

**PHÂN TÍCH SO SÁNH THIẾT KẾ DẦM LIÊN HỢP THÉP - BÊ TÔNG THEO  
SP 266.1325800.2016 VÀ EN 1994-1-1:2004**  
COMPARATIVE ANALYSIS OF STEEL–CONCRETE COMPOSITE BEAM DESIGN IN  
ACCORDANCE WITH SP 266.1325800.2016 AND EN 1994-1-1:2004

**NGUYỄN ĐÌNH HÒA<sup>a,\*</sup>, NGUYỄN VĂN CƯỜNG<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

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

Ngày nhận 17/12/2025, Ngày sửa 28/12/2025, Chấp nhận 30/12/2025

<https://doi.org/10.59382/j-ibst.2025.vi.vol4-9>

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày nghiên cứu so sánh thiết kế dầm liên hợp thép – bê tông theo hai tiêu chuẩn SP 266.1325800.2016 và EN 1994-1-1:2004. Trên cơ sở phân tích hệ thống các giả thiết nền tảng, cách xác định tải trọng và quy trình kiểm tra trạng thái giới hạn, nghiên cứu đối chiếu cả phương pháp tính toán lẫn kết quả thiết kế định lượng. Một bài toán minh họa được thiết lập và tính song song theo hai tiêu chuẩn, tập trung vào các chỉ tiêu: khả năng chịu uốn ( $M_{pl,Rd}$ ), khả năng chịu cắt ( $V_{pl,Rd}$ ), số lượng chốt chịu cắt, độ võng sử dụng và ổn định tổng thể. Kết quả cho thấy các sai khác đáng kể giữa hai tiêu chuẩn; trong trường hợp liên kết hoàn toàn, chênh lệch tỷ lệ khai thác khả năng chịu uốn có thể đạt khoảng 13% và số chốt chịu cắt khác nhau khoảng 16%. Phân tích nguyên nhân chỉ ra rằng sai khác chủ yếu bắt nguồn từ mô hình khối ứng suất dẻo của bê tông và cách xác định sức kháng cắt của bản bụng thép trong từng tiêu chuẩn. Trên cơ sở đó, bài báo đưa ra các nhận xét định lượng và định tính nhằm làm rõ phạm vi ảnh hưởng của các lựa chọn mô hình và công thức, góp phần hỗ trợ kỹ sư trong việc lựa chọn và áp dụng tiêu chuẩn phù hợp cho điều kiện thiết kế thực tế.

**Từ khóa:** dầm liên hợp thép–bê tông; SP 266.1325800.2016; EN 1994-1-1; khả năng chịu uốn dẻo; khả năng chịu cắt; chốt chịu cắt.

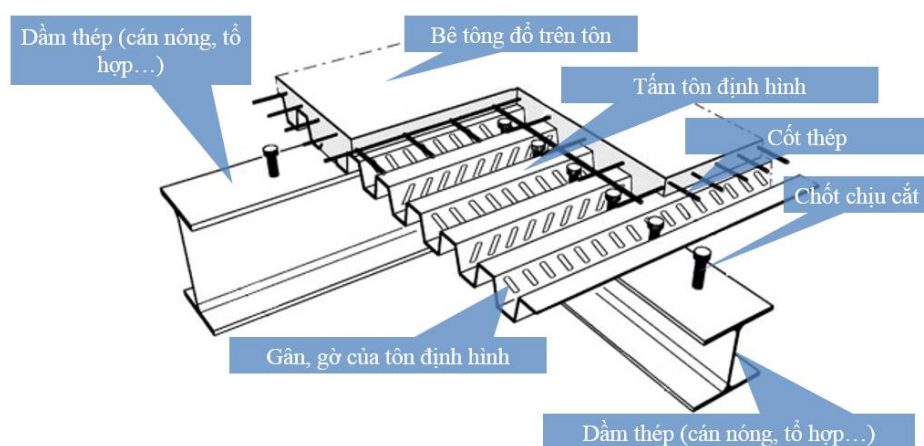
**Abstract:** This paper presents a comparative study on the design of steel–concrete composite beams according to two standards: SP 266.1325800.2016 and EN 1994-1-1:2004. Based on a systematic review of the key assumptions, load definition, and limit state verification procedures, the study compares both the calculation approaches and

the quantitative design results. A representative example beam is designed in parallel using the two standards, focusing on the following parameters: bending resistance ( $M_{pl,Rd}$ ), shear resistance ( $V_{pl,Rd}$ ), number of shear connectors, service deflection, and overall stability. The results show noticeable differences between the two standards. For full interaction, the difference in the utilization ratio of bending resistance can reach about 13%, and the required number of shear connectors differs by about 16%. The main reasons are the differences in the concrete plastic stress block model and in the method used to determine the shear resistance of the steel web. Based on these findings, the paper provides quantitative and qualitative remarks to clarify how modeling choices and design formulas affect the results, helping engineers select and apply an appropriate standard for practical design conditions.

**Keywords:** steel–concrete composite beam; SP 266.1325800.2016; EN 1994-1-1; plastic bending resistance; shear resistance; shear connectors.

## 1. Giới thiệu

Kết cấu liên hợp thép – bê tông đã và đang được ứng dụng rộng rãi trong các công trình dân dụng và công nghiệp nhờ khả năng khai thác hiệu quả ưu điểm của vật liệu, giúp tối ưu hóa khả năng chịu lực và rút ngắn thời gian thi công [1, 2, 3]. Đặc biệt, trong bối cảnh phát triển mạnh mẽ của nhà cao tầng và xu hướng thi công lắp ghép hiện nay, dầm liên hợp đã khẳng định vai trò là giải pháp ưu việt về mặt kinh tế – kỹ thuật. Cấu tạo điển hình của dầm liên hợp được thể hiện trong Hình 1.



**Hình 1.** Dầm liên hợp thép – bê tông

Trên thế giới, hệ thống tiêu chuẩn thiết kế cho kết cấu liên hợp thép – bê tông đã được hoàn thiện và áp dụng rộng rãi, tiêu biểu như EN 1994-1-1 (EC4) của Châu Âu [4], AISC 360-22 của Hoa Kỳ [5], AS/NZS 2327 của Australia/New Zealand [6], hay SP 266.1325800.2016 của Liên bang Nga [7].

Tại Việt Nam, do chưa có tiêu chuẩn quốc gia (TCVN) chuyên ngành cho loại kết cấu này, công tác thiết kế thực tế thường vận dụng các tiêu chuẩn nước ngoài, trong đó phổ biến nhất là EC4. Tuy nhiên, hệ thống tiêu chuẩn nền tảng hiện hành của Việt Nam – bao gồm TCVN 2737:2023 về Tải trọng và tác động [8], TCVN 5574:2018 về Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép [9], và TCVN 5575:2024 về Kết cấu thép [10] – lại được biên soạn dựa trên hệ thống tiêu chuẩn tương ứng của Liên bang Nga (SP 20.13330.2016 [11], SP 63.13330.2018 [12] và SP 16.13330.2017 [13]).

