

GIẢI PHÁP THIẾT KẾ CHO NHÀ Ở THẤP TẦNG XÂY DỰNG THEO CÔNG NGHỆ LẮP GHÉP BẰNG VẬT LIỆU THÉP CƯỜNG ĐỘ CAO TẠO HÌNH NGUỘI

Nguyễn Hồng Hải¹, Lê Thanh Tùng², Ngô Văn Hiệu³, Vũ Thành Trung⁴, Trần Phương⁵, Vũ Trung Kiên⁶

^{1,2,3,4,5,6}Viện Khoa học công nghệ xây dựng

Email: phuongtran.ibst@gmail.com, 0913720585

DOI: <https://doi.org/10.59382/hnkh17-ibst.2025.ses2-15>

TÓM TẮT: Nghiên cứu này khảo sát các giải pháp thiết kế cho nhà ở thấp tầng sử dụng khung thép nhẹ tạo hình nguội (Light Gauge Steel – LGS) theo phương thức lắp ghép, nhằm tối ưu tiến độ thi công và hiệu quả môi trường. Câu hỏi nghiên cứu: những lựa chọn thiết kế và tổ chức thi công nào giúp rút ngắn thời gian, giảm chi phí và tài nguyên, đồng thời bảo đảm an toàn—chất lượng? Khung phương pháp gồm (i) phân tích kỹ thuật—kinh tế và chi phí vòng đời cho cấu kiện LGS tiền chế, (ii) đánh giá tiết kiệm năng lượng nhờ vỏ bao cách nhiệt, kiểm soát cầu nhiệt và tích hợp năng lượng tái tạo, (iii) khảo sát mức độ linh hoạt công năng, khả năng mở rộng, tháo lắp—tái sử dụng. Kết quả cho thấy LGS lắp ghép giúp giảm đáng kể khối lượng vật liệu và công việc ướt, rút ngắn thời gian thi công và phát thải liên quan. Các chiến lược vỏ công trình hiệu suất cao—cách nhiệt, che nắng, kín khí với kiểm soát cầu nhiệt—kết hợp hệ MEP hiệu quả và điện mặt trời mái nhà làm giảm rõ rệt năng lượng vận hành. Tính mô-đun của khung LGS nâng cao tính linh hoạt bố trí, thuận lợi cho cải tạo—mở rộng và tăng khả năng tái chế cuối vòng đời. Nghiên cứu khẳng định tiềm năng của công nghệ LGS lắp ghép cho nhà ở thấp tầng tại Việt Nam; khuyến nghị ban hành hướng dẫn thiết kế—thi công, cơ chế mua sắm xanh và phát triển năng lực chuỗi cung ứng để mở rộng áp dụng, góp phần đạt mục tiêu phát triển bền vững và nâng cao chất lượng sống.

TỪ KHOẢ: thép tạo hình nguội, nhà lắp ghép, thiết kế lắp ghép, tính toán vòng đời, hiệu quả năng lượng

ASBTRACT: This study investigates design strategies for low-rise housing using Light Gauge Steel (LGS) prefabricated framing to optimise construction schedules and environmental performance. The research asks which design and delivery choices shorten construction time, reduce costs and resource use, while ensuring safety and quality. The methodology combines (i) techno-economic and whole - life cost analyses of prefabricated LGS members, (ii) assessment of operational energy savings via high - performance envelopes (insulation, thermal - bridge control, airtightness) and on - site renewables, and (iii) evaluation of spatial flexibility, adaptability, and end - of - life reuse. Findings indicate that LGS prefabrication substantially reduces material mass and wet trades, enabling faster delivery and lower associated emissions. High-performance envelope strategies - paired with efficient MEP systems and rooftop photovoltaics - significantly decrease operational energy. The modular nature of LGS frames enhances layout flexibility, facilitates extensions/retrofits, and improves recyclability at end of life. The study underscores the suitability of LGS prefabrication for low-rise housing in Vietnam and recommends scaling through design - construction guidance, green-procurement incentives, and supply - chain capacity building, thereby accelerating affordable, high-quality housing that advances national sustainability goals and resident well-being.

KEYWORDS: Light Gauge Steel (LGS); Prefabrication; Modular design; Whole-life cost/carbon; Energy efficiency.

1. MỞ ĐẦU

1.1. Bối cảnh

Quá trình đô thị hóa nhanh chóng tại Việt Nam đang tạo ra một áp lực lớn lên ngành xây dựng, đặc

biệt là nhu cầu cấp thiết về nhà ở, trong đó phân khúc nhà ở thấp tầng chiếm một tỷ trọng quan trọng. Tuy nhiên, phương pháp xây dựng truyền thống sử dụng bê tông cốt thép thi công tại chỗ đang dần bộc lộ nhiều hạn chế đáng kể. Quá trình thi công kéo

dài, chi phí vật liệu và nhân công không ngừng gia tăng, cùng với đó là những tác động tiêu cực đến môi trường như phát sinh một lượng lớn rác thải xây dựng và tiêu thụ tài nguyên không hiệu quả. Ngành xây dựng toàn cầu hiện nay vẫn đang vận hành theo mô hình tuyến tính “khai thác - sản xuất - thải bỏ”, dẫn đến sự lãng phí tài nguyên nghiêm trọng, với ước tính khoảng 10-15% vật liệu xây dựng bị thải bỏ trong quá trình thi công [1]. Bối cảnh này đòi hỏi một sự chuyển đổi mang tính cách mạng về công nghệ và phương thức xây dựng, hướng tới các giải pháp hiệu quả, bền vững và công nghiệp hóa hơn.

