

ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỦA CỘT NHÔM CHỮ C TẠO HÌNH NGUỘI THEO TIÊU CHUẨN AUSTRALIA/NEW ZEALAND

EVALUATION OF CAPACITIES OF COLD-ROLLED ALUMINIUM ALLOY COLUMNS ACCORDING TO THE AUSTRALIAN/NEW ZEALAND ALUMINIUM STANDARD

PHẠM NGỌC HIẾU^{a,*}

^aKhoa Xây dựng, Đại học Kiến trúc Hà Nội

*Tác giả đại diện: e-mail: hieupn@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 23/10/2022, Sửa xong: 18/11/2022, Chấp nhận đăng: 26/11/2022

Tóm tắt: Nhôm tạo hình nguội là một sản phẩm mới được chế tạo bằng cách tận dụng hệ thống cuộn của thép tạo hình nguội với hai tiết diện điển hình là chữ C và chữ Z. Các sản phẩm mới này đã chứng minh tiết kiệm được thời gian và chi phí trong chế tạo. Việc thiết kế loại nhôm tạo hình nguội này cũng chưa được đề cập trong các tiêu chuẩn nhôm hiện hành trên thế giới. Nghiên cứu về ứng xử và khả năng chịu lực của loại cấu kiện mới này do đó cũng đã được tiến hành và đã có những kết quả ban đầu về cột nhôm chữ C tạo hình nguội khi xảy ra mất ổn định tổng thể. Các nghiên cứu này được thực hiện tại Australia. Do đó, bài báo sẽ đi thu thập các số liệu về cột nhôm này, và các số liệu này sau đó được so sánh với các kết quả tính toán từ tiêu chuẩn nhôm của Australia. Việc so sánh này được thực hiện bằng cách sử dụng phương pháp phân tích độ tin cậy được quy định trong tiêu chuẩn Hoa Kỳ, làm cơ sở cho việc đánh giá độ chính xác của tiêu chuẩn kết cấu nhôm Australia/New Zealand trong thiết kế cột nhôm tạo hình nguội khi xảy ra mất ổn định tổng thể. Kết quả so sánh đã cho thấy rằng tiêu chuẩn Australia đưa ra các kết quả tính toán mang tính không an toàn cho cấu kiện cột nhôm chữ C tạo hình nguội.

Từ khóa: Đánh giá; Tiêu chuẩn Nhôm Australia/New Zealand; Cột nhôm chữ C tạo hình nguội.

Abstract: The cold-rolled aluminium sections are the new products made by utilising the existing cold-rolling system for cold-formed steel sections with two typical sections of channel and Zed sections. These new products have been demonstrated to save time and cost in manufacturing. The design of the cold-rolled aluminium members has been not regulated by any standards in the world. Research studies on behaviors and strengths of these members, therefore, have been carried out and original results on cold-rolled aluminium channel columns undergoing global buckling have been obtained. These studies were conducted in Australia.

Therefore, the paper will collect these study results on cold-rolled aluminium channel columns, and these results are subsequently compared with the capacities from the Australian Aluminium Standard. The comparisons are carried out by using the reliability analysis as regulated in the American Aluminum Specification; this will be the base to evaluate the Australian/New Zealand Aluminium Standard in the design of cold-rolled aluminium alloy channel columns undergoing global buckling. It is found that the Australian standard provides un-conservative predictions for cold-rolled aluminium channel columns.

Keywords: Evaluation; Australian/New Zealand Aluminium Standard; Cold-rolled aluminium alloy channel columns.