Trong định hướng đồng bộ hóa hệ thống tiêu chuẩn, dự thảo TCVN về kết cấu liên hợp thép – bê tông hiện đang được xây dựng trên cơ sở tham khảo SP 266.1325800.2016 (SP 266). Do đó, việc phân tích sâu sắc nguyên lý và phương pháp tính toán theo SP 266 đặt trong bối cảnh so sánh với thực tiễn áp dụng EC4 mang ý nghĩa khoa học và thực tiễn cấp thiết.

Mặc dù các tài liệu quốc tế đã có nhiều nghiên cứu đối chiếu tiêu chuẩn với thực nghiệm hoặc mô phỏng số, nhưng các nghiên cứu so sánh trực diện giữa SP 266 và EC4 để định lượng sự khác biệt về các đặc trưng thiết kế cốt lõi (khả năng chịu uốn, chịu cắt, số lượng chốt neo, độ võng) vẫn còn hạn chế. Việc thiết lập bài toán cụ thể để so sánh đồng bộ là cơ sở quan trọng để nhận diện các điểm khác biệt,

từ đó đề xuất định hướng hoàn thiện TCVN trên nền tảng SP 266.

Bài báo này trình bày kết quả phân tích so sánh thiết kế giữa SP 266 và EC4 thông qua một cấu kiện dầm liên hợp điển hình, được tính toán chi tiết theo quy trình chuẩn. Trên cơ sở đó, các chỉ tiêu định lượng về khả năng chịu lực ( $M_{pl,Rd}$ ,  $V_{Rd}$ ), cấu tạo chốt, độ võng và hiệu quả vật liệu sẽ được đối chiếu và đánh giá nhằm phục vụ công tác thiết kế thực tế.

## 2. Tổng quan tiêu chuẩn và nguyên lý thiết kế

### 2.1 Giới thiệu chung về hai tiêu chuẩn

Tiêu chuẩn SP 266.1325800.2016 (gọi tắt là SP 266) quy định các nguyên tắc thiết kế kết cấu liên hợp thép – bê tông tại Liên bang Nga. Do thuộc cùng hệ thống với các tiêu chuẩn nền tảng SP 63 [12] và SP 16 [13] – vốn là cơ sở biên soạn các TCVN hiện hành của Việt Nam [9, 10] – nên SP 266 có sự tương đồng lớn về tư duy thiết kế và hệ thống ký hiệu, tạo thuận lợi cho các kỹ sư Việt Nam trong quá trình tiếp cận và áp dụng.

Trong khi đó, EN 1994-1-1:2004 (thường gọi là EC4) là cấu phần về kết cấu liên hợp thuộc bộ tiêu chuẩn Eurocode, được áp dụng rộng rãi tại Châu Âu và nhiều quốc gia trên thế giới. Đặc thù của EC4 là yêu cầu tính đồng bộ cao, bắt buộc sử dụng phối hợp với các tiêu chuẩn liên quan bao gồm: Cơ sở thiết kế (EN 1990) [14], Tải trọng và tác động (EN 1991) [15], Kết cấu bê tông (EN 1992-1-1) [16] và Kết cấu thép (EN 1993-1-1) [17].

Mặc dù cả hai hệ tiêu chuẩn đều được xây dựng dựa trên phương pháp trạng thái giới hạn, tuy nhiên, sự khác biệt trong việc cụ thể hóa các giả thiết cơ học, mô hình vật liệu và hệ số an toàn đã dẫn đến

## QUY CHUẨN - TIÊU CHUẨN

những phân hóa đáng kể trong kết quả tính toán cho cùng một bài toán thiết kế.

### 2.2 Các điểm tương đồng cơ bản

Hai tiêu chuẩn chia sẻ các nguyên lý thiết kế và giả thiết cơ học nền tảng sau:

- Phương pháp thiết kế: Cả hai đều sử dụng phương pháp trạng thái giới hạn, yêu cầu kiểm tra đồng thời Trạng thái giới hạn về cường độ và Trạng thái giới hạn sử dụng;
- Giả thiết tính toán: Áp dụng giả thiết tiết diện phẳng trong phân tích biến dạng và bỏ qua khả năng chịu kéo của bê tông khi tính toán độ bền;
- Phân loại tiết diện: Điều yêu cầu phân loại tiết diện ngang để xác định phương pháp phân tích là dẻo hay đàn hồi;

- Khả năng chịu cắt: Đối với dầm không bọc bê tông, cả hai đều giả thiết toàn bộ lực cắt đứng do bản bụng dầm thép tiếp nhận;

- Hiệu ứng dài hạn: Điều xét đến ảnh hưởng của từ biến và co ngót của bê tông trong phân tích nội lực và biến dạng.

### 2.3 Các điểm khác biệt cốt lõi

Sự khác biệt giữa hai tiêu chuẩn được phân tích và tổng hợp thành 03 nhóm vấn đề chính, bao gồm:

- (i) Tiếp cận độ tin cậy và mô hình vật liệu; (ii) Cấu tạo và liên kết chịu cắt; (iii) Phương pháp tính toán độ bền và trạng thái sử dụng. Chi tiết so sánh được trình bày lần lượt tại các Bảng 1, 2 và 3.

**Bảng 1. Tiếp cận độ tin cậy và mô hình vật liệu**

| Khía cạnh             | SP 266   | EC4  |
|-----------------------|--|--|
| Độ tin cậy            | Sử dụng cường độ tính toán ( $R_y, R_b, R_s$ ) đã bao gồm các hệ số độ tin cậy về vật liệu ( $\gamma$ ). Trong công thức kiểm tra, dùng trực tiếp giá trị này nhân với hệ số điều kiện làm việc ( $\gamma_{bi}, \gamma_c$ ). | Sử dụng hệ số an toàn riêng ( $\gamma_M$ ) áp dụng lên giá trị đặc trưng ( $f_{yk}, f_{ck}$ ) ngay trong công thức kiểm tra thiết kế.                                |
| Mô hình vật liệu      | Chú trọng mô hình biến dạng phi tuyến. Sử dụng "mô đun biến dạng" ( $E_{b1}$ ) thay đổi theo thời gian và trạng thái tải trọng để mô tả độ cứng thực tế.   | Thiên về đơn giản hóa thực dụng. Sử dụng biểu đồ ứng suất dẻo khối chữ nhật (hệ số 0.85) cho tính toán bền. Phân tích kết cấu thường là đàn hồi tuyến tính.          |
| Quy đổi vật liệu      | Hệ số quy đổi $\alpha_b = E_{st}/E_{b1}$ ( $E_{b1}$ biến thiên theo trạng thái nứt và thời gian).  | Hệ số quy đổi $n = E_a / E_{cm}$ (ngắn hạn) và $n_L = E_a / E_{c,eff}$ (dài hạn, xét đến từ biến).   |
| Phương pháp phân tích | Cho phép phân tích đàn hồi hoặc phi tuyến. Với kết cấu siêu tĩnh, yêu cầu xét đến sự phân phối lại nội lực do biến dạng dẻo và nứt bê tông.  | Phân tích tổng thể có thể là: Đàn hồi tuyến tính, Phi tuyến hoặc Dẻo-Cứng. Ảnh hưởng của từ biến/co ngót được kể đến thông qua mô đun đàn hồi hiệu quả $E_{c,eff}$ . |