1.2. Vấn đề nghiên cứu

Trong bối cảnh đó, công nghệ xây dựng lắp ghép sử dụng kết cấu thép cường độ cao tạo hình nguội (Light Gauge Steel - LGS) nổi lên như một giải pháp thay thế tiềm năng, hiện đại và bền vững. Công nghệ này được xem là một “công nghệ đột phá” (game-changing technology) với khả năng mang lại nhiều lợi ích vượt trội: thi công nhanh hơn, sản xuất an toàn hơn, chất lượng được kiểm soát tốt hơn và giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường [2]. Các nghiên cứu và khảo sát thực tế trên thế giới đã chứng minh hiệu quả của phương pháp này, với người dùng ghi nhận sự cải thiện đáng kể về năng suất, chất lượng, tiến độ và khả năng kiểm soát chi phí [3]. Quan trọng hơn, công nghệ nhà lắp ghép, đặc biệt với vật liệu thép có khả năng tái chế cao và thiết kế cho phép tháo dỡ (Design for Deconstruction), hoàn toàn phù hợp với các nguyên tắc của kinh tế tuần hoàn, một xu hướng phát triển bền vững tất yếu trên toàn cầu [1].

Mặc dù tiềm năng là rất lớn, việc ứng dụng công nghệ nhà thép lắp ghép LGS tại Việt Nam vẫn còn ở giai đoạn đầu và đối mặt với nhiều thách thức. Một trong những rào cản lớn nhất là sự thiếu hụt các nghiên cứu chuyên sâu và các giải pháp thiết kế mang tính đồng bộ, toàn diện, được tối ưu hóa cho các ưu điểm của vật liệu và công nghệ này trong bối cảnh cụ thể của Việt Nam. Việc triển khai thành công không chỉ đơn thuần là thay thế vật liệu mà đòi hỏi một cách tiếp cận thiết kế tổng thể, từ kết cấu, kiến trúc đến hiệu quả năng lượng và tính linh hoạt của không gian. Sự thiếu vắng các hướng dẫn thiết kế (design guidelines) là một trong những yếu tố chính cản trở việc áp dụng rộng rãi công nghệ này [2]. Đây chính là khoảng trống nghiên cứu mà bài báo này hướng đến giải quyết.

1.3. Mục tiêu và câu hỏi nghiên cứu

Mục tiêu chính của bài báo là nghiên cứu và đề xuất các giải pháp thiết kế toàn diện cho nhà ở thấp

tầng tại Việt Nam xây dựng theo công nghệ lắp ghép bằng vật liệu thép cường độ cao tạo hình nguội. Các mục tiêu cụ thể bao gồm:

Phân tích và đề xuất các giải pháp tối ưu hóa về kết cấu và vật liệu, nhằm giảm khối lượng thép sử dụng trong khi vẫn đảm bảo an toàn và khả năng chịu lực của công trình.

Nghiên cứu và đề xuất các giải pháp thiết kế bền vững và tiết kiệm năng lượng, đặc biệt là các giải pháp bao che, cách nhiệt và khả năng tích hợp năng lượng tái tạo.

Khảo sát và đề xuất các giải pháp thiết kế không gian kiến trúc linh hoạt, hiện đại, tận dụng khả năng vượt nhịp và tùy biến của kết cấu thép LGS.

Phạm vi của bài báo tập trung vào các công trình nhà ở thấp tầng (từ 1 đến 3 tầng). Nghiên cứu được thực hiện dựa trên phương pháp phân tích và tổng hợp các tài liệu khoa học, các bộ tiêu chuẩn thiết kế uy tín trên thế giới (như tiêu chuẩn của Úc, New Zealand, Nhật Bản), và các nghiên cứu điển hình thành công để rút ra các giải pháp thiết kế có tính khoa học, thực tiễn và khả thi cao trong điều kiện Việt Nam. Bài báo sẽ phân tích các giải pháp trên các khía cạnh kinh tế, kỹ thuật, bền vững và tính linh hoạt trong kiến trúc, nhằm cung cấp một cơ sở khoa học tin cậy cho các kiến trúc sư, kỹ sư, nhà đầu tư và các nhà hoạch định chính sách.

2. TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ VÀ VẬT LIỆU

2.1. Vật liệu thép cường độ cao tạo hình nguội (LGS)

Vật liệu cốt lõi trong giải pháp thiết kế được đề xuất là thép cường độ cao tạo hình nguội (Light Gauge Steel - LGS). Đây là loại vật liệu được sản xuất bằng cách tạo hình thép tấm mỏng ở nhiệt độ phòng thành các tiết diện thanh mong muốn, thường là tiết diện chữ C, Z hoặc các hình dạng phức tạp hơn [Lawson et al.-Robustness of light steel frames and modular construction]. Quá trình gia công nguội này làm tăng giới hạn chảy và độ bền của vật liệu, cho phép tạo ra các cấu kiện kết cấu nhẹ nhưng có khả năng chịu lực cao.

