

ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA LIÊN KẾT DẦM THÉP I VỚI TẦM SÀN BÊ TÔNG NHẹ EPS-C ĐẾN ỔN ĐỊNH TỔNG THỂ CỦA DẦM

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE CONNECTION BETWEEN I-SECTION STEEL BEAM AND EPS-C LIGHTWEIGHT CONCRETE SLAB ON THE LATERAL BUCKLING OF THE BEAM

NGUYỄN ĐÌNH HÒA^{a,*}, HÀN NGỌC ĐỨC^a, PHẠM ĐÌNH HẢI^a, NGUYỄN QUANG KHẢI^b

^aKhoa Xây dựng dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

^bCông ty TNHH Tư vấn Đại học Xây dựng

*Tác giả đại diện: Email: hoand@huce.edu.vn

Ngày nhận 10/6/2025, Ngày sửa 28/6/2025, Chấp nhận 30/6/2025

<https://doi.org/10.59382/j-ibst.2025.vi.vol2-2>

Tóm tắt: Hiện nay, kết cấu thép ngày càng phổ biến trong xây dựng dân dụng, thường kết hợp với sàn bê tông toàn khối hoặc sàn liên hợp có tôn sóng định hình. Tuy nhiên, các giải pháp này còn hạn chế về thời gian thi công, chi phí vật liệu và móng. Giải pháp sử dụng tấm bê tông lắp ghép đúc sẵn, đặc biệt là tấm bê tông nhẹ EPS-C (Expanded PolyStyrene concrete), đang được áp dụng rộng rãi nhờ ưu điểm về trọng lượng nhẹ, giảm chi phí móng và đẩy nhanh tiến độ. Một vấn đề tồn tại trong thực tế thiết kế là việc bỏ qua ảnh hưởng của độ cứng tấm sàn và các liên kết giữa dầm và sàn, dẫn đến thiết kế dầm thép chưa tối ưu. Bài báo này trình bày kết quả đánh giá ảnh hưởng của các liên kết này đến ổn định tổng thể của dầm thép. Phân tích cho thấy, khi kể đến sự tham gia của tấm sàn, khối lượng thép có thể giảm tới 50% đối với dầm nhịp lớn so với cách tính thông thường. Đồng thời, bài báo đề xuất một số giải pháp liên kết nhằm đảm bảo các tấm sàn hoạt động như những điểm giằng, ngăn cản chuyển vị ngang của dầm.

Từ khóa: Tấm sàn bê tông nhẹ; tấm sàn EPS-C; dầm thép; ổn định tổng thể; liên kết chịu trượt.

Abstract: Currently, steel structures are increasingly used in civil construction, often in combination with cast-in-place concrete slabs or composite slabs with profiled steel decking. However, these conventional solutions still face limitations in terms of construction time, material costs, and foundation requirements. The use of precast concrete panels, particularly lightweight Expanded PolyStyrene Concrete (EPS-C) panels, is gaining widespread application due to their advantages in reducing structural weight, lowering foundation costs, and accelerating construction schedules. In practical design, one persistent issue is the omission of the influence of slab stiffness and the

interaction between steel beams and concrete slabs, which leads to suboptimal beam designs. This paper presents an evaluation of the effect of such connections on the global stability of steel beams. The analysis shows that when the contribution of the concrete slab is considered, the required steel volume for long-span beams can be reduced by up to 50% compared to conventional design assumptions. Furthermore, the paper proposes several connection solutions to ensure that the concrete slabs act as restraint points to prevent lateral displacement of the beams.

Keywords: Lightweight slab; EPS-C Slab; steel beam; lateral buckling; longitudinal shear connection.

1. Giới thiệu

Trong bối cảnh công nghiệp hóa xây dựng, việc sử dụng cấu kiện thép tiền chế và bê tông lắp ghép mang lại nhiều lợi ích về chất lượng, chi phí và tiến độ. Tại Việt Nam, hệ dầm thép kết hợp với sàn bê tông cốt thép toàn khối hoặc sàn liên hợp tôn sóng [1–3] đã được ứng dụng, tuy nhiên vẫn còn nhược điểm về thời gian thi công và chi phí vật liệu.

Để khắc phục những hạn chế đó, các tấm bê tông nhẹ đúc sẵn ngày càng được sử dụng rộng rãi nhờ giảm trọng lượng, tiết kiệm chi phí móng và đẩy nhanh tiến độ thi công [4-6]. Một trong những loại tấm sàn đang được sử dụng rộng rãi là các tấm sàn từ bê tông nhẹ Expanded Polystyrene Concrete (EPS-C) [7, 8], sản phẩm này đã được chứng minh đáp ứng yêu cầu về khả năng chịu lực, có thể đạt tới 4 kN/m² đối với các loại sàn có nhịp không lớn hơn 2m [9].

Trong thực tế ở Việt Nam, mặc dù giải pháp dầm thép – tấm sàn EPS-C đã phổ biến ở các công trình thấp tầng (Hình 1), áp dụng cho nhà cao tầng còn hạn chế do chưa khai thác hiệu quả độ cứng ngang

của tấm sàn lắp ghép. Thông thường, các kỹ sư thiết kế dầm thép như một cấu kiện độc lập, bỏ qua vai trò của tấm sàn trong việc cung cấp các điểm giằng bên cho cánh chịu nén của dầm. Cách tiếp cận này dẫn đến việc tính toán ổn định tổng thể (Lateral-Torsional Buckling (LTB)) của dầm trở nên bất lợi, đòi hỏi tiết diện lớn hơn cần thiết và làm tăng chi phí vật liệu một cách không cần thiết. Vấn đề cốt lõi này xuất phát từ việc thiếu các nghiên cứu đầy đủ và hướng dẫn cụ thể về sự tương tác giữa dầm thép và tấm sàn EPS-C. Bài báo này tập trung giải quyết vấn đề trên bằng