**Bảng 2. Tiết diện hữu hiệu và liên kết chịu cắt**

| Khía cạnh                      | SP 266  | EC4   |
|--------------------------------|---|---|
| Bề rộng hữu hiệu ( $b_{eff}$ ) | Sử dụng công thức trực tiếp phụ thuộc nhịp. Đơn giản, dễ thực hành nhưng độ chính xác hạn chế đối với hệ dầm liên tục phức tạp. | Dựa trên khoảng cách điểm uốn của biểu đồ mô men ( $L_e$ ). Cho phép xác định $b_{eff}$ chính xác và liên tục tại cả tiết diện gối và nhịp.   |
| Chốt chịu cắt                  | Đa dạng loại chốt (bao gồm cả thanh cốt thép, thép hình...). Không bắt buộc thử nghiệm Push-out.                                | Tập trung vào chốt hàn có mũ. Yêu cầu chốt dẻo phải đạt độ trượt $d \geq 6$ mm qua thử nghiệm push-out.   |
| Liên kết không hoàn toàn       | Không đề cập tường minh khái niệm giảm số lượng chốt thông qua hệ số $\eta < 1$ . Thiên về thiết kế an toàn với liên kết cứng.  | Cho phép thiết kế liên kết không hoàn toàn ( $\eta < 1$ , yêu cầu tối thiểu $\eta \geq 0,4$ ) giúp giảm đáng kể số lượng chốt, tối ưu hóa kinh tế miễn là đảm bảo điều kiện độ võng và dẻo. |
| Cấu tạo chốt                   | Khoảng cách dọc: $100 \leq s \leq 600$ mm (hoặc 4h). Khoảng cách ngang: $s \geq 50$ mm. Đỉnh chốt cách mặt sàn $\geq 20$ mm.    | Khoảng cách dọc: $5d \leq s \leq 6h_{slab}$ (hoặc 800mm). Khoảng cách ngang: $s \geq 2,5d$ đối với sàn đặc; $s \geq 4d$ đối với sàn có tôn sóng.  |

**Bảng 3. Độ bền, ổn định và trạng thái sử dụng**

| Khía cạnh                      | SP 266   | EC4  |
|--------------------------------|--|--|
| Khả năng chịu uốn ( $M_{Rd}$ ) | Dựa trên cân bằng nội lực giới hạn với cường độ tính toán ( $R_b, f_{yd}$ ). Cho phép dùng mô hình phi tuyến chính xác cho tiết diện phức tạp. | Dựa trên phân bố ứng suất dẻo toàn phần (khối nén chữ nhật $0,85f_{cd}$ ). Thép chịu kéo/nén $f_{yd}$ . Có xét đến ảnh hưởng của lực cắt nếu $V_{Ed} > 0,5V_{pl,Rd}$ . |
| Phân phối lại mô men           | Cho phép phân phối lại trong kết cấu siêu tĩnh, tuân thủ điều kiện chống nứt. Không quy định giới hạn % cứng nhắc.                             | Quy định giới hạn % cụ thể (ví dụ 30-40%) phụ thuộc vào loại tiết diện và phương pháp phân tích (nứt/không nứt).   |
| Ổn định tổng thể               | Kiểm tra ổn định của cánh nén dầm thép theo tiêu chuẩn kết cấu thép (SP 16.13330.2017).  | Kiểm tra theo mô hình cơ học, xem xét hiệu quả giữ ổn định của bản sàn thông qua độ cứng liên kết.   |
| Độ võng & Trượt                | Tính độ võng tổng cộng có kể đến độ võng phụ thêm ( $f_{add}$ ) do biến dạng trượt của chốt bằng công thức cụ thể.                             | Tính độ võng đàn hồi quy đổi. Cho phép bỏ qua ảnh hưởng của trượt nếu thỏa mãn điều kiện biên về số lượng chốt và tải trọng.   |
| Thi công                       | Kiểm tra bền và ổn định dầm thép chịu tải trọng thi công + bê tông ướt. Xét đến tải trọng phụ thêm do vữa đọng bê tông (nếu vữa lớn).          | Phân biệt rõ sơ đồ có chống/không chống. Cho phép phân phối lại mô men trong tồn sóng nếu không dùng cột chống.  |

**2.4 Quy trình thiết kế dầm liên hợp**

Để làm rõ trình tự tính toán và các bước kiểm tra theo từng tiêu chuẩn, quy trình thiết kế dầm liên hợp điển hình theo SP 266 và EC4 được khái quát hóa dưới dạng sơ đồ khối và trình bày chi tiết tại Hình 2 và Hình 3.

**3. Ví dụ tính toán minh họa**

Để đánh giá sự khác biệt định lượng giữa hai tiêu chuẩn, nghiên cứu tiến hành tính toán thiết kế song song cho một cấu kiện dầm liên hợp điển hình theo quy trình của SP 266 và EC4. Các tiêu chí so sánh trọng tâm bao gồm: Khả năng chịu uốn dẻo ( $M_{pl,Rd}$ ), khả năng chịu cắt ( $V_{Rd}$ ), số lượng chốt chịu cắt yêu cầu, kiểm tra ổn định tổng thể và độ võng trong giai đoạn sử dụng.