1. Đặt vấn đề

Kết cấu nhôm được coi là loại kết cấu khá mới mẻ trong các công trình xây dựng mà có các ưu điểm vượt trội về tính nhẹ và khả năng chống ăn mòn tốt [1]. Loại kết cấu này được sử dụng cho công trình xây dựng ở môi trường biển với các yêu cầu cao về khả năng chống ăn mòn hoặc cho các mái không gian mà ưu tiên tính nhẹ thuận tiện cho việc chế tạo thi công và lắp dựng [2]. Nó được dùng làm kết cấu cho các hệ thống băng tải vận chuyển vật liệu than đá từ trong lòng đất ra đến cảng biển [2]. Hệ thống băng tải này dài từ 50-100 km bao gồm nhiều mô đun nó được liên kết với nhau. Hệ thống này có thể vận chuyển từ vị trí này sang vị trí khác một cách dễ dàng nhờ tính nhẹ của vật liệu nhôm. Đồng thời, khả năng chống ăn mòn cao cho phép chúng có thể được sử dụng trong các môi trường khắc nghiệt [3]. Kết cấu này cũng được dùng cho các kết cấu nhà nhịp lớn, như kết cấu mái của công trình Interamerican Center tại San Paolo, Brazil hay mái vòm "Spuce Goose" ở Hoa Kỳ mà được biết đến là mái vòm nhôm có đường kính lớn nhất thế giới.

Về phương pháp chế tạo, cấu kiện nhôm có thể được chế tạo bằng hai phương pháp cơ bản là cán

nóng và tạo hình nguội. Cán nóng là phương pháp đã được sử dụng từ lâu và phổ biến trên thế giới, trong khi đó gần đây phương pháp tạo hình nguội được áp dụng bằng cách tận dụng hệ thống máy cán nguội của cầu kiện thép và đã chế tạo thành công tiết diện nhôm tạo hình nguội với hai dạng tiết diện cơ bản là chữ C và chữ Z. Phương pháp tạo hình nguội đã cho thấy tiết kiệm hơn được thời gian, năng lượng và chi phí trong sản xuất so với phương pháp cán nóng, nên loại tiết diện này nhận được sự quan tâm của nhà sản xuất cũng như nhà đầu tư.

Về thiết kế, các tiêu chuẩn hiện hành của kết cấu nhôm trên thế giới được xây dựng trên cơ sở các nghiên cứu về nhôm cán nóng, chưa có quy định riêng cho loại kết cấu nhôm tạo hình nguội. Các nghiên cứu về loại tiết diện mới này cũng được quan tâm và thực hiện, có thể kể đến là một dự án nghiên cứu về ứng xử và cường độ của cầu kiện nhôm tạo hình nguội được thực hiện tại Đại học Sydney, Australia với số hiệu LP140100863. Dự án đã đưa ra những kết quả ban đầu về ứng xử và khả năng chịu lực của cầu kiện nhôm tạo hình nguội. Chi tiết có thể tìm hiểu thêm trong tài liệu [4]. Một số kết quả về khả năng chịu lực của cầu kiện cột nhôm tạo hình nguội của dự án được thu thập trong báo cáo này với trường hợp cột bị phá hoại do mất ổn định tổng thể. Các kết quả thu thập này làm cơ sở để so sánh với các tính toán khả năng chịu lực của cầu kiện nhôm

theo tiêu chuẩn Australia/New Zealand AS/NZS 1664.1.1997 [5]. Các so sánh này được thực hiện dựa trên cơ sở phân tích độ tin cậy làm căn cứ cho đánh giá mức độ chính xác của các tiêu chuẩn nhôm AS/NZS 1664.1.1997 hiện hành trong thiết kế cột nhôm tạo hình nguội khi xảy ra mất ổn định tổng thể.