1. Đặc tính kỹ thuật: Thép LGS sở hữu nhiều đặc tính ưu việt. Vật liệu này có tỷ số cường độ trên trọng lượng rất cao, giúp giảm đáng kể trọng lượng bản thân công trình so với kết cấu bê tông cốt thép, từ đó giảm yêu cầu về tải trọng cho móng và cho phép xây dựng trên nền đất yếu. Các mác thép thường được sử dụng có giới hạn chảy tối

thiếu từ 300 MPa đến 550 MPa (G550) [4]. Bề mặt thép thường được bảo vệ bằng lớp mạ hợp kim nhôm kẽm (ví dụ AZ150) hoặc mạ kẽm (Z275) để tăng cường khả năng chống ăn mòn, đảm bảo độ bền lâu dài cho công trình, ngay cả trong các điều kiện khí hậu khắc nghiệt) [4]. Hơn nữa, thép là vật liệu đồng nhất, không bị co ngót hay biến dạng do độ ẩm, đảm bảo sự ổn định về kích thước cho khung kết cấu.

2. So sánh với vật liệu truyền thống: So với bê tông cốt thép, thép LGS nhẹ hơn rất nhiều, giúp quá trình vận chuyển và lắp dựng dễ dàng hơn. So với thép hình cán nóng, LGS cho phép tạo ra các tiết diện tối ưu hơn về mặt chịu lực, sử dụng vật liệu hiệu quả hơn. Đặc biệt, thép LGS là một vật liệu hoàn toàn có thể tái chế sau khi hết vòng đời sử dụng, là một lợi thế vượt trội về mặt bền vững và kinh tế tuần hoàn so với gạch và bê tông [1].

2.2. Công nghệ xây dựng lắp ghép (Prefabrication)

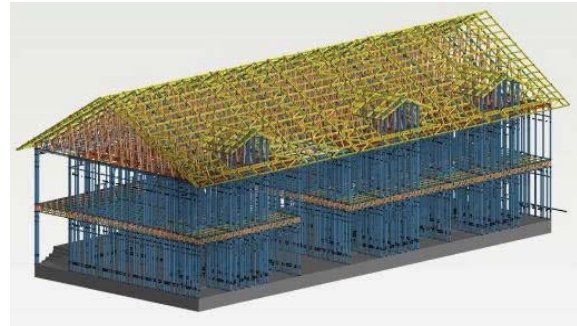
Công nghệ xây dựng lắp ghép là phương pháp sản xuất các cấu kiện hoặc cụm cấu kiện của công trình trong môi trường nhà máy được kiểm soát, sau đó vận chuyển đến công trường để lắp dựng thành công trình hoàn chỉnh. Thay vì thi công tuần tự tại chỗ, phương pháp này cho phép các công đoạn sản xuất khung kết cấu và thi công phần móng được thực hiện song song, giúp rút ngắn đáng kể tổng thời gian xây dựng, có thể lên tới 30-50% [5].

Nguyên lý cơ bản của công nghệ này là sự chuyển dịch từ hoạt động xây dựng thủ công, phụ thuộc vào điều kiện thời tiết tại công trường sang một quy trình sản xuất công nghiệp hóa, có độ chính xác và tự động hóa cao. Các ưu điểm chính của phương pháp này bao gồm:

1. Tốc độ và hiệu quả: Việc sản xuất song song và lắp dựng nhanh chóng giúp đẩy nhanh tiến độ dự án, giảm chi phí gián tiếp và cho phép chủ đầu tư sớm đưa công trình vào khai thác.

2. Chất lượng được kiểm soát: Môi trường nhà máy cho phép áp dụng các quy trình kiểm soát chất lượng nghiêm ngặt (QA/QC) tại từng công đoạn, điều mà rất khó thực hiện tại công trường. Điều này đảm bảo các cấu kiện được sản xuất với dung sai nhỏ và chất lượng đồng đều. Kinh nghiệm từ Nhật Bản cho thấy các nhà máy có thể đạt tới mức độ hoàn thiện 85% trong nhà máy, với quy trình kiểm soát chất lượng hàng trăm hạng mục cho mỗi mô-đun [6]. Các cấu kiện được thiết kế trên máy tính theo các tiêu chuẩn như của Úc (hình 1), được tự

động hoá sản xuất và đánh mã từng thanh (hình 2) đảm bảo quản lý chất lượng từ khâu thiết kế đến sản xuất và lắp dựng các cấu kiện khung thép.