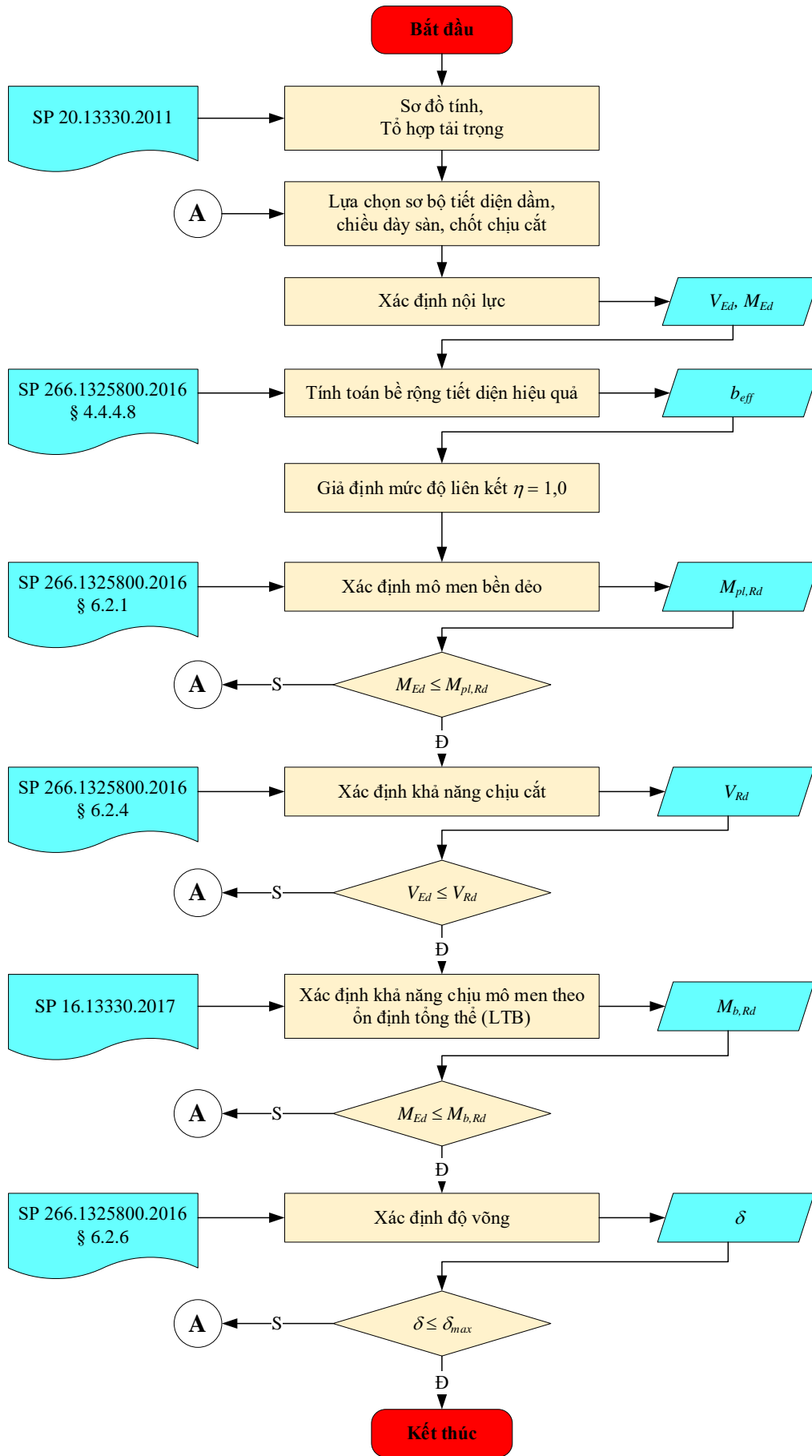
**3.1 Số liệu đầu vào**

Đối tượng khảo sát là dầm liên hợp thuộc hệ sàn nhà văn phòng, sơ đồ tính là dầm đơn giản với nhịp  $L = 9\text{ m}$ , khoảng cách giữa các dầm  $B = 3\text{ m}$ .

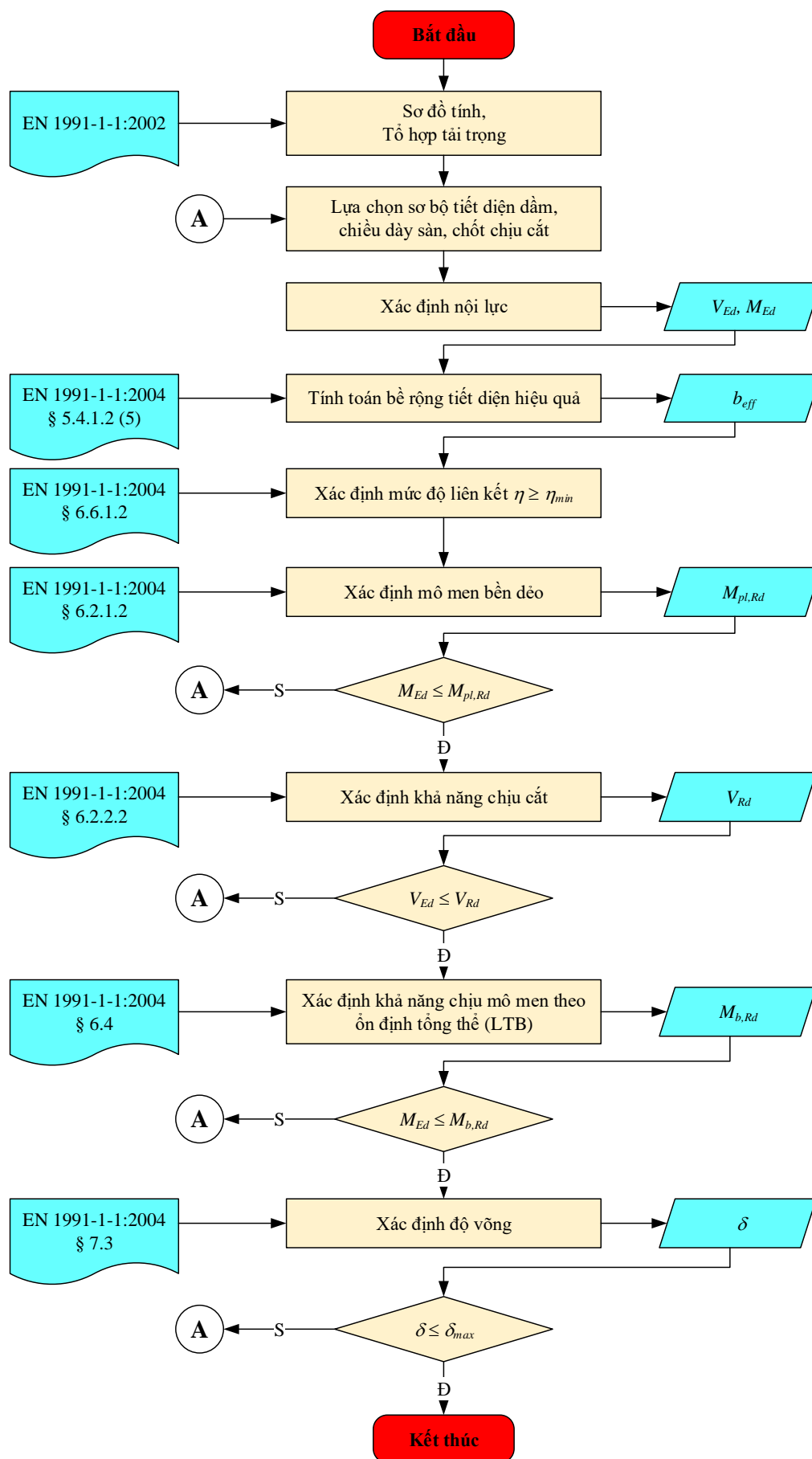
Cấu tạo tiết diện bao gồm dầm thép hình IPE400 (thép cấp độ bền S235) liên kết với bản sàn bê tông cốt thép toàn khối (sàn đặc) chiều dày  $h_c = 140\text{ mm}$ . Cốt thép sàn đường kính  $\varnothing 10$  được bố trí với bước 150. Liên kết sử dụng chốt hàn có mũ đường kính  $d = 19\text{ mm}$ , chiều cao chốt  $h_{sc} = 100\text{ mm}$ , được hàn trực tiếp lên cánh trên dầm thép.

Tải trọng tiêu chuẩn phân bố trên mặt sàn bao gồm:

- Tải trọng thường xuyên (các lớp hoàn thiện, vách ngăn nhẹ):  $1,5\text{ kN/m}^2$ ;
- Tải trọng tạm thời (hoạt tải văn phòng):  $3,0\text{ kN/m}^2$ .



Hình 2. Sơ đồ quy trình thiết kế dầm liên hợp theo SP 266



Hình 3. Sơ đồ quy trình thiết kế dầm liên hợp theo EC4

## QUY CHUẨN - TIÊU CHUẨN

Các đặc trưng cơ lý của vật liệu thép kết cấu, bê tông, cốt thép và chốt chịu cắt được tổng hợp chi tiết tại Bảng 4.