cách: Đánh giá định lượng ảnh hưởng của việc liên kết tấm sàn EPS-C đến ổn định tổng thể của dầm thép; đề xuất các giải pháp liên kết giữa dầm và sàn để đảm bảo các tấm sàn có thể đóng vai trò là các điểm giằng ngăn cản chuyển vị ngang của dầm; thông qua các ví dụ tính toán, chứng minh hiệu quả kinh tế của phương pháp thiết kế có kể đến liên kết. Nghiên cứu giới hạn ở việc đánh giá khả năng chịu tải tĩnh theo phương đứng cho dầm phụ trong hệ sàn, không xét đến các tải trọng động và tải trọng môi trường như gió, động đất.



Hình 1. Công trình sử dụng hệ dầm thép – sàn bê tông nhẹ

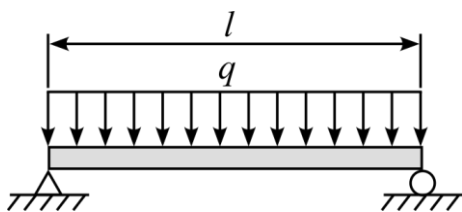


2. Tính toán ổn định tổng thể dầm thép tiết diện chữ I có hai trục đối xứng

2.1 Sơ đồ tính, tải trọng và nội lực dầm

Nghiên cứu tập trung vào dầm phụ đỡ sàn, được mô hình hóa như một dầm đơn giản, hai đầu liên kết khớp, chịu tải trọng phân bố đều từ sàn truyền vào (Hình 2).

Nội lực chính để kiểm tra bao gồm mômen uốn lớn nhất tại giữa nhịp và lực cắt lớn nhất tại gối tựa.

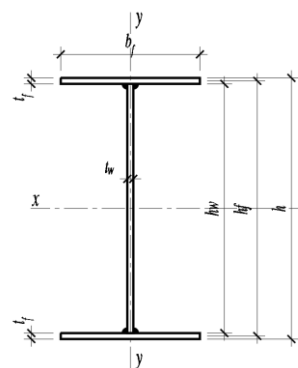


Hình 2. Sơ đồ tính dầm thép

2.2 Kiểm tra ổn định tổng thể dầm thép

Dầm thép tiết diện chữ I có hai trục đối xứng (Hình 3), được kiểm tra theo các điều kiện về bền (chịu uốn, chịu cắt), ổn định (cục bộ, tổng thể) và biến dạng (độ võng) theo TCVN 5575:2024 [10] và các hướng dẫn trong [11], bao gồm các điều kiện về: bền (chịu uốn, chịu cắt), ổn định (cục bộ, tổng thể) và biến dạng (độ võng). Tiêu chuẩn [10] được biên soạn trên

cơ sở tham khảo các tiêu chuẩn Nga SP 16.13330.2017 [12], SP 294.1325800.2017 [13], SP 43.13330.2012 [14] và các sửa đổi đã quy định đầy đủ các điều kiện kiểm tra ổn định tổng thể dầm thép.



Hình 3. Tiết diện dầm thép tổ hợp

Điều kiện ổn định tổng thể của dầm chịu mômen uốn M_x trong mặt phẳng bản bụng là yếu tố then chốt của nghiên cứu này, được kiểm tra theo công thức:

$$\frac{M_x}{\varphi_b W_x f_{yd} \gamma_c} \leq 1, \quad (1)$$

trong đó: φ_b là hệ số ổn định khi uốn, phản ánh sự suy giảm khả năng chịu lực do mất ổn định uốn xoắn ngang (lateral-torsional buckling), giá trị $\varphi_b \leq 1$;

W_x là mômen kháng uốn của tiết diện; f_{yd} là cường độ tính toán của thép, γ_c là hệ số điều kiện làm việc.

Hệ số φ_b là tham số quyết định, phụ thuộc vào độ mảnh của dầm, hình dạng tiết diện, điều kiện biên và dạng tải trọng. Việc xác định chính xác φ_b là cốt lõi của bài toán ổn định. Thay vì trình bày lại các công thức phức tạp, báo cáo này tham chiếu trực tiếp đến tiêu chuẩn. Toàn bộ quy trình và các công thức chi tiết để xác định hệ số φ_b được quy định đầy đủ trong Phụ lục F của [10].

3. Ổn định tổng thể của dầm thép đỡ tấm sàn từ bê tông nhẹ EPS-C



Hình 4. Dầm thép không có liên kết với bản sàn bê tông nhẹ EPS-C

3.2 Ổn định tổng thể dầm thép có kể đến liên kết với tấm sàn (Phương án 2)

Phương pháp này tiếp cận hệ kết cấu một cách toàn diện hơn. Khi có các liên kết được tính toán và cấu tạo hợp lý, các tấm sàn EPS-C hoạt động như những điểm giằng ngang cho cánh chịu nén của dầm thép. Do đó, chiều dài tính toán mất ổn định (L_{ef}) không còn là toàn bộ nhịp dầm mà là khoảng cách giữa các điểm liên kết này.