2. Tóm tắt và thu thập số liệu nghiên cứu về cột nhôm tạo hình nguội

Nghiên cứu nhôm về cột nhôm tạo hình nguội được thực hiện tại Đại học Sydney, Australia. Mô hình thí nghiệm được đưa ra như hình vẽ với tiết diện sử dụng dạng chữ C được lấy từ các tiết diện thực tế trên thị trường [2]. Tiết diện trên hình thí nghiệm là loại C10030, trong đó C là biểu thị của tiết diện chữ C, kích thước 100 là chiều cao danh nghĩa cao 100 mm, số “30” sau đó biểu thị chiều dày của tiết diện là 3,0mm. Điều kiện biên được thiết kế cho hai trường hợp, bao gồm dạng 1 là cầu kiện có thể xoay theo trục khỏe và dạng 2 là cầu kiện có thể xoay quanh trục khỏe. Chi tiết về các điều kiện biên này được trình bày trong báo cáo của dự án [4]. Nghiên cứu đã thực hiện các thí nghiệm và phát triển các mô hình mô phỏng dựa trên các tiết diện chữ C trên thị trường [2]. Chiều dài cầu kiện được thay đổi và đủ lớn để thu được các giá trị về khả năng chịu lực của cầu kiện cột khi xảy ra hiện tượng mất ổn định tổng thể. Chi tiết về các cầu kiện và khả năng chịu lực thu thập lấy từ phần phụ lục báo cáo của dự án [4].



Hình 1. Mô hình thí nghiệm cho cầu kiện chịu nén



Hình 2. Dạng mất ổn định tổng thể uốn-xoắn khi chịu nén

3. Khả năng chịu lực của cấu kiện cột nhôm theo tiêu chuẩn Australia

3.1. Tiêu chuẩn kết cấu nhôm Australia/New Zealand AS/NZS 1664.1.1997 cho cấu kiện chịu nén

Theo tiêu chuẩn AS/NZS 1664.1: 1997 [5], khả năng chịu lực do nén khi mất ổn định tổng thể của cấu kiện được xác định bằng cách lấy ứng suất thiết kế tới hạn (F_L) nhân với diện tích tiết diện (A_g) như công thức sau:

$$N_{AS/NZS} = F_L A_g \quad (1)$$

F_L được xác định như sau:

$$\text{Khi } \lambda \leq S_1^*: \quad F_L = \varphi_{cc} F_{cy} \quad (2)$$

$$\text{Khi } S_1^* < \lambda < S_2^*: \quad F_L = \varphi_{cc} (B_c - D_c \lambda) \quad (3)$$

$$\text{Khi } \lambda \geq S_2^*: \quad F_L = \left(\varphi_{cc} / \lambda^2 \right) F_{cy} \quad (4)$$

trong đó

S_1^* , S_2^* là các giới hạn độ mảnh;

$$\varphi_{cc} = 1 - 0,21\lambda \quad \text{khi } \lambda \leq 1,2;$$

$$\varphi_{cc} = 0,14\lambda + 0,58 \leq 0,95 \quad \text{khi } \lambda > 1,2;$$

λ là giá trị độ mảnh tương đương.

$$\lambda = \left(\frac{kL}{r} \right) \left(\frac{1}{\pi} \right) \sqrt{\frac{F_{cy}}{E}} \quad (5)$$

trong đó k là hệ số chiều dài tính toán; r là bán kính quán tính của tiết diện; F_{cy} là giới hạn chảy chịu nén.

3.2. Xác định khả năng chịu lực của cột nhôm theo tiêu chuẩn AS/NZS 1664.1.1997

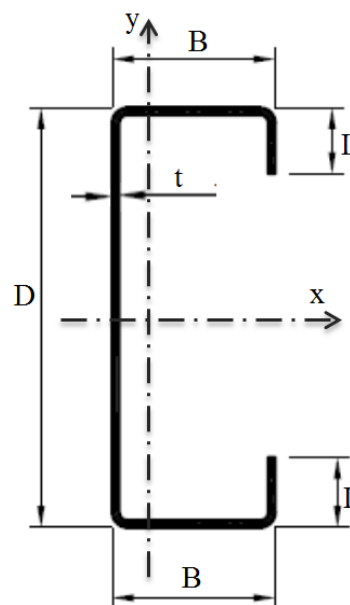
Bài báo sẽ đưa ra một ví dụ cụ thể cho tính toán một cấu kiện chịu nén tính toán theo Tiêu chuẩn Australia/New Zealand AS/NZS 1664.1.1997. Sau đó được tính toán tương tự cho các cấu kiện cột khác, kết quả tính toán được đưa ra trong nghiên cứu báo cáo đề tài của Phạm [6].

