

Đề xuất phương pháp tính toán khả năng chịu lực của liên kết cốt cứng của cột vách với dầm sàn BTCT

Propose method to calculate the resistance of the connection of composite column's steel with reinforced concrete beams or slabs

> **ĐINH VĂN TÙNG**

Khoa XDDD và CN, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội.

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp tính toán khả năng chịu lực của liên kết cốt cứng của cột vách với dầm sàn bê tông cốt thép (BTCT) dựa trên tiêu chuẩn châu Âu Eurocode 4 (EC4) và lý thuyết tính toán cơ học công trình. Hiện nay, trong các tiêu chuẩn xây dựng hiện hành của Việt Nam [1] [2] chưa có hướng dẫn tính toán cho kết cấu liên hợp thép - bê tông nói chung và liên kết cốt cứng của cột vách với dầm sàn bê tông cốt thép nói riêng. Vì vậy trong bài báo này, tác giả đề xuất phương pháp tính toán khả năng chịu lực của liên kết cốt cứng của cột vách với dầm sàn BTCT dựa trên tiêu chuẩn EC4 [8] và phần mềm tính toán CSI Column đã được tác giả áp dụng trong dự án thực tế, từ đó, tác giả đưa ra những kiến nghị cho các kỹ sư xây dựng trong việc áp dụng tính toán thiết kế công trình trong thực tế ở Việt Nam được đưa ra trong phần cuối của bài báo này.

Từ khóa: Liên kết; liên hợp thép - bê tông; cốt cứng; đỉnh chịu cắt; Eurocode 4

ABSTRACT

This paper presents a method for calculating the resistance of the connection of composite column's steel with reinforced concrete beams/slabs based on Eurocode 4 (EC4) and the mechanic theory of building. Currently, in VietNam's current standard [1] [2], there are no calculation guidelines for composite columns in general and the connection of composite column's steel with reinforced concrete beams/slabs in particular. So in this article, the author proposes a method to calculate the resistance of the connection of composite column's steel with reinforced concrete beams/slabs based on the European standards EC4 [8] and SCI Column calculation software has been applied by the author in the actual project, from which, the author gives recommendations for civil engineers in applying building design calculations in practice in Vietnam given in the last of this article.

Key words: Connection; composite column; structural steel; headed stud; Eurocode 4

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thời gian gần đây, ở Việt Nam các dự án nhà nhiều tầng được thiết kế và thi công xây dựng trở nên khá phổ biến, đặc biệt các dự án cao tầng và siêu cao tầng ngày càng được triển khai nhiều do nhu cầu của xã hội. Trong đó, khá nhiều dự án sử dụng kết cấu liên hợp thép - bê tông trong các cấu kiện chịu nén như cột, vách để tăng hàm lượng thép và giảm kích thước tiết diện theo yêu cầu của kiến trúc. Kết cấu này tận dụng được đồng thời các ưu điểm về mặt đặc trưng cơ lý của vật liệu thép và bê tông để cùng tham gia chịu lực. Vì vậy, đặc biệt hiệu quả trong trường hợp cột vách yêu cầu bố trí cốt thép có hàm lượng lớn như cột vách liên kết với dầm hoặc bản chuyển. Ngoài ra, sử dụng cốt cứng có thể giảm kích thước tiết diện cột vách, tăng diện tích thông thủy cho các dự án. Tuy nhiên, các tiêu chuẩn hiện hành của Việt Nam [1] [2] chưa có hướng dẫn tính toán cho kết cấu cột vách liên hợp thép - bê tông. Vì vậy, tiêu

chuẩn EC4 [8] có thể được tham khảo và áp dụng trong việc tính toán loại hình kết cấu này.

Hiện nay, ở Việt Nam một số tác giả đã nghiên cứu và biên soạn tài liệu hướng dẫn để cập về kết cấu dầm sàn, cột vách liên hợp thép - bê tông [5] [6]. Tuy nhiên, các tài liệu trên mới chỉ đưa ra phương pháp và ví dụ tính toán về khả năng chịu lực theo tiết diện mặt cắt ngang của cột vách, chưa đi sâu làm rõ việc tính toán khả năng chịu lực của liên kết cốt cứng của cột vách với dầm sàn bê tông cốt thép. Do đó, nghiên cứu phương pháp tính toán khả năng chịu lực của liên kết cốt cứng của cột vách với dầm sàn bê tông cốt thép dựa trên tiêu chuẩn EC4 [8] và lý thuyết tính toán cơ học công trình mang tính cấp thiết. Từ đó, tác giả đưa ra những kiến nghị cho các kỹ sư xây dựng trong việc áp dụng tính toán thiết kế công trình trong thực tế ở Việt Nam.

2. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỦA LIÊN KẾT CỐT CỨNG CỦA CỘT VÁCH VỚI DẦM SÀN BTCT

2.1. Nguyên lý tính toán

Nguyên lý của cốt cứng trong cột vách cũng giống cốt thép mềm là để truyền lực được phải đủ neo, tức là lực kéo hoặc nén trong cốt thép phải truyền được vào vùng bê tông liên kết. Với cốt thép mềm thì chính là lực dính nhân với diện tích bề mặt tiếp xúc của thanh thép với bê tông vùng liên kết còn với cốt cứng thì chính là lực chống trượt do đỉnh chịu cắt tì vào vùng bê tông liên kết.

Đối với các cột vách BTCT sử dụng cốt cứng tại vị trí liên kết với dầm sàn BTCT thì đoạn cốt cứng cắm vào dầm sàn phải đủ để truyền lực từ cốt cứng vào vùng bê tông liên kết. Thông thường, liên kết này phải chịu được ứng lực lớn hơn hoặc bằng ứng lực trong cốt cứng. Như vậy, số lượng đỉnh chịu cắt bố trí trong đoạn cốt cứng cắm trong dầm sàn phải chịu được ứng lực trong thép hình.

2.2. Các giả thiết cơ bản

Khi tính toán toán kết cấu cột vách liên hợp thép - bê tông, tiêu chuẩn EC4 [8] dựa trên các giả thiết cơ bản sau: Tiết diện phẳng, nghĩa là sau khi biến dạng tiết diện vẫn được coi là phẳng; sự liên kết giữa thép và bê tông được đảm bảo cho đến khi cột bị phá hoại; bỏ qua cường độ chịu kéo của bê tông; nội lực tác dụng phân bố tuyến tính.

Khi tính toán liên kết cốt cứng của cột vách với dầm sàn bê tông cốt thép giả thiết tiết diện thép hình là tuyệt đối cứng khi phân phối ứng lực trong thép hình đến đỉnh chịu cắt.

2.3. Trình tự tính toán

Phương pháp tính toán mà tác giả đề xuất được thực hiện theo trình tự sau:

- + Xác định nội lực tác dụng vào cốt cứng;
- + Phân phối nội lực tác dụng vào đỉnh chịu cắt;
- + Xác định khả năng chịu cắt của một đỉnh chịu cắt;
- + Kiểm tra khả năng chịu lực của đỉnh chịu cắt.

2.4. Xác định nội lực tác dụng vào cốt cứng

Trong phương pháp này, tác giả sử dụng phần mềm tính toán kết cấu Etabs để mô hình tổng thể công trình và xác định được nội lực tác dụng lên cột vách. Từ đó, nhập thông tin về kích thước tiết diện, thép hình, cốt thép thường và nội lực của vách vào phần mềm tính toán CSI Column và xác định được ứng suất xuất hiện trong cốt cứng.

Giá trị nội lực tác dụng lên cốt cứng (N_c , M_{cx} , M_{cy}) được xác định theo các công thức (1),(2),(3):

$$\sigma_{\max} = \frac{N_c}{A} + \frac{M_{cx}}{W_x} + \frac{M_{cy}}{W_y} \quad (1)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{N_c}{A} - \frac{M_{cx}}{W_x} - \frac{M_{cy}}{W_y} \quad (2)$$

$$\frac{N_c}{A} = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (3)$$

trong đó:

$\sigma_{\max}$, $\sigma_{\min}$: là ứng suất lớn nhất, ứng suất nhỏ nhất xuất hiện trong cốt cứng;

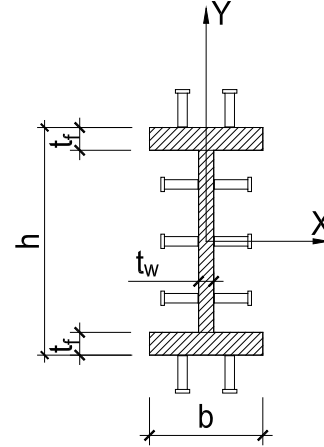
M_{cx} , M_{cy} : là mô men uốn quanh các trục tương ứng X, Y tác dụng lên cốt cứng;

W_x , W_y : là độ cứng chống uốn quanh các trục tương ứng X, Y của tiết diện cốt cứng;

N_c : là lực dọc tác dụng lên cốt cứng;

A: diện tích mặt cắt ngang của cốt cứng.