Khi khoảng cách giữa các điểm giằng đủ nhỏ, độ mảnh của cánh nén sẽ giảm xuống dưới giá trị giới hạn, cho phép bỏ qua việc kiểm tra ổn định tổng thể ($\varphi_b = 1,0$). Theo [10], để đảm bảo điều này, hệ thống liên kết và bản thân tấm sàn phải có đủ độ cứng và khả năng chịu lực để chống lại lực cắt quy ước (V_{fic}) phát sinh do xu hướng mất ổn định của dầm. Lực V_{fic} được tính toán theo các công thức quy định trong tiêu chuẩn:

$$V_{fic} = 7,15 \times 10^{-6} \left(2330 - \frac{E}{f_{yd}} \right) \frac{N}{\varphi} \quad (2)$$

3.1 Ổn định tổng thể dầm thép không kể đến liên kết với tấm sàn (Phương án 1)

Đây là phương pháp thiết kế truyền thống và an toàn một cách thận trọng. Khi không có liên kết chịu lực giữa dầm và sàn, hoặc liên kết chỉ mang tính cấu tạo, tấm sàn không được xem là một bộ phận giằng cho dầm thép (Hình 4). Trong trường hợp này, chiều dài tính toán mất ổn định của dầm (L_{ef}) được lấy bằng toàn bộ chiều dài nhịp dầm (L). Điều này dẫn đến độ mảnh của dầm lớn, hệ số ổn định φ_b giảm đáng kể ($\varphi_b \ll 1$), và do đó khả năng chịu uốn của dầm bị giới hạn khá khắt khe bởi điều kiện ổn định tổng thể.

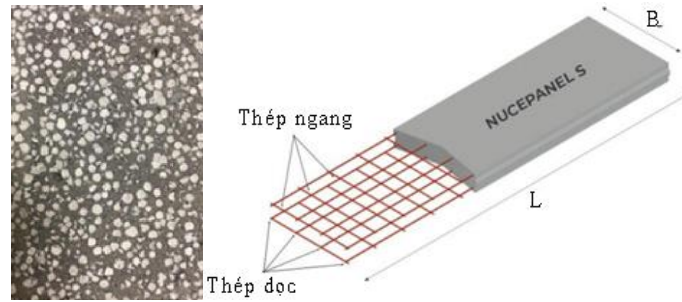


trong đó φ cần được xác định đối với độ mảnh $\lambda = L_{ef} / i$ (trong đó i là bán kính quán tính của tiết diện cánh chịu nén trong mặt phẳng nằm ngang), còn N được tính theo công thức:

$$N = (A_f + 0,25A_w) f_{yd} \quad (3)$$

trong đó: A_f và A_w là các diện tích tiết diện của cánh chịu nén và bản bụng.

Bên cạnh việc đảm bảo liên kết chắc chắn giữa tấm sàn và dầm thép, tấm sàn bê tông nhẹ EPS-C (Hình 5) cũng phải đảm bảo vai trò là thanh chống giữ cho dầm thép không bị mất ổn định. Một câu hỏi quan trọng được đặt ra là liệu vật liệu bê tông nhẹ EPS-C, với cường độ chịu nén (6–8 MPa) và mô đun đàn hồi (5500–7000 MPa) thấp hơn nhiều so với bê tông thường, có đủ khả năng đảm nhận vai trò giằng ổn định hay không. Các phân tích tính toán (sẽ trình bày ở Mục 4) cho thấy lực V_{fic} yêu cầu thường khá nhỏ. Khả năng chịu nén của tấm sàn EPS-C lớn hơn nhiều lần so với lực yêu cầu này, khẳng định rằng tấm sàn hoàn toàn đủ khả năng hoạt động như một hệ giằng ngang hiệu quả, miễn là các chi tiết liên kết được thiết kế đúng cách.



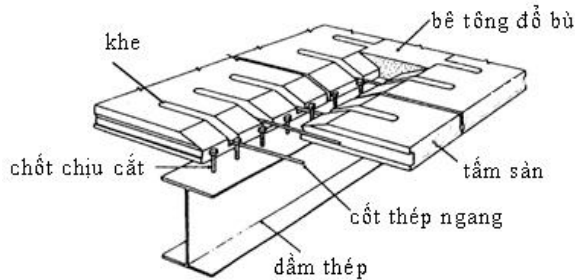
Hình 5. Bê tông nhẹ EPS-C và tấm sàn từ bê tông EPS-C

3.3 Các giải pháp liên kết giữa dầm thép với tấm sàn từ bê tông nhẹ EPS-C

Để hiện thực hóa Phương án 2, việc thiết kế chi tiết liên kết là cực kỳ quan trọng. Dưới đây là bốn giải pháp được đề xuất, mỗi giải pháp có những ưu và nhược điểm riêng.

a. Giải pháp 1

Các râu thép được đặt sẵn trong tấm sàn. Tại công trường, các chốt chịu cắt được hàn lên cánh dầm, sau đó tấm sàn được lắp đặt và mối nối được đổ bù bằng vữa hoặc bê tông (Hình 6).