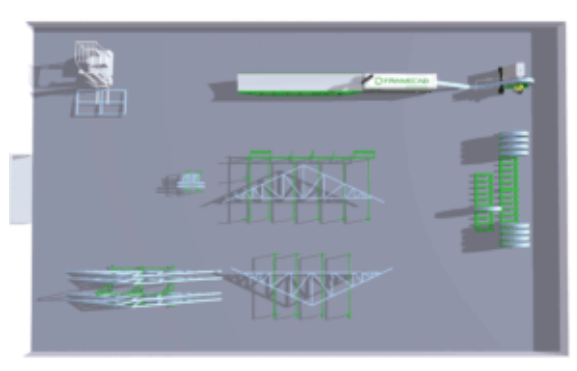


Hình 1: Tính toán thiết kế nhà thép nhẹ tạo hình nguội - Từ thiết kế đến sản xuất

3. Giảm thiểu lãng phí và an toàn: Sản xuất trong nhà máy giúp tối ưu hóa việc sử dụng vật liệu, giảm thiểu đáng kể lượng rác thải xây dựng so với phương pháp truyền thống. Một nghiên cứu đã chỉ ra công nghệ module có thể giảm tới 83,2% tổng khối lượng rác thải [7]. Đồng thời, việc giảm khối lượng công việc tại công trường, đặc biệt là các công việc trên cao, giúp cải thiện đáng kể an toàn lao động.

2.3. Tình hình ứng dụng trên thế giới và tại Việt Nam

Công nghệ nhà lắp ghép bằng thép LGS đã được ứng dụng thành công cho nhà ở thấp tầng tại nhiều quốc gia phát triển như Mỹ, Úc, New Zealand và các nước Châu Âu. Tiêu chuẩn AS/NZS 4600:2018 - Cold-formed steel structures của Úc và New Zealand là một minh chứng cho sự trưởng thành và mức độ chuẩn hóa cao của công nghệ này trong khu vực.



Hình 2: Sơ đồ bố trí sản xuất

Đặc biệt, Nhật Bản được xem là thị trường tiên phong và phát triển bậc nhất. Các nhà sản xuất lớn như Sekisui House, Daiwa House, và Misawa

Homes đã phát triển ngành công nghiệp nhà lắp ghép từ những năm 1960. Họ không chỉ đơn thuần xây dựng mà đã tạo ra một hệ sinh thái toàn diện từ nghiên cứu phát triển (R&D), thiết kế tùy biến theo yêu cầu (mass customization), sản xuất tự động hóa, đến các dịch vụ sau bán hàng như bảo hành dài hạn và nâng cấp [8]. Thành công của họ cho thấy việc áp dụng công nghệ này ở quy mô lớn đòi hỏi một sự đầu tư bài bản và một tư duy hệ thống mang tính công nghiệp.



Hình 3: Sơ đồ sản xuất và lắp dựng khung thép

Tại Việt Nam, công nghệ nhà thép lắp ghép LGS vẫn còn tương đối mới mẻ nhưng đang cho thấy những tiềm năng phát triển rõ rệt. Đã có một số dự án tiên phong được thực hiện, chủ yếu trong lĩnh vực nhà xưởng, homestay, hay các công trình tạm. Tuy nhiên, việc áp dụng cho các dự án nhà ở thấp tầng quy mô lớn vẫn còn hạn chế. Những rào cản ban đầu có thể kể đến như sự thiếu quen thuộc của thị trường, năng lực của các đơn vị thiết kế và thi công chưa theo kịp và đặc biệt là sự thiếu vắng một hệ thống tiêu chuẩn, quy chuẩn thiết kế và thi công được ban hành chính thức, gây khó khăn cho quá trình thẩm định và cấp phép [2]. Tuy vậy, với chủ trương công nghiệp hóa, hiện đại hóa ngành xây dựng của chính phủ, cùng với những lợi ích không thể phủ nhận, công nghệ này được kỳ vọng sẽ trở thành một xu hướng phát triển quan trọng trong tương lai gần.

3. PHƯƠNG PHÁP

3.1. Phương pháp nghiên cứu

Bài nghiên cứu này sử dụng phương pháp chính là **phân tích tổng hợp (synthesis analysis)** và **đánh giá đa tiêu chí (multi-criteria assessment)** dựa trên các nguồn dữ liệu thứ cấp uy tín. Cách tiếp cận này được lựa chọn do tính phù hợp với mục tiêu đề ra là đúc kết và hệ thống hóa các giải pháp thiết kế tối ưu từ kho tàng kiến thức và kinh nghiệm đã được kiểm chứng trên thế giới.

Thay vì tiến hành các mô phỏng số hay thực nghiệm mới, nghiên cứu tập trung vào việc tổng hợp một cách có hệ thống các kết quả từ:

1. Các công trình nghiên cứu khoa học: Các bài báo được đăng trên các tạp chí chuyên ngành uy tín, tập trung vào các chủ đề như phân tích kết cấu, hiệu quả năng lượng, và tính bền vững của nhà thép lắp ghép.

2. Các tiêu chuẩn thiết kế quốc gia: Đặc biệt là Tiêu chuẩn Úc/New Zealand AS/NZS 4600:2018 - Cold-formed steel structures [9], được xem là một trong những bộ tiêu chuẩn toàn diện và cập nhật nhất hiện nay cho kết cấu thép tạo hình nguội.

3. Các sổ tay hướng dẫn thực hành: Tiêu biểu là NASH Handbook – Design of Residential and Low-rise Steel Framing [4], cung cấp các giải pháp thiết kế và dữ liệu thực nghiệm phong phú từ Hiệp hội Nhà khung thép Quốc gia Úc.