Tiết diện mặt cắt ngang cốt cứng điển hình của cột vách liên hợp thép - bê tông có bố trí đỉnh chịu cắt thể hiện trên Hình 1:



Hình 1. Tiết diện ngang cốt cứng

2.5. Phân phối nội lực tác dụng vào đỉnh chịu cắt

- Trường hợp cốt cứng chịu nén ($N_c > 0$)

Lực tác dụng lên mỗi hàng đỉnh P_i được xác định theo công thức:

$$P_i = \frac{N_{cd}}{n} \pm \frac{M_{cx}y}{\sum_{i=1}^n y_i^2} \pm \frac{M_{cy}x}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (4)$$

trong đó:

n : là số hàng đỉnh;

x , y : là tọa độ hàng đỉnh cần tính;

x_i , y_i : là tọa độ hàng đỉnh thứ i ;

N_{cd} : là lực cắt dọc tác dụng lên đỉnh chịu cắt, được xác định

theo công thức sau:

$$N_{cd} = N_c - N_{cb} \quad (5)$$

N_{cb} : là khả năng chịu nén cục bộ của bê tông, được tham khảo theo công thức (6.63) trong Eurocode 2 [7]:

$$N_{cb} = 3Af_{cd} \quad (6)$$

trong đó:

f_{cd} : là cường độ chịu nén tính toán của bê tông theo tiêu

chuẩn Eurocode 2 [7];

A: là diện tích mặt cắt ngang của cốt cứng.

- Trường hợp cốt cứng chịu kéo ($N_c < 0$)

Lực tác dụng lên mỗi hàng đỉnh P_i được xác định theo công thức:

$$P_i = \frac{N_c}{n} \pm \frac{M_{cx}y}{\sum_{i=1}^n y_i^2} \pm \frac{M_{cy}x}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (7)$$

2.6. Xác định khả năng chịu cắt của một đỉnh chịu cắt

Khả năng chịu cắt của một đỉnh chịu cắt P_u được xác định theo các công thức (6.18), (6.19) trong tiêu chuẩn EC4 [8] như sau:

$$P_{u1} = \frac{0,8f_u\pi d^2/4}{\gamma_v} \quad (8)$$

$$P_{u2} = \frac{0,29\alpha d^2\sqrt{f_{ck}E_{cm}}}{\gamma_v} \quad (9)$$

$$P_u = \min(P_{u1}; P_{u2}) \quad (10)$$

Với:

$$\alpha = 0,2 \left(\frac{h_{sc}}{d} + 1 \right) \text{ nếu } 3 \leq h_{sc} / d \leq 4;$$

$$\alpha = 1 \text{ nếu } h_{sc} / d \geq 4.$$

trong đó:

γ_v : là hệ số, lấy bằng 1,25;

d: là đường kính đỉnh chịu cắt, $16\text{mm} \leq d \leq 25\text{mm}$;

f_u : là giới hạn bền của vật liệu đỉnh chịu cắt, không lớn hơn 500 N/mm^2 ;

f_{ck} : là cường độ chịu nén đặc trưng của bê tông theo Eurocode 2 [7], với bê tông có dung trọng không nhỏ hơn 1750 daN/m^3 ;

h_{sc} : là chiều dài đỉnh chịu cắt.

Khả năng chịu cắt của 1 hàng đỉnh được xác định theo công thức:

$$[P] = m \times P_u \quad (11)$$

trong đó:

m: là số lượng đỉnh trong 1 hàng;

[P]: là khả năng chịu cắt của 1 đỉnh.

Kiểm tra khả năng chịu lực của đỉnh chịu cắt:

$$|P_i| \leq [P] \quad (12)$$

với P_i là lực cắt tác dụng lên hàng đỉnh thứ i.