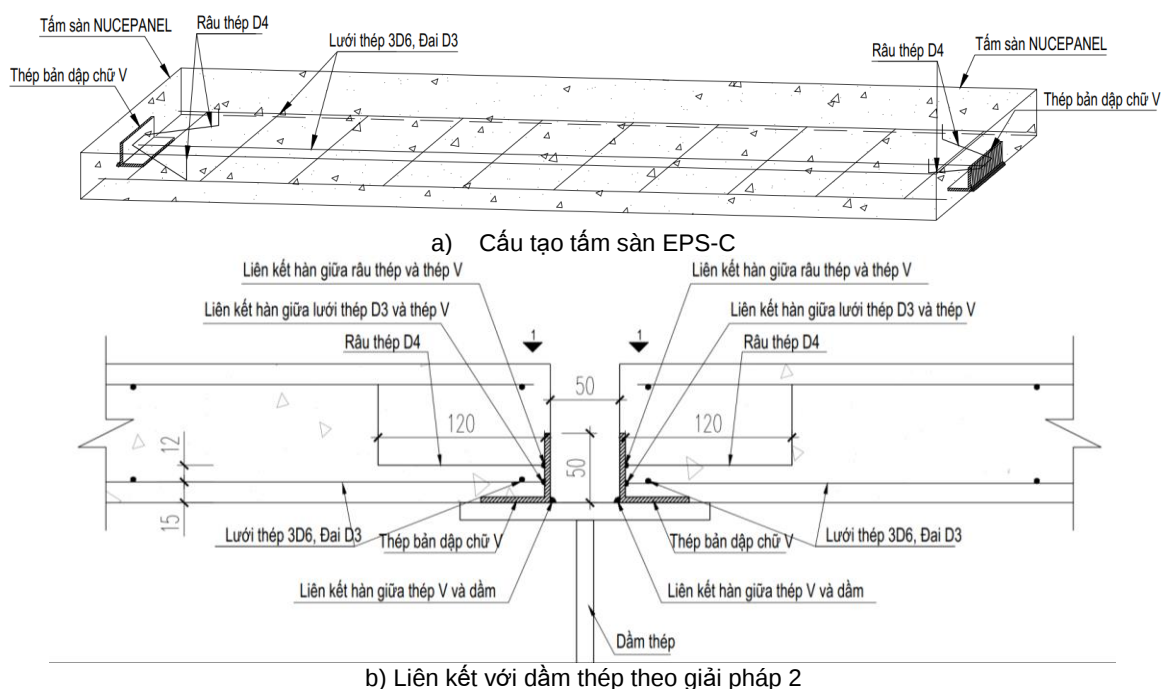
Hình 6. Liên kết giữa tấm sàn bê tông và dầm thép theo giải pháp 1

Giải pháp này có ưu điểm là liên kết giữa tấm sàn và dầm thép được đảm bảo tốt, và dễ dàng chế tạo các tấm với thép chờ. Ngoài ra, nó cũng đảm bảo sự ổn định cho dầm thép và có thể xem xét việc làm việc đồng thời (liên hợp) giữa dầm thép và sàn bê tông. Điều này có thể giảm độ võng và tăng khả năng chịu lực của dầm, giống như tính toán cho dầm liên hợp thép bê tông.

Tuy nhiên, nhược điểm của giải pháp này là tốn kém vật liệu (chốt hàn), đòi hỏi công tác đổ bê tông tại chỗ, làm tăng thời gian thi công và đi ngược lại một phần lợi ích của giải pháp lắp ghép.

b. Giải pháp 2

Trong giải pháp này, thép góc được đặt chờ sẵn ở hai đầu của tấm sàn và được hàn với cốt thép bên trong tấm sàn như ở Hình 7(a). Khi tiến hành thi công, thép góc sẽ được hàn với dầm thép bằng đường hàn góc dọc theo thép góc (Hình 7(b)). Quá trình liên kết sẽ được hoàn thiện bằng việc đổ lớp bê tông tại khe hở giữa hai tấm sàn.

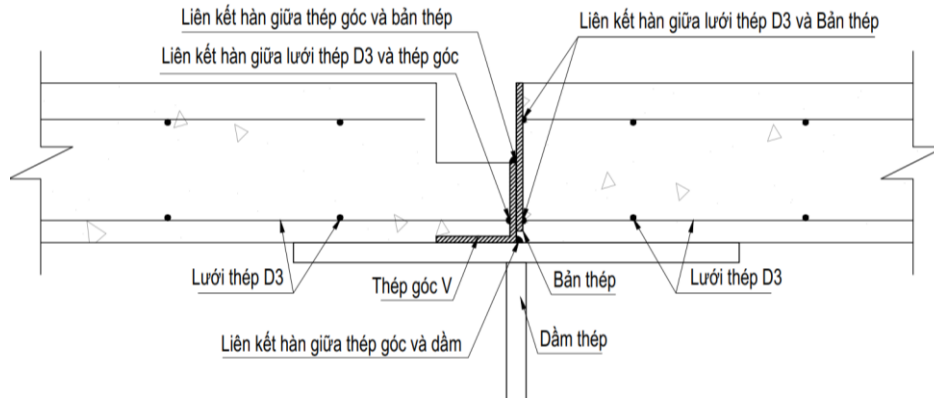


Hình 7. Cấu tạo tấm sàn và liên kết sàn với dầm thép theo giải pháp 2

Giải pháp này thi công và chế tạo tương đối đơn giản, nhanh chóng, chỉ cần đặt và hàn thép góc với dầm thép, sau đó hoàn thiện mối nối. Tuy nhiên, có thể yêu cầu cánh dầm phải đủ rộng để có không gian thao tác hàn, dẫn đến việc phải chọn tiết diện dầm lớn hơn mức cần thiết về mặt chịu lực. Ngoài ra, có thể xảy ra phá hoại cục bộ tại vị trí thép góc trong bê tông.

c. Giải pháp 3

Tấm sàn được chế tạo với hai đầu khác nhau: một đầu phẳng có bản thép chờ và một đầu giạt cấp có thép góc chờ. Điều này cho phép các tấm gối lên nhau tại vị trí dầm và liên kết với nhau bằng đường hàn (Hình 8).