4. Các báo cáo ngành và nghiên cứu điển hình: Phân tích các báo cáo về xu hướng thị trường, các dự án thành công và bài học kinh nghiệm từ các thị trường phát triển như Mỹ, Nhật Bản, Singapore để rút ra các yếu tố then chốt về mặt công nghệ, quản lý và chính sách [3], [6].

3.2. Nguồn dữ liệu

Nguồn dữ liệu cho nghiên cứu này là một bộ để đảm bảo tính toàn diện và hệ thống, các giải pháp thiết kế được phân tích và đánh giá dựa trên một bộ ba tiêu chí cốt lõi, phản ánh các khía cạnh quan trọng nhất của một công trình nhà ở hiện đại:

3.2.1. Hiệu quả kinh tế - kỹ thuật

a) Tối ưu hóa vật liệu: Đánh giá khả năng giảm khối lượng kết cấu thông qua việc lựa chọn tiết diện, sơ đồ khung và loại liên kết phù hợp, trực tiếp tác động đến chi phí vật liệu.

b) Thời gian thi công: Phân tích khả năng rút ngắn tiến độ xây dựng nhờ quy trình sản xuất công nghiệp hóa và lắp dựng nhanh, từ đó giảm chi phí quản lý, chi phí tài chính và sớm đưa công trình vào sử dụng.

c) An toàn và độ bền kết cấu: Đánh giá các giải pháp thiết kế dựa trên các yêu cầu về khả năng chịu lực, độ bền vững của kết cấu (robustness) và an toàn cháy, đảm bảo công trình tuân thủ các tiêu chuẩn kỹ thuật khắt khe [9], [10].

3.2.2. Hiệu quả năng lượng và bền vững

a) Tiết kiệm năng lượng vận hành: Phân tích các giải pháp bao che và cách nhiệt nhằm giảm

quyết vấn đề cầu nhiệt qua khung thép, nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng cho việc làm mát và sưởi ấm, đáp ứng yêu cầu của các quy chuẩn về công trình xanh.

b) Kinh tế tuần hoàn và giảm thiểu tác động môi trường: Đánh giá các giải pháp dưới lăng kính của kinh tế tuần hoàn. Tiêu chí này tập trung vào khả năng giảm thiểu rác thải xây dựng, sử dụng vật liệu tái chế, và đặc biệt là khả năng **tháo dỡ, tái sử dụng, hoặc tái chế** các cấu kiện khi công trình hết vòng đời [1]. Đây là một lợi thế chiến lược của nhà thép lắp ghép so với các phương pháp xây dựng truyền thống.

3.2.3. Tính linh hoạt trong thiết kế không gian

a) Khả năng tùy biến không gian: Khảo sát khả năng tạo ra các không gian mở, không có cột chịu lực bên trong nhờ khả năng vượt nhịp của kết cấu thép.

b) Khả năng thích ứng trong tương lai: Đánh giá mức độ dễ dàng trong việc thay đổi, coi nói, hoặc tái cấu trúc không gian nội thất để đáp ứng các nhu cầu thay đổi của người sử dụng trong suốt vòng đời công trình, một yếu tố quan trọng giúp nâng cao giá trị sử dụng bền vững của nhà ở.

Bằng cách áp dụng bộ tiêu chí này, bài báo sẽ đưa ra những phân tích và đề xuất không chỉ dựa trên lý thuyết mà còn gắn liền với các giá trị thực tiễn, hướng tới việc xây dựng những ngôi nhà ở thấp tầng hiệu quả, bền vững và linh hoạt hơn tại Việt Nam.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Dựa trên việc phân tích tổng hợp các tiêu chuẩn thiết kế, tài liệu khoa học và kinh nghiệm thực tiễn quốc tế, bài nghiên cứu đề xuất một bộ giải pháp thiết kế toàn diện cho nhà ở thấp tầng lắp ghép bằng thép LGS tại Việt Nam. Các giải pháp này được cấu trúc theo ba nhóm chính: tối ưu hóa kết cấu, thiết kế bền vững và không gian linh hoạt.

4.1. Giải pháp tối ưu hóa kết cấu và vật liệu

Mục tiêu của nhóm giải pháp này là đảm bảo an toàn chịu lực, độ bền và tính ổn định cho công trình trong khi sử dụng vật liệu một cách hiệu quả nhất.

4.1.1. Lựa chọn hệ kết cấu và tiết diện tối ưu

Kết quả: Đề xuất sử dụng hệ khung tường chịu lực (load-bearing wall systems) kết hợp với các hệ giằng chéo bằng thanh thép dẹt (strap bracing) hoặc giằng tấm (sheet bracing) bằng các vật liệu như ván ép, tấm xi măng sợi. Hệ kết cấu

này đã được chứng minh là có độ an toàn và ổn định cao, đồng thời cho phép sản xuất hàng loạt một cách hiệu quả [4]. Các tiết diện thanh LGS điển hình nên được sử dụng là tiết diện chữ C có mép tăng cường (lipped channel) cho các thanh đứng tường (stud) và dầm, tiết diện lòng máng (track section) cho các thanh ngang trên và dưới tường [9].