3. THÍ DỤ TÍNH TOÁN TRONG CÔNG TRÌNH THỰC TẾ

Thí dụ tính toán được tác giả lấy trong quá trình tính toán kiểm tra chi tiết cột vách trong công trình thực tế đã được xây dựng. Đó là công trình "Khu căn hộ quảng trường vịnh đảo (Lô đất CT-06)" thuộc khu đô thị Thương mại & Du lịch Văn Giang huyện Văn Giang tỉnh Hưng Yên. Thông số quy mô chính của dự án như sau:

- Số tầng hầm: 02 tầng; số tầng nổi: 41 tầng
- Số kết cấu bản chuyển nhịp lớn: 03
- Nhịp kết cấu bản chuyển: 20-46m



Hình 2. Hình ảnh thi công vữa liên hợp

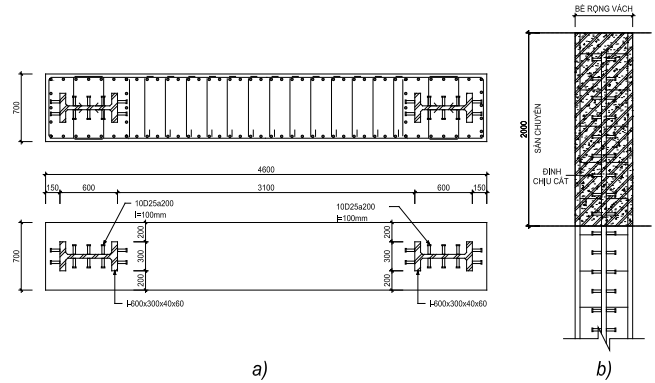


Hình 3. Phối cảnh tổng thể dự án

3.1. Thí dụ 1 - Trường hợp cốt cứng chịu nén:

Cho một vách liên hợp thép - bê tông tiết diện hình chữ nhật chịu lực trong một tầng của một tòa nhà cao tầng với các số liệu: $b \times h = 700 \times 4600 \text{ (mm)}$, thép hình I600x300x40x60 (mm), cốt thép thường bố trí 92Ø32. Bê tông cấp bền B45, thép hình có cường độ tiêu chuẩn $f_y = 345 \text{ MPa}$, đỉnh chống cắt có giới hạn bền $f_u = 500 \text{ MPa}$, cốt thép thường mác CB500-V. Nội lực tác dụng tại tiết diện đầu vách (vị trí liên kết cốt cứng với dầm chuyển): $N = 70500 \text{ kN}$, $M_x = -3000 \text{ kN.m}$, $M_y = 60000 \text{ kN.m}$.

Kiểm tra khả năng chịu lực của liên kết kết cốt cứng của vách với dầm sàn BTCT.

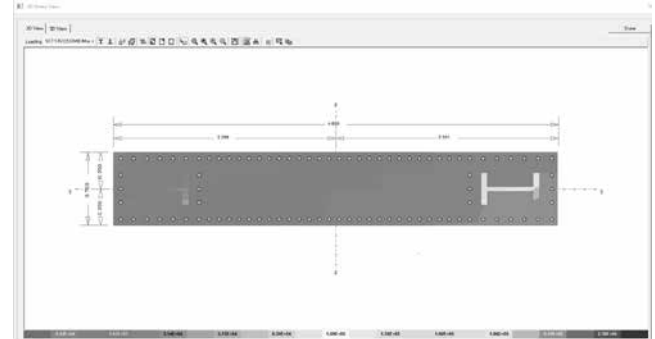


Hình 4. Chi tiết vách liên hợp Thí dụ 1

a) Mật cắt ngang; b) Mật cắt đứng

Kết quả tính toán Thí dụ 1:

Giá trị ứng suất xuất hiện trong cốt cứng được thể hiện trong hình 5:



Hình 5. Giá trị ứng suất xác định trong phần mềm CSI Column

Giá trị ứng suất xuất hiện trong cốt cứng: $\sigma_{\max} = 212 \text{ Mpa}$,

$$\sigma_{\min} = 135 \text{ Mpa}$$

Trong trường hợp này cốt cứng chịu nén.