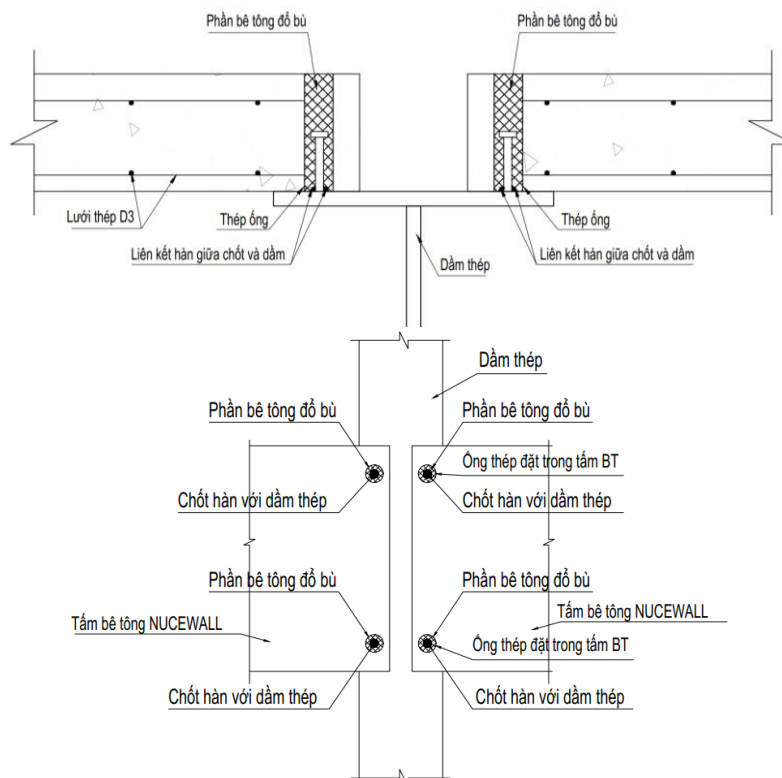
Hình 8. Liên kết giữa tấm sàn bê tông và dầm thép theo giải pháp 3

Giải pháp này cho phép nối liền các tấm sàn mà không cần khoảng hở giữa các tấm, cho phép tối ưu hóa bề rộng cánh dầm, tiết kiệm vật liệu.

Tuy nhiên, với phương pháp liên kết này, chế tạo tấm phức tạp hơn. Vẫn tồn tại rủi ro phá hoại cục bộ tại vị trí thép chờ.

d. Giải pháp 4

Trong giải pháp này, Các ống thép tròn được đặt sẵn trong tấm sàn. Tại công trường, chốt được hàn lên dầm tại vị trí tương ứng với ống thép. Sau khi đặt tấm sàn, không gian trong ống thép được đổ bù vữa cường độ cao (Hình 9).



Hình 9. Liên kết tấm sàn bê tông với dầm thép theo giải pháp 4

Giải pháp này giúp liên kết đảm bảo, tránh phá hoại cục bộ trong bê tông. Khe hở giữa các tấm nhỏ, cho phép tối ưu hóa tiết diện dầm. Có dung sai thi công nhất định.

Tuy nhiên, quy trình thi công nhiều bước hơn (định vị, hàn chốt, lắp đặt, đổ bù), đòi hỏi thời gian và sự chính xác cao hơn.

4. Ví dụ tính toán, kết quả khảo sát

Để đánh giá định lượng hiệu quả của các phương án, một loạt ví dụ tính toán được thực hiện cho dầm thép tổ hợp hàn, nhịp đơn giản.

Thông tin chung của các ví dụ bao gồm: Tĩnh tải tiêu chuẩn tác dụng lên dầm (bao gồm trọng lượng bản thân tấm sàn, các lớp hoàn thiện, trần thạch cao) là 188 kg/m^2 , hoạt tải tiêu chuẩn 200 kg/m^2 . Vật liệu thép S235 có giới hạn chảy $f_y = 235 \text{ MPa}$, mô đun đàn hồi $E=206000 \text{ MPa}$, hệ số điều kiện làm việc $\gamma_c = 1$. Bước của các dầm trên mặt bằng nhà là

1,5m. Độ võng giới hạn theo phụ lục G của TCVN 2737:2023 [15].

Nhịp dầm được khảo sát với các trường hợp khác nhau: $L = 5\text{m}; 6\text{m}; 7\text{m}; 8\text{m}$ và 9m .

Hai phương án so sánh bao gồm: **Phương án 1** - Không có liên kết chịu lực (chiều dài tính toán $L_{ef} = L$); **Phương án 2**: Có liên kết chịu lực (chiều dài tính toán $L_{ef} =$ khoảng cách liên kết $= 0,5 \text{ m}$).

Trong mỗi phương án, tiết diện dầm thép được chọn sao cho đảm bảo các trạng thái giới hạn chịu lực và sử dụng, bao gồm điều kiện bền, ổn định tổng thể, ổn định cục bộ và độ võng.

4.1 Thiết kế dầm thép theo phương án 1

Với mỗi nhịp, tiết diện dầm được lựa chọn để tối ưu về trọng lượng mà vẫn đảm bảo tất cả các điều kiện về bền, ổn định và biến dạng. Kết quả lựa chọn tiết diện được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Kích thước tiết diện và trọng lượng dầm đã chọn theo phương án 1

Nhịp dầm $L \text{ (m)}$	Tiết diện dầm	h (mm)	b_f (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	Trọng lượng (kg)
5	I 200x105x6x8	200	105	6	8	109,27
6	I 240x140x6x8	240	140	6	8	168,81
7	I 300x170x6x8	300	170	6	8	243,1
8	I 360x175x6x10	360	175	6	10	347,91
9	I 400x200x8x10	400	200	8	10	497,37

Trong Bảng 2, đặc trưng hình học của các loại tiết diện được trình bày khi kiểm tra các điều kiện về chịu lực và độ võng của các dầm.

