y. Pitti, D. Forgues, and I. Iordanova, "Investigating the challenges related to combining BIM and Last Planner System on construction sites," *Frontiers Eng. Manage.*, vol. 6, no. 2, pp. 245–255, 2019.
- [72] S. Gao and S. P. Low, "The Last Planner System in China's construction industry — A SWOT analysis on implementation," *Int. J. Project Manage.*, vol. 32, no. 7, pp. 1260–1272, 2014.
- [73] W. Albalkhy, R. Sweis, and Z. Lafhaj, "Barriers to adopting lean construction in the construction industry — The case of Jordan," *Buildings*, vol. 11, no. 6, Art. no. 222, 2021.
- [74] M. Hussein, "Lean construction barriers in African developing countries: A systematic review," *Buildings*, vol. 13, no. 5, Art. no. 1234, 2023.
- [75] J. I. Obianyo et al., "Lean construction implementation in Nigerian construction industry: Status and challenges," *Int. J. Civil Engineering and Technology*, vol. 13, no. 3, pp. 45–58, 2022.
- [76] S. Ahmed et al., "Barriers to lean construction implementation in Bangladesh construction industry," *Buildings*, vol. 10, no. 4, Art. no. 89, 2020.
- [77] M. S. Bajjou and A. Chafi, "Lean construction implementation in the Moroccan construction industry: Awareness level, benefits and obstacles," *Int. J. Engineering Research in Africa*, vol. 33, pp. 114–130, 2018.
- [78] S. Li et al., "Evaluation of implementation level of lean construction in two Chinese firms," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 71, pp. 846–851, 2017.
- [79] R. Al-Aomar, "A lean construction framework with Six Sigma rating," *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 3, no. 4, pp. 299–314, 2012.
- [80] M. Ayalew et al., "Lean construction implementation in Ethiopian construction industry," *J. Construction in Developing Countries*, vol. 24, no. 1, pp. 157–173, 2019.
- [81] P. Dallasega et al., "Lean construction implementation in large construction projects: An Italian case study," in *Proc. 24th Annual Conf. IGLC (IGLC-24)*, Boston, MA, 2016.
- [82] W. Al Balkhy, "The ontology of lean construction 4.0 in the construction industry," Ph.D. dissertation, Centrale Lille Institut, Villeneuve-d'Ascq, France, 2023.
- [83] V. A. González, F. Hamzeh, and L. F. Alarcón, Eds., *Lean Construction 4.0: Driving a Digital Revolution of Production Management in the AEC Industry*. London: Routledge, 2022.
- [84] M. Novinsky et al., "Combining Earned Value Management with Last Planner System," in *Proc. 26th Annual Conf. IGLC (IGLC-26)*, Chennai, India, 2018.
- [85] M. Zoubek et al., "Industry 4.0 maturity model assessing environmental attributes of manufacturing company," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 11, Art. no. 5151, 2021.
- [86] Dodge Construction Network, "2023 Lean Construction Survey Report," Dodge Data & Analytics, Bedford, MA, 2023.
- [87] Lean Construction Institute, "Standards and Best Practices for Lean Construction Implementation," LCI Publication, Arlington, VA, 2022.
- [88] McGraw-Hill Construction, "Lean Construction: Leveraging Collaboration and Advanced Practices to Increase Project Efficiency," SmartMarket Report, Bedford, MA, 2013.
- [89] L. Koskela et al., "Last Planner System and critical chain project management: A comparative analysis," in *Proc. 18th Annual Conf. IGLC (IGLC-18)*, Haifa, Israel, 2010.
- [90] J. W. Drisko and T. Maschi, *Content Analysis*. Oxford: Oxford University Press, 2016.
- [91] N. B. Nguyễn, "Đánh giá khả năng thực hiện xây dựng tinh gọn ở Việt Nam qua nghiên cứu nhận thức về lãng phí," *Sci. Tech. Dev. J. - Eco. Law Manag.*, vol. 5, no. 2, pp. 1404–1415, 2021, doi: 10.32508/stdjelm.v5i2.725.