Trình tự tính toán khả năng chịu lực của liên kết kết cốt cứng của vách với dầm sàn BTCT được trình bày ở mục 2 của bài báo. Kết quả tính toán được trình bày trong bảng sau:

Bảng 1. Kết quả tính toán Thí dụ 1

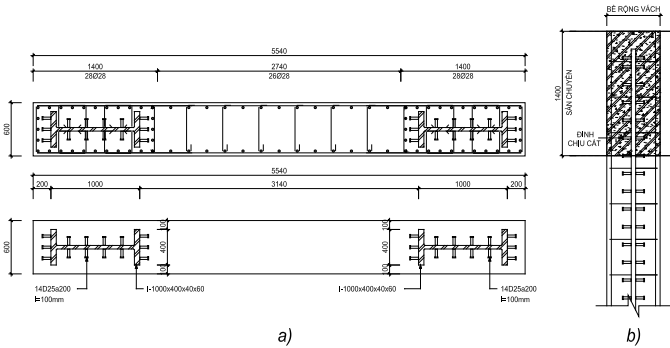
Hàng đỉnh	$x_i \text{ (mm)}$	$y_i \text{ (mm)}$	$P_i \text{ (kN)}$	$[P] \text{ (kN)}$
1	-62.5	-300	306.9	1413.7
2	62.5	-300	779.9	1413.7
3	-20	-150	470.9	1413.7
4	20	-150	622.3	1413.7
5	-20	0	474.1	1413.7
6	20	0	625.5	1413.7
7	-20	150	477.3	1413.7
8	20	150	628.7	1413.7
9	-62.5	300	319.7	1413.7
10	62.5	300	792.7	1413.7

Từ Bảng 1 có thể thấy liên kết đảm bảo khả năng chịu lực và các đỉnh chống cắt có nội lực phân bố không đều do ảnh hưởng của mô men lệch tâm trong thép hình.

3.2. Thí dụ 2 - Trường hợp cốt cứng chịu kéo:

Cho một vách liên hợp thép - bê tông tiết diện hình chữ nhật chịu lực trong một tầng của một tòa nhà cao tầng với các số liệu: $b \times h = 600 \times 5540$ (mm), thép hình I1000x400x40x60 (mm), cốt thép thường bố trí 86Ø28. Bê tông cấp bền B45, thép hình có cường độ tiêu chuẩn $f_y = 345$ MPa, đỉnh chống cắt có giới hạn bền $f_u = 500$ MPa, cốt thép thường mác CB500-V. Nội lực tác dụng tại tiết diện đầu vách (vị trí liên kết cốt cứng với dầm chuyển): $N = 48870$ kN, $M_x = 7750$ kN.m, $M_y = -85300$ kN.m.

Tính toán khả năng chịu lực của liên kết kết cốt cứng của vách với dầm sàn BTCT.

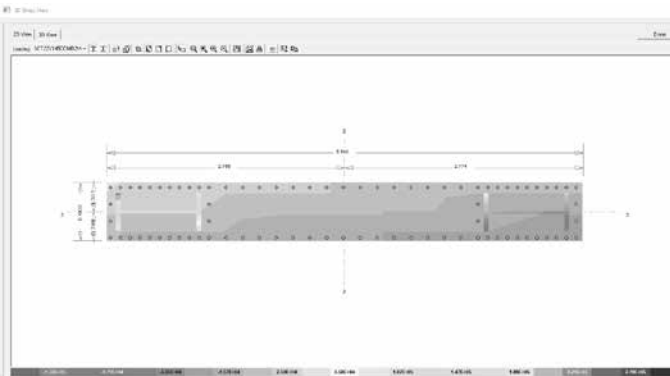


Hình 6. Chi tiết vách liên hợp Thí dụ 2

b) Mặt cắt ngang; b) Mặt cắt đứng

Kết quả tính toán Thí dụ 2:

Giá trị ứng suất xuất hiện trong cốt cứng được thể hiện trong hình 5:



Hình 7. Giá trị ứng suất xác định trong phần mềm CSI Column

Giá trị ứng suất xuất hiện trong cốt cứng: $\sigma_{\max} = -138$ Mpa,

$$\sigma_{\min} = -15.7 \text{ Mpa}$$

Trong trường hợp này cốt cứng chịu kéo.