**Bảng 4. Tổng hợp các thông số vật liệu đầu vào**

| Thông số                                    | Ký hiệu  | Giá trị (MPa) | Ghi chú         |
|---|----------|---------------|-----------------|
| Giới hạn chảy thép dầm                      | $f_y$    | 235           | Thép S235       |
| Mô đun đàn hồi thép dầm                     | $E_a$    | 210 000       |                 |
| Cường độ chịu nén đặc trưng của bê tông sàn | $f_{ck}$ | 20            | Bê tông C20/25  |
| Mô đun đàn hồi bê tông sàn                  | $E_b$    | 30 000        |                 |
| Giới hạn chảy của cốt thép sàn              | $f_{sk}$ | 500           | S500            |
| Giới hạn bền vật liệu chốt chịu cắt         | $f_u$    | 450           | $f_u = 450$ MPa |

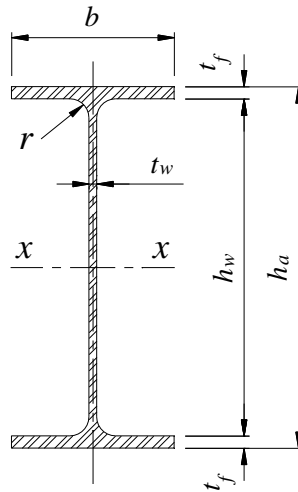
Đối với quy trình thiết kế theo SP 266, các đặc trưng cơ lý của vật liệu cần được chuyển đổi từ giá trị tiêu chuẩn sang cường độ tính toán thông qua các

hệ số độ tin cậy về vật liệu ( $\gamma_m$ ). Các thông số vật liệu sau quy đổi dùng cho bài toán này được tổng hợp tại Bảng 5.

**Bảng 5. Các thông số vật liệu tính toán theo SP266**

| Thông số                                     | Ký hiệu | Giá trị (MPa) | Ghi chú  |
|--|---------|---------------|--|
| Cường độ tính toán của thép dầm              | $R_y$   | 223,81        | Tính với hệ số độ tin cậy vật liệu $\gamma_m = 1,05$ |
| Cường độ tính toán chịu kéo của cốt thép sàn | $R_s$   | 435           | Quy đổi tương đương từ thép S500 sang CB500-V        |
| Cường độ tính toán chịu nén của bê tông sàn  | $R_b$   | 15,57         | Quy đổi từ cấp độ bền C20/25                         |

Các đặc trưng hình học chi tiết của tiết diện dầm thép IPE 400 được mô tả trực quan tại Hình 4 và thống kê cụ thể trong Bảng 6.



**Hình 4. Kích thước cấu tạo của tiết diện dầm thép IPE 400**

**Bảng 6. Các đặc trưng hình học của tiết diện dầm thép IPE 400**

| Thông số            | Ký hiệu | Giá trị | Đơn vị |
|---------------------|---------|---------|--------|
| Chiều cao tiết diện | $h_a$   | 400     | mm     |
| Bề rộng bản cánh    | $b$     | 180     | mm     |
| Chiều dày bản bụng  | $t_w$   | 8,6     | mm     |

| Thông số            | Ký hiệu  | Giá trị | Đơn vị          |
|---------------------|----------|---------|-----------------|
| Chiều dày bản cánh  | $t_f$    | 13,5    | mm              |
| Bán kính cong       | $r$      | 21      | mm              |
| Diện tích tiết diện | $A_{st}$ | 84,5    | cm <sup>2</sup> |
| Mô men quán tính    | $I_x$    | 23120   | cm <sup>4</sup> |

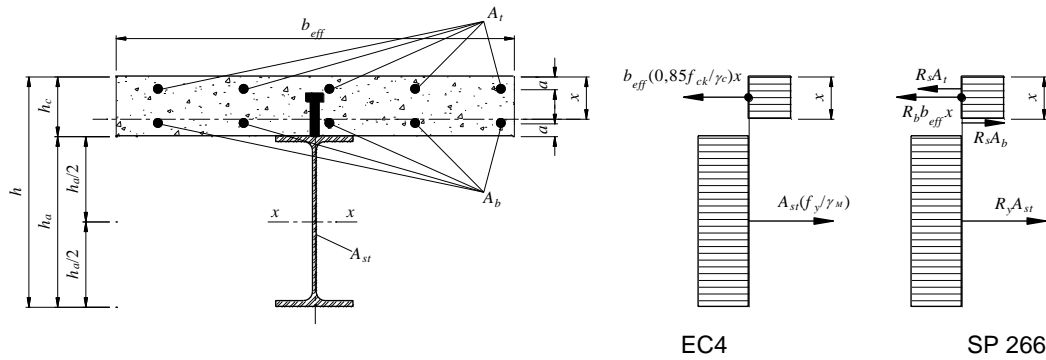
**3.2 Phân tích so sánh**

**a. Điều kiện chịu uốn**

Khả năng chịu uốn dẻo thiết kế ( $M_{pl,Rd}$ ) của dầm liên hợp được xác định dựa trên nguyên lý cân bằng nội lực giới hạn giữa vùng nén (bản sàn bê tông) và vùng kéo (tiết diện dầm thép). Trong bài toán này, cả hai tiêu chuẩn đều áp dụng giả thiết liên kết hoàn toàn tại mặt tiếp xúc thép – bê tông, đồng thời sử dụng mô hình vật liệu cứng – dẻo lý tưởng, coi tiết diện đạt trạng thái chảy dẻo hoàn toàn tại thời điểm phá hoại.

Giá trị mô men uốn tính toán ( $M_{Ed}$ ) được xác định theo sơ đồ dầm đơn giản chịu tải trọng phân bố đều, tuân thủ các quy định về tổ hợp tải trọng (hệ số độ tin cậy của tải trọng) theo EN 1990 và SP 20.13330 tương ứng.

Sơ đồ phân bố ứng suất dẻo trên tiết diện ngang trong trường hợp trục trung hòa dẻo nằm trong bản sàn bê tông ( $x \leq h_c$ ) theo hai tiêu chuẩn được minh họa chi tiết tại Hình 5.



**Hình 5.** Tiết diện và biểu đồ ứng suất dầm liên hợp khi trục trung hòa dẻo nằm trong bản sàn bê tông

Trên cơ sở giả thiết trục trung hòa dẻo đi qua bản sàn bê tông ( $x \leq h_c$ ), hệ thống các công thức xác định chiều cao vùng nén  $x$  và mô men kháng uốn dẻo  $M_{pl,Rd}$  theo quy định của hai tiêu chuẩn được tổng

hợp tại Bảng 7. Sử dụng các công thức này với số liệu đầu vào đã thiết lập, kết quả tính toán định lượng cho bài toán minh họa được trình bày chi tiết trong Bảng 8.