Phân tích: Việc chuẩn hóa các loại tiết diện và hệ khung giúp đơn giản hóa quá trình sản xuất và lắp dựng. Tiêu chuẩn AS/NZS 4600:2018 cung cấp một bộ công cụ tính toán toàn diện để xác định khả năng chịu lực của các tiết diện này, có xét đến các yếu tố mất ổn định cục bộ và mất ổn định tổng thể. Việc tối ưu hóa tiết diện (chiều cao, chiều rộng cánh, chiều dày thép) dựa trên tính toán chi tiết sẽ giúp giảm khối lượng thép sử dụng từ 15-20% so với việc lựa chọn tiết diện theo kinh nghiệm, qua đó giảm trực tiếp chi phí vật liệu.

4.1.2. Thiết kế liên kết hiệu quả và đảm bảo tính bền vững kết cấu (Robustness)

Kết quả: Đề xuất ưu tiên sử dụng liên kết cơ khí bằng vít tự khoan (self-drilling screws) cho các liên kết chính trong khung. Đây là phương pháp phổ biến và hiệu quả nhất trong thực hành quốc tế [4]. Thiết kế phải đảm bảo tính bền vững (robustness) của kết cấu, nghĩa là khi một bộ phận đơn lẻ bị hư hỏng do sự cố bất thường (ví dụ va chạm), công trình không bị sụp đổ dây chuyền.

Phân tích: Nhà khung thép LGS vốn có tính dự phòng và khả năng tái phân phối tải trọng rất tốt nhờ hệ thống gồm nhiều cấu kiện và vô số các liên kết vít. Nghiên cứu của Lawson và cộng sự (2008) đã chỉ ra rằng các hệ khung này có khả năng chịu được hư hỏng cục bộ một cách hiệu quả [10]. Các quy định chi tiết về thiết kế liên kết vít chịu cắt và chịu kéo trong AS/NZS 4600:2018 (Section 5) là cơ sở để đảm bảo các liên kết này đủ khả năng truyền lực và tạo nên một hệ kết cấu toàn khối, an toàn.

4.2. Giải pháp thiết kế bền vững và tiết kiệm năng lượng

Nhóm giải pháp này tập trung vào việc giải quyết các thách thức cố hữu của kết cấu thép về mặt nhiệt và khai thác các lợi thế của công nghệ lắp ghép trong việc xây dựng bền vững.

4.2.1. Giải pháp bao che và cách nhiệt hiệu suất cao

Kết quả: Đề khắc phục hiện tượng cầu nhiệt (thermal bridging) qua khung thép, đề xuất sử dụng hệ tường bao che đa lớp. Giải pháp bao gồm

việc lắp đặt một lớp cách nhiệt liên tục bên ngoài khung thép (ví dụ: tấm xốp EPS/XPS) hoặc sử dụng các dải "cầu cách nhiệt" (thermal break) tại vị trí các thanh stud trước khi lắp đặt tấm ốp ngoài [4]. Lớp cách nhiệt chính (ví dụ: bông khoáng) được lắp đầy vào khoảng trống giữa các thanh stud.

Phân tích: Giải pháp này tạo ra một lớp vỏ công trình kín khí và cách nhiệt hiệu quả, giúp giảm đáng kể nhu cầu năng lượng cho việc làm mát vào mùa hè và sưởi ấm vào mùa đông. Điều này không chỉ mang lại tiện nghi nhiệt cho người sử dụng mà còn giúp giảm đáng kể chi phí năng lượng vận hành, đóng góp trực tiếp vào mục tiêu xây dựng công trình xanh và phát thải ròng bằng không.

4.2.2. Thiết kế hướng tới kinh tế tuần hoàn

Kết quả: Đề xuất áp dụng triết lý "Thiết kế để Tháo dỡ" (Design for Disassembly - DfD). Điều này được thực hiện thông qua việc sử dụng các liên kết cơ khí (vít, bulong) thay vì các liên kết hàn hoặc liên kết ướt. Các cấu kiện được thiết kế và sản xuất theo dạng module, dễ dàng vận chuyển, lắp dựng và sau này có thể tháo dỡ, di dời, tái sử dụng hoặc tái chế.

Phân tích: Thép là vật liệu có tỷ lệ tái chế gần như 100%. Kết hợp với triết lý DfD, nhà thép lắp ghép LGS trở thành một ví dụ điển hình cho kinh tế tuần hoàn trong xây dựng [1]. Việc này giúp giảm lượng rác thải xây dựng đưa ra bãi chôn lấp, giảm nhu cầu khai thác tài nguyên mới và tạo ra giá trị kinh tế từ các vật liệu đã qua sử dụng, một lợi thế bền vững chiến lược cho ngành xây dựng Việt Nam.

4.3. Giải pháp thiết kế không gian linh hoạt và kiến trúc hiện đại

Nhóm giải pháp này khai thác các ưu điểm về mặt kết cấu của thép LGS để tạo ra các không gian sống chất lượng cao, đáp ứng nhu cầu đa dạng và thay đổi của người dùng.