Trình tự tính toán khả năng chịu lực của liên kết kết cốt cứng của vách với dầm sàn BTCT được trình bày ở mục 2 của bài báo. Kết quả tính toán được trình bày trong bảng sau:

Bảng 2. Kết quả tính toán Thí dụ 2

Hàng đỉnh	x_i (mm)	y_i (mm)	P_i (kN)	[P] (kN)
1	-125	-500	-81.9	942.5
2	0	-500	-459.3	942.5
3	125	-500	-836.6	942.5
4	20	-300	-518.6	942.5
5	-20	-300	-397.9	942.5
6	20	-100	-517.6	942.5
7	-20	-100	-396.8	942.5

8	20	100	-516.6	942.5
9	-20	100	-395.8	942.5
10	20	300	-515.5	942.5
11	-20	300	-394.8	942.5
12	-125	500	-76.8	942.5
13	0	500	-454.1	942.5
14	125	500	-831.5	942.5

Từ Bảng 2 có thể thấy liên kết đảm bảo khả năng chịu lực và các đỉnh chống cắt có nội lực phân bố không đều do ảnh hưởng của mô men lệch tâm trong thép hình. Trường hợp này toàn bộ đỉnh chống cắt chịu tác dụng của ứng lực trong thép hình.

4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày phương pháp tính toán khả năng chịu lực của liên kết kết cốt cứng của cột vách liên hợp thép - bê tông với dầm sàn BTCT dựa trên tiêu chuẩn Eurocode 4 và lý thuyết tính toán cơ học công trình. Từ các kết quả của bài báo, có thể đưa ra kết luận sau:

- Phương pháp tính toán kiểm tra liên kết cốt cứng của cột vách liên hợp thép - bê tông với dầm sàn BTCT tác giả trình bày trong bài báo dựa trên tiêu chuẩn EC4 [8] và cơ sở khoa học rõ ràng đã được kiểm chứng trong công trình cao tầng thực tế.

- Lực cắt tác dụng vào đỉnh chịu cắt rất lớn, khó kiểm soát, do đó việc tính toán và kiểm tra khả năng chịu lực của liên kết này là quan trọng và cần thiết, ảnh hưởng lớn đến khả năng làm việc của cột vách liên hợp thép bê tông. Liên kết này cần được nghiên cứu, hướng dẫn, xem xét tính toán kỹ lưỡng trong thiết kế Kết cấu công trình đảm bảo an toàn tổng thể cho các công trình xây dựng đặc biệt là nhà cao tầng;

Tiêu chuẩn hiện hành của Việt Nam [1] [2] chưa hướng dẫn tính toán Kết cấu liên hợp thép - bê tông. Tiêu chuẩn EC4 [8] mới chỉ đưa ra lý thuyết chung tính toán Kết cấu liên hợp thép - bê tông và chưa hướng dẫn cụ thể tính toán liên kết cốt cứng của cột vách liên hợp với dầm sàn BTCT. Do đó, phương pháp tính toán liên kết cốt cứng của cột vách liên hợp với dầm sàn BTCT được trình bày trong bài báo đã được kiểm chứng trong dự án thực tế. Các kỹ sư xây dựng có thể cần nhắc áp dụng phương pháp này đảm bảo cơ sở khoa học trong việc thiết kế các công trình tại Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 5574:2018 (2018), *Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép*, NXB Xây dựng, Hà Nội.
- [2] Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 5575:2012 (2012), *Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép*, NXB Xây dựng, Hà Nội.
- [3] Phan Quang Minh, Ngô Thế Phong, Nguyễn Trường Thắng và Võ Mạnh Tùng, *Kết cấu bê tông cốt thép (Phần cấu kiện cơ bản)*, NXB Khoa học và Kỹ thuật (2023).
- [4] Lê Bá Huế, Phan Minh Tuấn và Nguyễn Đăng Nguyên, *Khung bê tông cốt thép toàn khối*, NXB Khoa học và Kỹ thuật (2023).
- [5] Phạm Văn Hội, *Kết cấu liên hợp thép bê tông dùng trong nhà cao tầng*, NXB Khoa học và Kỹ thuật. (2019).
- [6] Nguyễn Xuân Huy, Nguyễn Hoàng Quân, *Tính toán kết cấu liên hợp thép - bê tông theo tiêu chuẩn Eurocode 4*, NXB Xây dựng. (2017).
- [7] Eurocode 2 (2006), *Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings*, European Committee for Standardization, Brussels.
- [8] Eurocode 4 (2004), *Design of composite steel and concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings*.