**Bảng 7.** Các công thức xác định khả năng chịu uốn dẻo  $M_{pl,Rd}$

| EC4  | SP 266   |
|--|--|
| <i>Chiều cao vùng bê tông chịu nén x</i>   |  |
| $x = \frac{A_{st} \cdot \left( \frac{f_y}{\gamma_M} \right)}{b_{eff} \cdot \left( 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \right)} \quad (1)$ | $x = \frac{R_y \cdot A_{st} + R_s \cdot A_b - R_s \cdot A_t}{R_b \cdot b_{eff}} \quad (2)$   |
| <i>Khả năng chịu uốn <math>M_{pl,Rd}</math></i>  |  |
| $M_{pl,Rd} = A_{st} \cdot \frac{f_y}{\gamma_M} \left( \frac{h_a}{2} + h_c - \frac{x}{2} \right) \quad (3)$                               | $M_{pl,Rd} = R_y \cdot A_{st} \cdot \left( \frac{h_a}{2} + h_c - \frac{x}{2} \right) + R_s \cdot A_b \cdot \left( h_c - a - \frac{x}{2} \right) + R_s \cdot A_t \cdot \left( \frac{x}{2} - a' \right) \quad (4)$ |

**QUY CHUẨN - TIÊU CHUẨN**

**Bảng 8. Tổng hợp kết quả tính toán theo điều kiện chịu uốn**

| Tiêu chuẩn | x (mm) | $M_{Ed}$ (kNm) | $M_{pl,Rd}$ (kNm)                       | $M_{Ed}/M_{pl,Rd}$ |
|------------|--------|----------------|---|--------------------|
| EC4        | 77,9   | 350,8          | 597,8<br>(liên kết hoàn toàn)           | 58,7%              |
|            |        |                | 513,5<br>(mức độ liên kết $\eta=0,71$ ) | 68,3%              |
| SP 266     | 54,0   | 292,9          | 638,1<br>(liên kết hoàn toàn)           | 45,9%              |

Từ kết quả tổng hợp tại Bảng 8, nhận thấy trong trường hợp liên kết hoàn toàn, tỷ lệ khai thác khả năng chịu uốn ( $M_{Ed}/M_{pl,Rd}$ ) tính theo SP 266 thấp hơn khoảng 13% so với EC4. Sự chênh lệch đáng kể này bắt nguồn từ hai nguyên nhân cơ bản:

- Về khả năng chịu lực: SP 266 kể đến sự tham gia chịu lực của cốt thép trong vùng nén, dẫn đến giá trị mô men kháng uốn dẻo  $M_{pl,Rd}$  lớn hơn khoảng 6,7% so với phương pháp của EC4 (vốn bỏ qua thành phần này để thiên về an toàn);
- Về tải trọng: Các hệ số độ tin cậy của tải trọng quy định trong bộ tiêu chuẩn Eurocode thường lớn hơn, khiến giá trị mô men uốn tính toán  $M_{Ed}$  cao hơn khoảng 19,8% so với kết quả xác định theo SP 20.13330.

Bên cạnh đó, điểm ưu việt của EC4 là cho phép thiết kế liên kết không hoàn toàn để tối ưu hóa bài

toán. Khi giảm mật độ bố trí cốt xuống khoảng cách 200 mm (tương ứng mức độ liên kết  $\eta = 0,71$ ), khả năng chịu uốn  $M_{pl,Rd}$  được điều chỉnh giảm xuống còn 513,5 kNm.

Đánh giá tổng thể cho thấy, với cùng một cấu kiện, mức độ khai thác khả năng chịu lực theo EC4 (đạt khoảng 59%) cao hơn đáng kể so với SP 266 (chỉ đạt khoảng 46%). Điều này minh chứng rằng tiêu chuẩn Châu Âu có xu hướng tiếp cận an toàn hơn trong bài toán kiểm tra bền chịu uốn.

**b. Điều kiện chịu cắt**

Đối với dầm liên hợp thông thường (không bọc bê tông), cả hai tiêu chuẩn đều bỏ qua sự tham gia của bản sàn bê tông và giả thiết toàn bộ lực cắt đứng do tiết diện dầm thép tiếp nhận. Các công thức xác định khả năng chịu cắt  $V_{Rd}$  theo quy định của từng tiêu chuẩn được trình bày tại Bảng 9.

**Bảng 9. Các công thức xác định khả năng chịu cắt  $V_{Rd}$**

| EC4   | SP 266   |
|---|--|
| $V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_M} \quad (5)$ | $V_{El,Rd} = \frac{I_x \cdot t_w \cdot 0,58 \cdot R_y}{S_x} \quad (6)$ |

Kết quả tính toán định lượng và so sánh tỷ lệ khai thác khả năng chịu cắt giữa hai phương pháp được trình bày chi tiết trong Bảng 10.

**Bảng 10. Tổng hợp kết quả tính toán theo điều kiện chịu cắt**

| Thông số                | EC4                      | SP 266 |
|-------------------------|--------------------------|--------|
| Lực cắt lớn nhất        | $V_{Ed}$ (kN)            | 155,9  |
| Diện tích chịu cắt      | $A_v$ (cm <sup>2</sup> ) | 42,69  |
| Mô men tính ½ tiết diện | S (cm <sup>3</sup> )     | -      |
| Khả năng chịu cắt       | $V_{Rd}$ (kN)            | 708,2  |
|                         | $V_{Ed}/V_{Rd}$          | 579,2  |
|                         |                          | 26,9%  |
|                         |                          | 35,7%  |

Phân tích số liệu từ Bảng 10 cho thấy sự chênh lệch đáng kể về khả năng chịu lực. Cụ thể, khả năng chịu cắt tính theo EC4 ( $V_{pl,Rd} = 579,2$  kN) cao hơn

khoảng 59% so với kết quả tính theo SP 266 ( $V_{Rd} = 364,4$  kN). Nguyên nhân do SP 266 thông qua SP 16 [13] tiếp cận theo sơ đồ làm việc đàn hồi, không chế

ứng suất tiếp cực đại tại trục trung hoà không vượt quá cường độ tính toán. EC4 thông qua EN 1993 [17] cho phép tận dụng sơ đồ làm việc dẻo của vật liệu, chấp nhận toàn bộ diện tích bản bụng tham gia chịu cắt cho đến khi đạt giới hạn chảy. Hệ quả là với cùng một tải trọng thiết kế, tỷ lệ khai thác khả năng chịu cắt của dầm EC4 (26,9%) thấp hơn đáng kể so với SP 266 (35,7%).

**c. Chốt chịu cắt và mức độ liên kết**

Chốt chịu cắt đóng vai trò then chốt trong việc đảm bảo sự làm việc đồng thời giữa dầm thép và bản sàn bê tông thông qua cơ chế truyền lực cắt dọc tại mặt tiếp xúc. Tuy nhiên, hai tiêu chuẩn có cách tiếp cận khác biệt về vấn đề này:

- Đối với EN 1994-1-1: Số lượng chốt được xác định dựa trên lực cắt dọc ( $V_{Lr}$ ) phát sinh do sự thay đổi mô men uốn dọc trục dầm. Tiêu chuẩn này đề cao tính hiệu quả kinh tế bằng cách cho phép thiết kế liên kết không hoàn toàn (với hệ số  $\eta \geq 0,4$ ) và yêu cầu kiểm soát chặt chẽ tính dẻo của chốt thông qua thử nghiệm trượt (Push-out test);
- Đối với SP 266: Việc bố trí chốt chủ yếu phụ thuộc vào lực cắt đứng ( $V_{Ed}$ ) tại các tiết diện kiểm tra. Tiêu chuẩn thiên về giải pháp an toàn truyền thống, mặc định thiết kế với liên kết hoàn toàn ( $\eta = 1$ ) và không yêu cầu các kiểm tra cụ thể về độ trượt hay độ dẻo của liên kết.