Bảng 2. Đặc trưng hình học tiết diện dầm thép

Tiết diện dầm	$I_x \text{ (cm}^4\text{)}$	$I_y \text{ (cm}^4\text{)}$	$I_t \text{ (cm}^4\text{)}$	$W_x \text{ (cm}^3\text{)}$	$S_x \text{ (cm}^3\text{)}$
I 200x105x6x8	1860,7	154,7	6,3	186,07	106,0
I 240x140x6x8	3577,3	366,3	8,2	298,11	167,6
I 300x170x6x8	6944,7	655,6	10,1	462,98	259,1
I 360x175x6x10	12686,9	893,8	18,2	704,83	393,0
I 400x200x8x10	18871,5	1335,0	25,6	943,57	534,4

Kết quả kiểm tra theo từng điều kiện được biểu diễn dưới dạng tỷ lệ phần trăm của các giá trị tính toán với khả năng chịu lực hoặc độ võng cho phép, như được thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. Tổng hợp các điều kiện kiểm tra dầm theo phương án 1

Nhịp dầm $L \text{ (m)}$	Tiết diện dầm	Tỷ lệ theo khả năng chịu lực hoặc độ võng cho phép (%)				
		Điều kiện bền do mômen	Điều kiện bền do lực cắt	Điều kiện bền theo cả mômen và lực cắt	Điều kiện ổn định tổng thể	Điều kiện độ võng
5	I 200x105x6x8	62%	15%	37%	99%	47%
6	I 240x140x6x8	56%	15%	34%	96%	43%
7	I 300x170x6x8	50%	14%	31%	98%	40%
8	I 360x175x6x10	43%	13%	27%	97%	35%
9	I 400x200x8x10	41%	11%	26%	96%	35%

Kết quả kiểm tra (Bảng 3) cho thấy: đối với tất cả các nhịp, điều kiện ổn định tổng thể là điều kiện

quyết định đến việc lựa chọn tiết diện (tỷ lệ chịu lực đạt 96-99%), trong khi các điều kiện bền còn rất

hiều dự trữ. Điều này khẳng định rằng việc bỏ qua liên kết đã làm cho thiết kế bị chi phối khắt khe bởi hiện tượng mất ổn định.

4.2 Kiểm tra các tiết diện đã chọn theo phương án 2

Sử dụng các tiết diện từ Phương án 1, nhưng bây giờ tính toán với giả thiết có liên kết. Trước hết, cần kiểm tra xem tấm sàn và liên kết có đủ khả năng chịu lực cắt quy ước V_{fic} hay không.

Các kết quả chính được thể hiện như trong Bảng 4, trong đó tính toán với tấm bê tông EPS-C có chiều dày 100mm, bề rộng 500 mm và chiều dài 1500mm (theo bước dầm thép), chốt liên kết đường kính 13 mm (giải pháp liên kết 1,4) và đường hàn góc trong giải pháp 2,3 có chiều cao 4mm hàn với chiều dài 60mm.

Bảng 4. Kết quả kiểm tra tấm sàn và liên kết

Nhịp dầm L (m)	Tiết diện dầm	Lực cắt quy ước V_{fic} (kN)	Khả năng chịu nén dọc trục tấm bê tông EPS-C (kN)	Khả năng chịu lực của 1 chốt theo GP 1,4 (kN)	Khả năng chịu lực của đường hàn theo GP 2,3 (kN)
5	I 200x105x6x8	2,78			
6	I 240x140x6x8	3,61			
7	I 300x170x6x8	4,42	238,89	29,86	23,94
8	I 360x175x6x10	5,59			
9	I 400x200x8x10	6,84			

Kết quả từ Bảng 4 cho thấy lực cắt quy ước yêu cầu (V_{fic}) rất nhỏ (tối đa 6,84 kN), trong khi khả năng chịu nén của tấm sàn EPS-C (238.89 kN) lớn hơn hàng chục lần. Khả năng chịu lực của các chi tiết liên kết cũng vượt xa yêu cầu. Điều này chứng minh rằng hệ sàn EPS-C hoàn toàn đủ khả năng làm hệ giằng ổn định cho dầm thép. Các liên kết giữa dầm thép và bản sàn bê tông hoàn

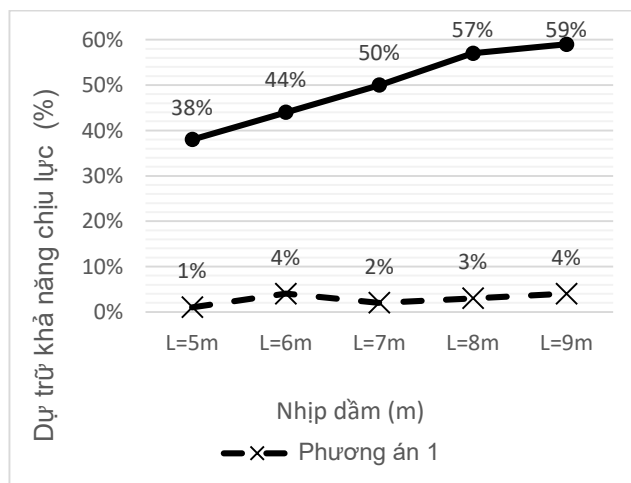
toàn có thể cấu tạo và tính toán đảm bảo đủ chịu lực.

Khi có liên kết, khoảng cách giằng là 0,5 m, rất nhỏ so với nhịp dầm. Điều này làm cho hệ số ổn định φ_b luôn bằng 1,0. Kết quả kiểm tra lại các tiết diện này (Bảng 5) cho thấy tỷ lệ chịu lực theo điều kiện ổn định giằng bằng với tỷ lệ theo điều kiện bền, và cả hai đều khá thấp (tối đa 62%).