Ví dụ tính toán ở đây xác định khả năng chịu lực của cột nhôm C10030 chiều dài 4,15 m theo Tiêu chuẩn Australia, bao gồm các số liệu tính toán sau: kích thước của tiết diện C10030 bao gồm chiều cao $D = 105$ mm; chiều rộng $B = 60,5$ mm; chiều dài sườn

biên $L = 16$ mm; chiều dày tiết diện $t = 3,0$ mm; bán kính trong các góc uốn $r_{inner} = 5$ mm (xem các đặc trưng hình học tiết diện trên Hình 3). Điều kiện biên xét đến trong ví dụ là cột bị ngàm theo phương trục yếu (trục y-y) và liên kết khớp theo phương trục khỏe (trục x-x), và không được phép xoắn tự do theo trục Z. Do đó, các hệ số chiều dài tính toán được lấy như sau: $k_x = 1,0$; $k_y = k_z = 0,5$.

Các đặc trưng hình học được tính toán sử dụng phần mềm hỗ trợ THIN-WALL-2 [7] bao gồm: $A_g = 706$ mm²; $I_x = 1295000$ mm⁴; $I_y = 350000$ mm⁴; $J = 2100$; $C_w = 7,9 \times 10^8$; $r_x = 42,82$ mm; $r_y = 22,27$ mm, tâm cắt $x_0 = 48,4$ mm tính từ trọng tâm tiết diện. Ứng suất mất ổn định cục bộ cũng được xác định từ phần mềm THIN-WALL-2 có giá trị $F_e = 302$ MPa. Giá trị ứng suất mất ổn định cục bộ rất lớn, nên bỏ qua ảnh hưởng của mất ổn định cục bộ đến khả năng chịu lực của cấu kiện cột nhôm trong tính toán.

Nhôm hợp kim thuộc loại H5052 có các đặc trưng vật liệu được lấy từ số liệu của dự án [4], bao gồm $F_{cy} = 198$ MPa; $F_{tu} = 267$ MPa; $E = 70000$ MPa; $G = 26250$ MPa.



Hình 3. Các đặc trưng hình học của tiết diện chữ C

- Ứng suất giới hạn F_L : được xác định theo Mục 3.4.8 trong Tiêu chuẩn này.

Xác định các độ mảnh giới hạn:

$$S_1^* = \frac{B_c - \frac{F_{cy}}{k_c}}{D_c^*} = \frac{231,54 - \frac{198}{1}}{96,339} = 0,348 \quad (k_c = 1,0)$$

$$S_2^* = \frac{C_c}{\pi} \sqrt{\frac{F_{cy}}{E}} = \frac{94,645}{\pi} \sqrt{\frac{198}{70000}} = 1,602$$

trong đó B_c , C_c và D_c được xác định theo Bảng 3.3 (C) của Tiêu chuẩn.

$$B_c = F_{cy} \left(1 + \left(\frac{F_{cy}}{6900} \right)^{1/2} \right) = 198 \times \left(1 + \left(\frac{198}{6900} \right)^{1/2} \right) = 231,54;$$

$$D_c = \frac{B_p}{20} \left(\frac{6B_c}{E} \right)^{0,5} = \frac{231,54}{20} \left(\frac{6 \times 231,54}{70000} \right)^{0,5} = 1,63;$$

$$C_c = \frac{2B_c}{3D_c} = \frac{2 \times 231,54}{3 \times 1,63} = 94,65;$$

$$D_c^* = \pi D_c \sqrt{E / F_{cy}} = \pi \times 1,63 \sqrt{70000 / 198} = 96,34$$