4.3.1. Tạo không gian mở và linh hoạt

Kết quả: Trình bày các phương án mặt bằng điển hình tận dụng khả năng vượt nhịp tương đối lớn của các hệ dầm, sàn bằng thép LGS. Điều này cho phép tạo ra các không gian sinh hoạt chung rộng rãi, không bị cản trở bởi cột, đồng thời cho phép dễ dàng phân chia lại không gian nội thất bằng các hệ vách ngăn nhẹ.

Phân tích: Không giống như kết cấu tường chịu lực bằng gạch xây, kết cấu khung thép cho

phép bố trí không gian một cách tự do. Tính linh hoạt này là một giá trị gia tăng quan trọng, cho phép ngôi nhà có thể "lớn lên" hoặc "thay đổi" cùng với gia đình – ví dụ như thêm phòng ngủ, thay đổi công năng phòng làm việc – mà không cần can thiệp lớn vào kết cấu chịu lực.

4.4. Thảo luận chung về thách thức và tiềm năng áp dụng tại Việt Nam

4.4.1. Thách thức

Tiêu chuẩn và quy chuẩn: Thách thức lớn nhất hiện nay là việc thiếu một bộ tiêu chuẩn thiết kế và thi công quốc gia dành riêng cho nhà thép lắp ghép LGS. Điều này tạo ra sự không chắc chắn cho các đơn vị tư vấn và khó khăn cho cơ quan quản lý trong quá trình thẩm định.

Năng lực thi công và nhận thức thị trường: Đội ngũ thi công cần được đào tạo bài bản về kỹ thuật lắp dựng chính xác. Đồng thời, thị trường và người tiêu dùng vẫn còn tâm lý ưa chuộng kết cấu bê tông cốt thép truyền thống.

Hệ sinh thái công nghiệp phụ trợ: Để công nghệ phát triển, cần có một hệ sinh thái đồng bộ từ nhà cung cấp vật liệu, nhà sản xuất cấu kiện đến các đơn vị thi công và cung cấp các vật liệu hoàn thiện tương thích.

4.4.2. Tiềm năng và cơ hội

Phù hợp với chủ trương của Chính phủ: Việc phát triển nhà lắp ghép hoàn toàn phù hợp với định hướng công nghiệp hóa, hiện đại hóa ngành xây dựng và chiến lược phát triển nhà ở quốc gia.

Giải quyết bài toán nhà ở: Công nghệ này cho phép xây dựng nhà ở nhanh chóng, chất lượng cao, đặc biệt hiệu quả cho các dự án nhà ở xã hội, nhà ở cho công nhân hoặc các dự án đòi hỏi tiến độ gấp rút.

Thúc đẩy xây dựng bền vững: Với những lợi ích vượt trội về giảm thiểu rác thải, tiết kiệm năng lượng và khả năng tái chế, nhà thép lắp ghép LGS là lời giải cho bài toán xây dựng bền vững và phát triển kinh tế tuần hoàn tại Việt Nam.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

5.1. Kết luận

Bài báo đã tiến hành nghiên cứu và hệ thống hóa các giải pháp thiết kế toàn diện cho nhà ở thấp tầng sử dụng công nghệ lắp ghép bằng vật liệu thép cường độ cao tạo hình nguội (LGS) trong bối cảnh Việt Nam. Qua phân tích tổng hợp các tài liệu khoa học, tiêu chuẩn kỹ thuật và kinh nghiệm thực tiễn

quốc tế, có thể khẳng định rằng đây là một giải pháp xây dựng ưu việt, mang lại những lợi ích rõ rệt và toàn diện:

Về kinh tế - kỹ thuật: Công nghệ này cho phép tăng tốc độ thi công một cách đáng kể, đảm bảo chất lượng công trình được kiểm soát chặt chẽ trong môi trường nhà máy, và tối ưu hóa việc sử dụng vật liệu, giúp giảm chi phí xây dựng và nâng cao hiệu quả đầu tư. Các giải pháp kết cấu và liên kết được đề xuất, dựa trên các tiêu chuẩn thiết kế tiên tiến như AS/NZS 4600, hoàn toàn có khả năng đảm bảo sự an toàn, ổn định và bền vững cho công trình.

Về bền vững và môi trường: Nhà thép lắp ghép LGS là một điển hình của xây dựng bền vững và kinh tế tuần hoàn. Nó giúp giảm thiểu đáng kể rác thải xây dựng, tiết kiệm năng lượng vận hành thông qua các giải pháp cách nhiệt hiệu quả. Đặc biệt, với khả năng tháo dỡ và tái chế gần như toàn bộ, nó mở ra một hướng đi mới cho ngành xây dựng, giảm sự phụ thuộc vào tài nguyên thiên nhiên và giảm tác động tiêu cực đến môi trường.

Về kiến trúc và không gian: Công nghệ này mang lại sự linh hoạt vượt trội trong thiết kế không gian, cho phép tạo ra những ngôi nhà hiện đại, không gian mở, dễ dàng tùy biến và nâng cấp để đáp ứng nhu cầu thay đổi của người sử dụng theo thời gian.