Bảng 5. Các điều kiện kiểm tra dầm theo phương án 2

Nhịp dầm L (m)	Tiết diện dầm	Tỷ lệ theo khả năng chịu lực hoặc độ võng cho phép (%)				
		Điều kiện bền do mômen	Điều kiện bền do lực cắt	Điều kiện bền theo cả mômen và lực cắt	Điều kiện ổn định tổng thể	Điều kiện độ võng
5	I 200x105x6x8	62%	15%	37%	62%	47%
6	I 240x140x6x8	56%	15%	34%	56%	43%
7	I 300x170x6x8	50%	14%	31%	50%	40%
8	I 360x175x6x10	43%	13%	27%	43%	35%
9	I 400x200x8x10	41%	11%	26%	41%	35%

Hình 10 trình bày kết quả so sánh dự trữ khả năng chịu lực của các dầm theo các phương án khác nhau.



Hình 10. Dự trữ khả năng chịu lực của dầm theo các phương án khác nhau

Hình 10 cho thấy rõ sự khác biệt: các dầm trong Phương án 1 đã gần tới giới hạn chịu lực (do ổn định), trong khi cùng các tiết diện đó ở Phương án 2 lại có một khoản dự trữ khả năng chịu lực lớn. Điều này mở ra cơ hội để thiết kế lại các dầm với tiết diện nhỏ hơn.

4.3 Thiết kế dầm theo phương án 2

Tiến hành lựa chọn lại tiết diện cho Phương án 2 để tối ưu hóa vật liệu, sao cho các điều kiện bền hoặc độ võng đạt gần đến giới hạn cho phép. Kết quả được trình bày trong Bảng 6.

Bảng 6. Kích thước tiết diện và trọng lượng dầm được chọn theo phương án 2

Nhịp dầm L (m)	Tiết diện dầm	h (mm)	b _f (mm)	t _w (mm)	t _f (mm)	Trọng lượng (kg)
5	I 160x110x5x6	160	110	5	6	80,86
6	I 200x100x5x8	200	100	5	8	118,69
7	I 250x100x5x8	250	100	5	8	152,21
8	I 290x110x5x8	290	110	5	8	196,56
9	I 350x110x5x8	350	110	5	8	242,33

Bảng 7 trình bày kết quả kiểm tra các dầm dựa trên các điều kiện về chịu lực và độ võng, biểu diễn thông qua tỉ lệ giữa giá trị tính toán và giá trị cho phép.

Bảng 7. Các điều kiện thiết kế dầm theo phương án 2

Nhịp dầm L (m)	Tiết diện dầm	Tỉ lệ theo khả năng chịu lực hoặc độ võng cho phép (%)				
		Điều kiện bền do mômen	Điều kiện bền do lực cắt	Điều kiện bền theo cả mômen và lực cắt	Điều kiện ổn định tổng thể	Điều kiện độ võng
5	I 160x110x5x6	99%	22%	60%	99%	94%
6	I 200x100x5x8	95%	21%	58%	95%	95%
7	I 250x100x5x8	98%	20%	60%	98%	95%
8	I 290x110x5x8	98%	20%	61%	98%	98%
9	I 350x110x5x8	98%	19%	61%	98%	94%

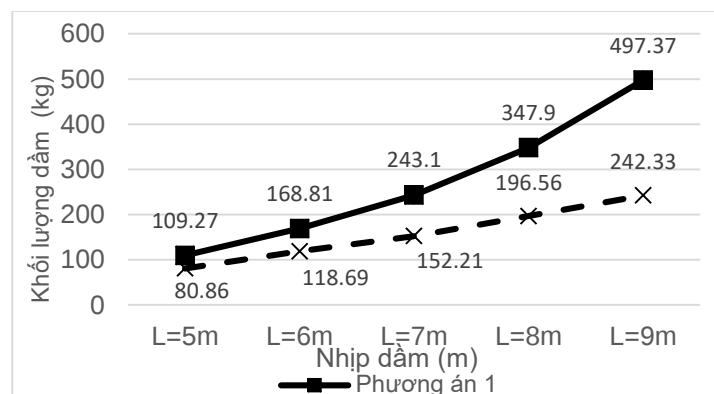
Kết quả kiểm tra các tiết diện mới này (Bảng 7) cho thấy thiết kế đã được tối ưu hóa. Các điều kiện bền, ổn định và độ võng đều đạt gần 100%, chứng tỏ vật liệu được sử dụng một cách hiệu quả.

4.4 Đánh giá hiệu quả của các phương án

Bảng 8 và Hình 11 tổng hợp kết quả so sánh về khối lượng thép giữa hai phương án thiết kế.

Bảng 8. Kết quả thiết kế dầm theo các phương án

Phương án 1				Phương án 2		
Nhịp dầm L (m)	Tiết diện dầm	Trọng lượng (kg)	Tỉ lệ chịu lực (%)	Tiết diện dầm	Trọng lượng (kg)	Tỉ lệ chịu lực (%)
5	I 200x105x6x8	109,27	99%	I 160x110x5x6	80,86	99%
6	I 240x140x6x8	168,81	96%	I 200x100x5x8	118,69	95%
7	I 300x170x6x8	243,1	98%	I 250x100x5x8	152,21	98%
8	I 360x175x6x10	347,91	97%	I 290x110x5x8	196,56	98%
9	I 400x200x8x10	497,37	96%	I 350x110x5x8	242,33	98%



Hình 11. So sánh trọng lượng dầm thiết kế theo các phương án khác nhau

Kết quả so sánh cho thấy hiệu quả vượt trội của Phương án 2. Lượng thép tiết kiệm được dao động từ 26% (với nhịp 5m) đến 51,3% (với nhịp 9m). Một nhận định quan trọng rút ra từ Hình 11 là hiệu quả tiết kiệm không phải là một hằng số; nó tăng lên đáng kể khi nhịp dầm lớn hơn. Điều này hoàn toàn hợp lý về mặt kỹ thuật: hiện tượng mất ổn định tổng thể (LTB) trở nên nghiêm trọng hơn đối với các cấu kiện có độ mảnh lớn (dầm dài). Do đó, việc loại bỏ LTB khỏi thiết kế bằng cách cung cấp giằng bên sẽ mang lại lợi ích lớn nhất cho các dầm nhịp dài.