Xác định độ mảnh tương đối λ theo các trục x, y và z:

$$\lambda_x = \left(\frac{k_x L}{\pi r_x} \right) \sqrt{\frac{F_{cy}}{E}} = \left(\frac{1,0 \times 4150}{\pi \times 42,82} \right) \sqrt{\frac{198}{700000}} = 1,640$$

$$\lambda_y = \left(\frac{k_y L}{\pi r_y} \right) \sqrt{\frac{F_{cy}}{E}} = \left(\frac{0,5 \times 4150}{\pi \times 22,27} \right) \sqrt{\frac{198}{700000}} = 1,497$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{F_{cy}}{F_e}} = \sqrt{\frac{198}{41,19}} = 2,192$$

trong đó F_e là ứng suất mất ổn định tổng thể do uốn-xoắn, được xác định như sau:

$$\begin{aligned} F_e &= \frac{1}{2\beta} \left[(F_{ey} + F_{tb}) - \sqrt{(F_{ey} + F_{tb})^2 - 4\beta F_{ey} F_{tb}} \right] \\ &= \frac{1}{2 \times 0,498} \left[(88,163 + 52,298) - \sqrt{(88,163 + 52,298)^2 - 4 \times 0,498 \times 88,163 \times 52,298} \right] \\ &= 41,19 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(k_y L / r_y)^2} = \frac{\pi^2 \times 70000}{(0,5 \times 4150 / 22,27)^2} = 88,163 \text{ MPa};$$

$$\beta = 1 - (x_0 / r_0)^2 = 1 - (48,4 / 68,35)^2 = 0,498;$$

$$r_0 = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_0^2} = \sqrt{42,82^2 + 22,27^2 + 48,4^2} = 68,35 \text{ mm};$$

$$\begin{aligned} F_{tb} &= \frac{1}{A r_0^2} \left(GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(k_z L)^2} \right) = \frac{1}{706 \times 68,35^2} \left(26250 \times 2100 + \frac{\pi^2 \times 70000 \times 7,9 \times 10^8}{(0,5 \times 4150)^2} \right) \\ &= 52,298 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Độ mảnh tương đối $\lambda = \text{Min}(\lambda_x; \lambda_y; \lambda_z) = 2,192$.

Với $\lambda > S_2^*$ nên ứng suất giới hạn F_L được xác định bằng:

$$F_L = F_{cy} / \lambda^2 = 198 / (2,192)^2 = 41,19 \text{ MPa}$$

- Khả năng chịu lực danh nghĩa của cột được xác định bằng giá trị ứng suất giới hạn F_L nhân với diện tích tiết diện (A_g):

$$N_{AS/NZS} = F_L A_g = 41,19 \times 706 = 29080 \text{ Nmm} = 29,08 \text{ kN}$$

4. So sánh giá trị khả năng chịu lực thu thập và khả năng chịu lực tính toán từ tiêu chuẩn AS/NZS 1664.1.1997

Các giá trị về khả năng chịu lực của cấu kiện cột thu thập từ nghiên cứu [4] được sử dụng để so sánh với các giá trị thiết kế từ tiêu chuẩn Australia/New Zealand AS/NZS 1664.1.1997 [5] trên cơ sở phương pháp thiết kế theo hệ số tải trọng và hệ số độ bền (Load and resistance factor design method -LRFD) được quy định tại Tiêu chuẩn nhôm của Hoa Kỳ [8] trong phân tích độ tin cậy. Phương pháp này dựa trên hai thông số của số liệu phân tích là giá trị trung bình và hệ số độ lệch chuẩn để xác định ra hệ số độ tin cậy (β). Chi tiết của phương pháp này được trình bày trong tài liệu của Nowak và Collins [9]. Phương pháp này đã được áp dụng trong các nghiên cứu về thép không gỉ ([10], [11]) và nhôm hợp kim ([12], [13]).