Các giải pháp thiết kế được đề xuất trong bài báo, từ tối ưu hóa tiết diện, sử dụng liên kết cơ khí, đến hệ tường bao che đa lớp và thiết kế hướng tới tháo dỡ, đều có tính khả thi cao và đã được chứng minh hiệu quả trên thế giới. Việc áp dụng đồng bộ các giải pháp này có thể giải quyết được các nhược điểm cố hữu của kết cấu thép như cầu nhiệt hay khả năng chống cháy, đồng thời phát huy tối đa các ưu điểm của vật liệu và công nghệ.

5.2. Kiến nghị

Để thúc đẩy việc áp dụng rộng rãi và hiệu quả công nghệ nhà thép lắp ghép LGS cho nhà ở thấp tầng tại Việt Nam, góp phần hiện đại hóa ngành xây dựng và đáp ứng nhu cầu nhà ở của xã hội, nhóm tác giả đề xuất các kiến nghị sau:

5.2.1. Đối với các cơ quan quản lý nhà nước

Xây dựng và ban hành tiêu chuẩn: Cần ưu tiên nghiên cứu, xây dựng và sớm ban hành bộ tiêu chuẩn, quy chuẩn quốc gia về thiết kế, chế tạo, thi công và nghiệm thu cho nhà khung thép tạo hình nguội. Việc này sẽ tạo ra một hành lang pháp lý rõ ràng, thống nhất, làm cơ sở cho các hoạt động thiết kế, thẩm định và quản lý chất lượng.

Chính sách khuyến khích: Cần có các chính sách cụ thể để khuyến khích các doanh nghiệp đầu tư vào công nghệ sản xuất cấu kiện lắp ghép, như ưu đãi về tín dụng, thuế, hoặc hỗ trợ mặt bằng sản xuất. Ưu tiên áp dụng công nghệ này trong các dự án nhà ở xã hội, nhà tái định cư do nhà nước đầu tư để tạo hiệu ứng lan tỏa.

5.2.2. Đối với các đơn vị thiết kế, thi công và các doanh nghiệp trong ngành

Nâng cao năng lực: Cần chủ động nghiên cứu, tiếp cận các tiêu chuẩn thiết kế tiên tiến trên thế giới. Tổ chức các chương trình đào tạo, tập huấn chuyên sâu cho đội ngũ kiến trúc sư, kỹ sư và công nhân kỹ thuật để làm chủ công nghệ từ khâu thiết kế đến lắp dựng.

Đầu tư công nghệ: Các doanh nghiệp sản xuất cần mạnh dạn đầu tư vào các dây chuyền sản xuất tự động hóa để nâng cao năng suất, độ chính xác và giảm giá thành sản phẩm.

5.2.3. Hướng nghiên cứu tiếp theo

Nghiên cứu thực nghiệm: Cần triển khai các nghiên cứu thực nghiệm trong nước về khả năng chịu lực của các cấu kiện và liên kết, đặc biệt là khả năng chống cháy và các giải pháp cách âm, cách nhiệt phù hợp với điều kiện khí hậu Việt Nam.

Xây dựng mô hình thí điểm: Xây dựng các dự án nhà ở thí điểm (pilot projects) để đánh giá hiệu quả thực tế về chi phí, tiến độ, chất lượng và mức độ chấp nhận của thị trường. Các kết quả từ những dự án này sẽ là cơ sở dữ liệu quý giá để hoàn thiện hơn nữa các giải pháp thiết kế và quy trình thi công, tiến tới nhân rộng mô hình trên toàn quốc.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Acharya D., Boyd R., và Finch O. (2018). From Principles to Practices: First steps towards a circular built environment. *ARUP, Ellen MacArthur Foundation*.
- [2] Thai H.-T., Ngo T., và Uy B. (2020). A review on modular construction for high-rise buildings. *Structures*, **28**, 1265–1290.
- [3] Buckley B., Logan K., và Schuler T. (2020). Prefabrication and modular construction 2020. *Dodge Data & Analytics*.
- [4] National Association of Steel-Framed Housing Inc. (2009). NASH Handbook – Design of Residential and Low-Rise Steel Framing. .
- [5] Wilson J. (2019). Design for modular construction: An introduction for architects.

- Modular Advantage Magazine American Institute of Architects, National institute of building sciences*, **41**.
- [6] Linner T. và Bock T. (2012). Evolution of large-scale industrialisation and service innovation in Japanese prefabrication industry. *Construction Innovation*, **12(2)**, 156–178.
- [7] Loizou L., Barati K., Shen X. và cộng sự. (2021). Quantifying advantages of modular construction: Waste generation. *Buildings*, **11(12)**, 622.
- [8] Chau H.-W., Jamei E., Muttill N. và cộng sự. (2024). Japanese Prefabricated Housing Manufacturers. *Encyclopedia*, **4(3)**, 1073–1090.
- [9] The Council of Standards Australia (2018). AS/NZS 4600:2018. Cold-formed steel structures. .
- [10] Lawson P.M., Byfield M.P., Popo-Ola S.O. và cộng sự. (2008). Robustness of light steel frames and modular construction. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings*, **161(1)**, 3–16.