Các công thức xác định khả năng chịu cắt của chốt ( $P_{Rd}$ ) theo hai tiêu chuẩn được tổng hợp tại Bảng 11.

**Bảng 11. Các công thức xác định khả năng chịu cắt của chốt**

| EC4  | SP 266  |
|--|---|
| Khả năng chịu cắt theo điều kiện phá hoại bê tông bao quanh $P_{Rd,c}$   |   |
| $P_{Rd,c} = \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} E_{cm}}}{\gamma_v} \quad (7)$   | <p>Với <math>2,5 \leq l/d \leq 4,2</math>:</p> $P_{rd,c} = 0,24 l d_{an} \sqrt{10 R_b} \quad \text{với} \quad (8)$ <p>Với <math>l/d &gt; 4,2</math></p> $P_{rd,c} = d_{an}^2 \sqrt{10 R_b} \quad (9)$ |
| Khả năng chịu cắt theo điều kiện phá hoại chốt thép $P_{Rd,s}$   |   |
| $P_{Rd,s} = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot (\pi d^2 / 4)}{\gamma_v} \quad (10)$   | $P_{rd,s} = 0,063 d_{an}^2 \gamma_c R_y \quad (11)$   |
| a: Hệ số lấy bằng 1,0 nếu $h_{sc}/d \geq 4$ ;<br>d: Đường kính chốt;<br>$\gamma_v$ : Hệ số an toàn riêng cho chốt;<br>$E_{cm}$ : Mô đun đàn hồi của bê tông. | l: Chiều dài của chốt dạng tròn (cm);<br>$d_{an}$ : Đường kính của chốt (cm).   |

Kết quả tính toán định lượng về khả năng chịu lực của chốt và số lượng chốt yêu cầu cho dầm minh họa được trình bày trong Bảng 12.

**Bảng 12. Tính toán chốt chịu cắt**

| Thông số  |               | EC4    | SP 266 |
|---|---------------|--------|--------|
| Khả năng chịu cắt /1 chốt                       | $P_{Rd}$ (kN) | 64,9   | 45,1   |
| Lực cắt đứng                                    | $V_{Ed}$ (kN) | -      | 130,2  |
| Lực trượt dọc (1/2 nhịp)                        | $V_{Lr}$ (kN) | 1985,8 | 1519,5 |
| Số lượng chốt chịu cắt (toàn bộ chiều dài nhịp) | $n_f$ (chốt)  | 62     | 72     |

Phân tích số liệu từ Bảng 12 cho thấy:

Về khả năng chịu cắt của chốt ( $P_{Rd}$ ): Kết quả tính theo EC4 (64,9kN) cao hơn khoảng 43,9% so với SP 266 (45,1 kN). Sự chênh lệch lớn này xuất phát từ việc EC4 sử dụng mô hình phá hoại dẻo (chia giá trị đặc trưng  $f_u, f_{ck}$  chia cho hệ số an toàn riêng ( $\gamma_v = 1,25$ ), trong khi SP266 áp dụng các công thức thực nghiệm với hệ số an toàn cao hơn.

Về số lượng chốt ( $n_f$ ): Mặc dù tổng lực cắt dọc tính toán theo EC4 ( $V_{Lr} = 1985,8$  kN) lớn hơn đáng kể so với SP266 (1519,5 kN), nhưng nhờ khả năng chịu cắt của từng chốt cao hơn, số lượng chốt cần thiết cuối cùng theo EC4 (62 chốt) vẫn thấp hơn 16% so với SP266 (72 chốt) trong trường hợp cùng xét liên kết hoàn toàn. Nếu áp dụng giải pháp liên kết không hoàn toàn cho phép bởi EC4, lượng chốt còn

**QUY CHUẨN - TIÊU CHUẨN**

có thể giảm sâu hơn nữa, mang lại lợi ích lớn về chi phí và tiến độ thi công.

**d. Điều kiện ổn định tổng thể**

Ổn định tổng thể là yêu cầu kiểm tra bắt buộc đối với dầm thép và dầm liên hợp, đặc biệt trong các trường hợp dầm liên tục (vùng mô men âm gây nén cánh dưới không được giữ ổn định). Tuy nhiên, đối với bài toán dầm đơn giản đang khảo sát, trong giai đoạn làm việc liên hợp, bản sàn bê tông cốt thép đóng vai trò là hệ giằng cứng phương ngang liên kết chặt chẽ với cánh nén của dầm thép thông qua hệ thống chốt chịu cắt. Do đó, hiện tượng mất ổn định tổng thể (uốn xoắn ngoài mặt phẳng) được ngăn chặn và không phải là trạng thái giới hạn điều kiện trong trường hợp này.

**e. Điều kiện độ võng**

Độ võng là tiêu chí then chốt quyết định khả năng khai thác và thẩm mỹ của công trình dân dụng. Cả

hai tiêu chuẩn đều tiếp cận bài toán theo mô hình đàn hồi tuyến tính, xác định độ võng dựa trên độ cứng chống uốn tương đương ( $EI_{eff}$ ) của tiết diện liên hợp, song có sự khác biệt về cách xét đến các yếu tố dài hạn:

- Theo EC4: Độ cứng tương đương được giảm trừ thông qua hệ số quy đổi mô đun đàn hồi  $n_L$  (tỷ số  $E_a/E_{c,eff}$ ), cho phép kể đến đồng thời ảnh hưởng của từ biến và co ngót bê tông. Giới hạn độ võng thường áp dụng từ  $L/250$  đến  $L/300$ ;
- Theo SP 266: Ảnh hưởng của tải trọng dài hạn được xét đến thông qua mô đun biến dạng của bê tông ( $E_b$ ) và các hệ số điều kiện làm việc, với giới hạn độ võng cho phép dao động từ  $L/200$  đến  $L/300$  tùy thuộc vào nhịp dầm [11].

Các công thức xác định độ võng theo quy định của hai tiêu chuẩn được tổng hợp trong Bảng 13.

**Bảng 13. Các thành phần độ võng trong giai đoạn sử dụng**

| EC4   | SP 266  |
|---|---|
| $\Delta_{TL} = \Delta_{1,1} + \Delta_{1,2} + \Delta_{2,1} + \Delta_{2,2} + \Delta_{2,3}$ (12) | $\Delta_{TL} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3$ (13) |
| $\Delta_{1,1}$ - độ võng ngay sau khi đổ bê tông;   | $\Delta_1$ - độ võng ngay sau khi đổ bê tông;       |
| $\Delta_{1,2}$ - độ võng do ảnh hưởng ngắn hạn của tải trọng thường xuyên;                    | $\Delta_2$ - độ võng do tác dụng ngắn hạn;          |
| $\Delta_{2,1}$ - độ võng do ảnh hưởng ngắn hạn của tải trọng tạm thời;                        | $\Delta_3$ - độ võng do tác dụng dài hạn.           |
| $\Delta_{2,2}$ - độ võng do từ biến;  |   |
| $\Delta_{2,3}$ - độ võng do co ngót.  |   |

Kết quả tính toán định lượng và đối chiếu với giới hạn cho phép được trình bày tại Bảng 14.