Dựa trên hệ số độ tin cậy (β) được lấy bằng 2,5 cho cột [8], hệ số chịu lực (ϕ) được xác định theo công thức (6) với cặp tổ hợp nội lực được lấy [1,2G+1,5Q], trong đó G và Q là các giá trị tĩnh tải và hoạt tải; M_m , F_m , P_m là các giá trị trung bình của các yếu tố về vật liệu, chế tạo và hệ số về khả năng chịu lực; (V_R , V_S) tương ứng là các hệ số độ lệch chuẩn của khả năng chịu lực và tải trọng tác động. Chi tiết hơn quy định về các hệ số này được trình bày trong Tiêu chuẩn Nhôm của Hoa Kỳ [8].

$$\phi = \frac{1,438 M_m F_m P_m}{\exp\left(\beta \sqrt{V_R^2 + V_S^2}\right)} \quad (6)$$

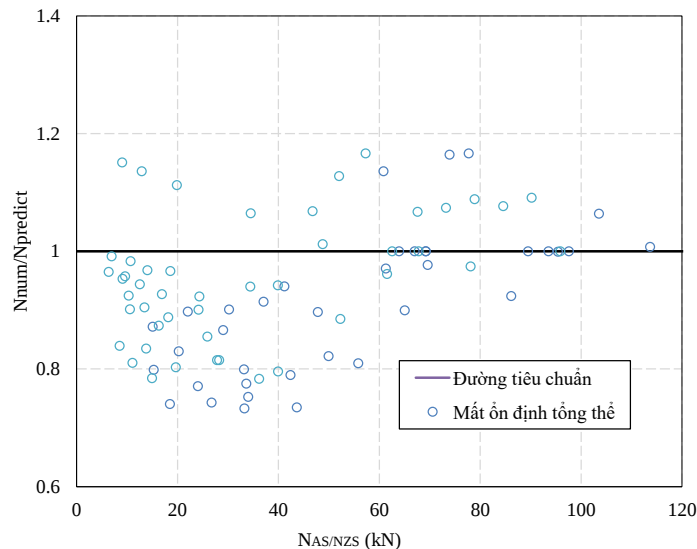
Hệ số chịu lực (ϕ) được quy định bằng 0,9 cho cấu kiện cột [8]. Trong so sánh ở bài báo, nếu hệ số này lớn hơn 0,9 thì thiết kế đưa ra có xu hướng thiên về an toàn và ngược lại.

So sánh giữa số liệu thí nghiệm và số liệu mô hình hóa với số liệu tính toán sử dụng tiêu chuẩn được thực hiện trên cơ sở phân tích độ tin cậy, bao gồm xác định các giá trị trung bình P_m và hệ số độ lệch chuẩn V_p . Sau đó, hệ số chịu lực (ϕ) được xác định làm cơ sở cho việc áp dụng các tiêu chuẩn hiện hành trong thiết kế cấu kiện chịu nén khi xảy ra mất ổn định tổng thể.

Theo như các số liệu thu thập, các giá trị khả năng chịu lực cấu kiện bị phá hoại do mất ổn định tổng thể. Tỷ số giữa kết quả thu thập và kết quả tính toán từ các tiêu chuẩn ($N_{num}/N_{predict}$) được biểu diễn trên Hình 4 cho tiêu chuẩn AS/NZS 1664.1.1997, với trục nằm ngang là khả năng chịu lực của cột tính theo Tiêu chuẩn và trục thẳng đứng là tỷ số ($N_{num}/N_{predict}$).

Các số liệu phân tích (P_m ; V_p) là giá trị trung bình và hệ số độ lệch chuẩn được xác định bằng (0,936; 0,124). Điều này cho thấy Tiêu chuẩn Australia AS/NZS 1664.1:1997 đưa ra các kết quả dự đoán thiếu an toàn do giá trị $P_m=0,936$ khá thấp và hệ số độ lệch chuẩn cũng khá cao $V_p = 0,124$.