Tuy nhiên, một đánh giá toàn diện cần xem xét cả chi phí phát sinh. Phương án 2 đòi hỏi chi phí bổ sung cho vật liệu liên kết (chốt, thép góc, que hàn) và chi phí nhân công, thời gian thi công cho các công đoạn này. Do đó, quyết định lựa chọn phương án thiết kế cần dựa trên một bài toán phân tích kinh tế - kỹ thuật tổng thể cho từng dự án cụ thể, cân nhắc giữa chi phí thép tiết kiệm được và chi phí phát sinh cho hệ liên kết.

5. Kết luận

Nghiên cứu đã đánh giá chi tiết và định lượng hiệu quả của việc sử dụng liên kết giữa dầm thép và tấm sàn bê tông nhẹ EPS-C. Các kết luận chính được rút ra như sau:

- Khi thiết kế dầm thép chịu tải từ sàn EPS-C, việc sử dụng các giải pháp liên kết chịu lực là khả thi và hiệu quả. Các liên kết này giúp tấm sàn hoạt động như những điểm giằng ngăn cản chuyển vị ngang và đảm bảo ổn định tổng thể cho dầm, cho phép hệ số ổn định φ_b được lấy bằng 1,0;

- Phương án thiết kế có kể đến liên kết (Phương án 2) không chỉ tăng cường đáng kể khả năng chịu tải của dầm so với phương án không liên kết (Phương án 1), mà còn cho phép giảm tiết diện và khối lượng thép một cách đáng kể, có thể lên tới hơn 50% trong trường hợp dầm nhịp lớn;

- Hiệu quả của việc sử dụng liên kết càng rõ rệt khi nhịp dầm càng tăng. Điều này cho thấy phương pháp thiết kế này đặc biệt phù hợp và mang lại lợi ích kinh tế cao cho các hệ sàn có nhịp dài.

Bên cạnh đó, việc liên kết dầm và sàn còn có tiềm năng nâng cao độ cứng ngang tổng thể của hệ sàn và huy động tấm sàn làm việc đồng thời với dầm thép như một kết cấu liên hợp. Tuy nhiên, cơ chế làm việc liên hợp này cần được nghiên cứu sâu hơn để có thể áp dụng một cách đáng tin cậy trong thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Hội, P. V. (2019). *Kết cấu liên hợp thép - bê tông: Dùng trong nhà cao tầng*. Nhà Xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

[2] Hội, P. V., Linh, N. N., Tuấn, V. A., Đức, H. N., Thu, P. T. N., & Tuyền, N. M. (2016). *Kết cấu liên hợp thép - bê tông trong nhà cao tầng và siêu cao tầng*. Nhà Xuất bản Xây dựng, Hà Nội.

[3] Tuan, V. A. (2017). *Steel - concrete composite structures. Slabs, beams and columns for buildings*. Construction Publishing House, Hanoi.

[4] Hicks, S. J., & Lawson, R. M. (2003). *Design of composite beams using precast concrete slabs (SCI Publication No. P287)*. Ascot, UK: Steel Construction Institute. ISBN 1-85942-139-3.

[5] Kurpińska, M., Grzyl, B., & Kristowski, A. (2019). *Cost analysis of prefabricated elements of the ordinary and lightweight concrete walls in residential construction*. *Materials*, 12(21), 3629. <https://doi.org/10.3390/ma12213629>.

[6] Sah, T. P., Lacey, A. W., Hao, H., & Chen, W. (2024). *Prefabricated concrete sandwich and other lightweight wall panels for sustainable building construction: State-of-the-art review*. *Journal of Building Engineering*, 89, 109391. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.109391>.

[7] Fernando, P. L. N., Jayasinghe, M. T. R., & Jayasinghe, C. (2017). *Structural feasibility of expanded polystyrene (EPS)-based lightweight concrete sandwich wall panels*. *Construction and Building Materials*, 139, 45–51. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.027>

[8] Liu, N., & Chen, B. (2014). *Experimental study of the influence of EPS particle size on the mechanical properties of EPS lightweight concrete*. *Construction and Building Materials*, 68, 227–232. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.062>.

[9] Nguyen, D. H., Han, N. D., Vu, A. T., Nguyen, T. K., & Hoang, T. N. (2021). *Experimental investigation on flexural behavior of reinforced lightweight concrete slabs using recycled expanded polystyrene*. In T. Q. Bui, L. T. Cuong, & S. Khatir (Eds.), *Structural health monitoring and engineering structures (Lecture Notes in Civil Engineering, Vol. 148, pp. 241–250)*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0945-9_20.

[10] TCVN 5575:2024. *Kết cấu thép. Tiêu chuẩn thiết kế*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.

[11] Hội, P. V., Viên, N. Q., Tư, P. V., Tường, L. V. (2012). *Kết cấu thép, cấu kiện cơ bản*. Nhà Xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

[12] SP 16.13330.2017 (2017). *Codes of rules «SNIIP II-23-81* Steel structures»*. Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (Ministry of Construction of Russia).

[13] SP 294.1325800.2017 (2017). *Steel Structures. Design Rules*. Ministry of Construction of Russia

[14] SP 43.13330.2012 (2013). *Constructions of the industrial enterprises*. Minregion of Russia.

[15] TCVN 2737:2023 (2023). *Tải trọng và tác động*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.