**Bảng 14. Tổng hợp kết quả kiểm tra độ võng**

| Thông số                     |                   | EC4             | SP 266          |
|------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| Độ võng do toàn bộ tải trọng | $\Delta$ (mm)     | 32,7            | 26,1            |
| Độ võng giới hạn             | $[\Delta]$ (mm)   | 36,0<br>(L/250) | 42,8<br>(L/210) |
| Tỉ lệ                        | $\Delta/[\Delta]$ | 90,8%           | 61,0%           |

Phân tích số liệu từ Bảng 14 cho thấy độ võng tính theo EC4 (32,7 mm) lớn hơn khoảng 25,3% so với kết quả của SP266 (26,1 mm). Nguyên nhân của sự chênh lệch này xuất phát từ phương pháp xác định độ cứng uốn tương đương ( $EI_{eff}$ ):

- EC4 sử dụng áp dụng cách tiếp cận bảo thủ hơn khi sử dụng mô đun đàn hồi hiệu quả ( $E_{c,eff}$ ) chịu ảnh hưởng mạnh bởi hệ số từ biến, dẫn đến độ cứng tổng thể của tiết diện quy đổi giảm xuống, làm tăng độ võng tính toán;
- SP 266 xác định độ cứng thông qua mô đun biến dạng  $E_b$  và các hệ số điều kiện làm việc, trong trường

hợp này cho ra độ cứng chống uốn lớn hơn, dẫn đến kết quả độ võng nhỏ hơn.

Cả hai kết quả đều thỏa mãn điều kiện giới hạn cho phép, tuy nhiên sự khác biệt này cần được lưu ý khi thiết kế các cấu kiện nhạy cảm với biến dạng.

**4. Đánh giá ưu điểm, hạn chế của hai tiêu chuẩn**

Kết quả so sánh giữa SP 266 và EC4 cho thấy sự khác biệt không chỉ ở số liệu định lượng mà còn ở triết lý thiết kế và mức độ chi tiết trong các giả thiết nền tảng.

**4.1 Tiêu chuẩn SP 266**

a. Ưu điểm: Tính tương thích cao với hệ thống TCVN hiện hành (SP 16, SP 63), thuận lợi cho kỹ sư

Việt Nam tiếp cận. Mô hình biến dạng phi tuyến được mô tả tường minh, cho phép phân tích chính xác trạng thái ứng suất của các tiết diện phức tạp.

b. Hạn chế: Quan điểm tính toán thiên về an toàn cao (bảo thủ). Việc giới hạn sức kháng cắt dầm thép trong miền đàn hồi và mặc định thiết kế liên kết hoàn toàn dẫn đến chưa tối ưu hóa được chi phí vật liệu và nhân công thi công.

**4.2 Tiêu chuẩn EC4**

a. Ưu điểm: Hiệu quả kinh tế vượt trội nhờ cho phép thiết kế liên kết không hoàn toàn (giảm lượng chốt neo tới 40-50%) và tận dụng tối đa khả năng làm việc dẻo của vật liệu (bản bụng chịu cắt, khối ứng suất nén bê tông). Hệ thống kiểm soát ổn định tổng thể và độ võng dựa trên các mô hình cơ học chặt chẽ.

b. Hạn chế: Quy trình tính toán phức tạp, khối lượng công việc lớn. Đặt ra yêu cầu khắt khe về tính dẻo của vật liệu và cấu tạo liên kết để đảm bảo khả năng phân phối lại nội lực.

**5. Kết luận**

Bài báo đã thực hiện phân tích so sánh thiết kế dầm liên hợp thép – bê tông theo hai tiêu chuẩn là SP 266 và EC4 trên cả phương diện phương pháp thiết kế và kết quả định lượng. Thông qua bài toán minh họa, nghiên cứu rút ra các kết luận sau:

- Về khả năng chịu uốn: Mặc dù giá trị mô men kháng uốn dẻo ( $M_{pl,Rd}$ ) tính theo SP 266 chỉ cao hơn khoảng 6-7% (do kể đến cốt thép vùng nén), nhưng khi xét đến tổ hợp tải trọng thiết kế, tỷ lệ khai thác khả năng chịu lực ( $M_{Ed}/M_{pl,Rd}$ ) giữa hai tiêu chuẩn chênh lệch tới 13%;
- Về khả năng chịu cắt  $V_{Rd}$ : Có sự khác biệt lớn về quan điểm. EC4 tận dụng sơ đồ dẻo của bản bụng thép nên khả năng chịu cắt cao hơn đáng kể (lên đến 59% trong ví dụ này) so với quan điểm tính toán đàn hồi của SP 266;
- Về chốt liên kết: Đây là điểm khác biệt lớn nhất về hiệu quả kinh tế. Do công thức xác định khả năng chịu cắt thấp hơn và yêu cầu liên kết hoàn toàn, SP 266 yêu cầu số lượng chốt cao hơn ít nhất 16% so với EC4 (chưa kể đến khả năng giảm sâu hơn nếu EC4 áp dụng liên kết không hoàn toàn);
- Về độ võng sử dụng: Kết quả tính theo EC4 lớn hơn khoảng 25% so với SP 266 do sự khác biệt trong phương pháp xác định độ cứng tương đương.

**Lời cảm ơn**

Nghiên cứu này được thực hiện với sự hỗ trợ từ Bộ Xây dựng thông qua đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ: “Nghiên cứu xây dựng tiêu chuẩn quốc

gia Thiết kế kết cấu liên hợp thép – bê tông”, mã số TC63-24.

**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., & Tuyên, 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] EN 1994-1 (2009). *Design of composite steel and concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings*. European Committee for Standardization.

[5] ANSI/AISC 360-22 (2022). *Specification for structural steel buildings*. American Institute of Steel Construction.

[6] AS/NZS 2327:2017 (2017). *Composite structures: Composite steel-concrete construction in buildings*. Standards Australia & Standards New Zealand.

[7] SP 266.1325800.2016 (2016). *Konstruktivnye pravila zhelezobetonnykh i zhelezobetonnnykh konstruktsii* [Composite steel and concrete structures. Design rules]. Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation.

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

[9] TCVN 5574:2018 (2018). *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.

[10] TCVN 5575:2024 (2024). *Thiết kế kết cấu thép*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.

[11] SP 20.13330.2016 (2016). *Loads and actions*. Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation.

[12] SP 63.13330.2018 (2018). *Betonnye i zhelezobetonnnye konstruktsii. Osnovnye polozheniya* [Concrete and reinforced concrete structures. General provisions]. Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation.

[13] SP 16.13330.2017 (2017). *Stal'nye konstruktsii* [Steel structures]. Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation.

[14] EN 1990:2002/A1:2005 (2005). *Eurocode: Basis of structural design*. European Committee for Standardization.

[15] EN 1991 series (2002–2006). *Eurocode 1: Actions on structures*. European Committee for Standardization.

[16] EN 1992-1-1:2004 (2004). *Eurocode 2: Design of concrete structures—Part 1-1: General rules and rules for buildings*. European Committee for Standardization.

[17] EN 1993-1-1:2005 (2005). *Eurocode 3: Design of steel structures—Part 1-1: General rules and rules for buildings*. European Committee for Standardization.