Phân tích độ tin cậy sau đó được tiến hành và xác định được hệ số chịu lực (ϕ) theo công thức (6) và bằng 0,789 cho Tiêu chuẩn Australia/ New Zealand. Như đã trình bày ở trên, hệ số chịu lực (ϕ) quy định theo tiêu chuẩn là 0,9 nên nếu giá trị tính toán ra nhỏ hơn 0,9 sẽ thiên về không an toàn và ngược lại. Kết quả phân tích cho thấy tiêu chuẩn Australia đưa ra các kết quả dự đoán thiếu an toàn do hệ số chịu lực khá thấp bằng 0,789. Hệ số chịu lực tính toán này có thể được đề xuất trong việc xác định khả năng chịu lực của cấu kiện nhôm tạo hình nguội chịu nén phá hoại do mất ổn định tổng thể.



Hình 4. So sánh kết quả thu thập và kết quả tính toán từ Tiêu chuẩn AS/NZS 1664.1.1997 cho cấu kiện chịu nén

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày phương pháp xác định khả năng chịu lực của cấu kiện cột nhôm bị phá hoại do mất ổn định tổng thể theo Tiêu chuẩn Australia/New Zealand. Các tính toán này được áp dụng để xác định khả năng chịu lực của cấu kiện cột nhôm tạo hình nguội khi xảy ra mất ổn định tổng thể, mà sau đó được so sánh với các giá trị cường độ thu thập từ một dự án nghiên cứu tại Australia. Các so sánh này được thực hiện thông qua phân tích độ tin cậy làm cơ sở đánh giá việc áp dụng Tiêu chuẩn Australia, thấy rằng Tiêu chuẩn đưa ra kết quả tính toán thiếu an toàn nghĩa là giá trị tính toán lớn hơn giá trị khả năng chịu lực thu thập, dẫn đến hệ số chịu lực (ϕ) bằng 0,789 là khá thấp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. Szumigala and Ł. Polus (2015), "Applications of Aluminium and Concrete Composite Structures," *Procedia Engineering*, vol. 108, no. 61, pp. 544–549.
- [2] Permalite - Aluminium Roll-formed Purlin Solutions (2015), Permalite Aluminium Building Solutions Pty Ltd. Eagle Farm Qld 4009, Australia: Blue Scope Lysaghts.
- [3] F. M. Mazzolani (2003), "Aluminium Structural Design," Wien: Springer-Verlag GmbH.
- [4] N. H. Pham (2019), "Strength and Behaviour of Cold-rolled Aluminium Members", The University of Sydney.
- [5] Australia/New Zealand AS/NZS1664.1:1997, Aluminium Structures. Part 1: Limit State Design.
- [6] Phạm Ngọc Hiếu (2022), "Áp dụng các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu nhôm của Australia, Hoa Kỳ và Châu Âu trong xác định khả năng chịu lực của cấu kiện nhôm chữ C tạo hình nguội," *Đề tài Khoa học cấp trường, Đại học Kiến trúc Hà Nội*.
- [7] V. V. Nguyen, G. J. Hancock, and C. H. Pham (2015), "Development of the Thin-Wall-2 for Buckling Analysis of Thin-Walled Sections Under Generalised Loading," in *Proceeding of 8th International Conference on Advances in Steel Structures*.
- [8] Aluminum Association, Aluminum Design Manual. Washing DC, 2015.
- [9] A. S. Nowak and K. R. Collins (2000), *Reliability of Structures*. McGraw-Hill Higher Education.
- [10] J. Becque and K. J. R. Rasmussen (2009), "Experimental investigation of local-overall interaction buckling of stainless steel lipped channel columns," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 65, no. 8–9, pp. 1677–1684.
- [11] S. Niu (2014), "Interaction Buckling of Cold-Formed Stainless Steel Beams," University of Sydney: Sydney, Australia.
- [12] J. H. Zhu and B. Young (2006), "Aluminum alloy tubular columns-Part II: Parametric study and design using direct strength method," *Thin-Walled Structures*, vol. 44, no. 9, pp. 969–985.
- [13] J. H. Zhu and B. Young (2009), "Design of Aluminum Alloy Flexural Members Using Direct Strength Method," *Journal of Structural Engineering*, vol. 135, no. 5, pp. 558–566.