

TÍNH TOÁN THIẾT KẾ CỘT THÉP CHO NHÀ NHIỀU TẦNG CHỊU TẢI TRỌNG GIÓ THEO TIÊU CHUẨN VIỆT NAM VÀ CHÂU ÂU

Đinh Văn Thuật^{a,*}, Lê Đức Hòa^b, Nguyễn Quang Huy^b, Đặng Việt Hưng^a

^aKhoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội,
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

^b65XE3 Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội,
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 10/7/2024, Sửa xong 22/8/2024, Chấp nhận đăng 23/8/2024

Tóm tắt

Bài báo này trình bày các kết quả tính toán thiết kế cột thép cho nhà nhiều tầng chịu tải trọng gió nhằm so sánh khi áp dụng theo tiêu chuẩn châu Âu (EN 1991-1-4, EN 1990, EN 1993-1-1) với tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN 2737:2023, TCVN 5575:2024). Kết cấu được khảo sát có hoặc không có giằng cho khung ngang nhà. Kết quả thu được bao gồm tải trọng gió, nội lực thiết kế cột, kết quả kiểm tra ổn định của cột, ổn định của bản bụng và bản cánh cột. Kết quả so sánh cho thấy giá trị tính toán của tải trọng gió theo phương ngang nhà cũng như nội lực thiết kế cột từ tổ hợp tải trọng theo EN là lớn hơn từ 10 đến 15% so với theo TCVN. Kết quả tính toán kiểm tra ổn định của cột theo EN cũng lớn hơn theo TCVN từ 16,7 đến 32,5% cho cột nhà không giằng và từ 10,5 đến 29,9% cho cột nhà có giằng cho khung ngang nhà. Hơn nữa, kết quả tính ổn định của cột theo EN luôn chỉ ra trường hợp bất lợi theo phương ngoài mặt phẳng khung ngang.

Từ khoá: nhà nhiều tầng; kết cấu thép; tiêu chuẩn thiết kế; tải trọng gió; ổn định của cột; TCVN 2737:2023; TCVN 5575:2024; EN 1991-1-4; EN 1993-1-1.

DESIGN OF STEEL COLUMNS FOR MULTI-STOREY BUILDINGS FOR WIND LOADS ACCORDING TO EUROPEAN AND VIETNAMESE STANDARDS

Abstract

This paper presents the calculation results to design steel columns for multi-storey buildings subjected to wind loads in order to compare those in accordance with European codes (EN 1991-1-4, EN 1990, EN 1993-1-1) with Vietnamese standards (TCVN 2737:2023, TCVN 5575:2024). The investigated structures were designed with or without bracing systems for the transverse frames. The obtained results include wind loads, internal forces from load combination for column design, column buckling checks, column web and flange buckling. The comparison results show that the design values of wind load as well as of internal forces for column design according to EN are about 10 to 15% larger than those according to TCVN. The column buckling checks according to EN are also larger than those according to TCVN from 16,7 to 32,5% for the unbraced columns and 10,5 to 29,9% for the braced columns of the frames. Furthermore, buckling check results for columns according to EN always show the unfavorable case in the direction out of the transverse frame plane.

Keywords: multi-storey buildings; steel structures; design codes; wind load; column buckling; TCVN 2737:2023; TCVN 5575:2024; EN 1991-1-4; EN 1993-1-1.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce2024-18\(3V\)-06](https://doi.org/10.31814/stce.huce2024-18(3V)-06) © 2024 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

1. Giới thiệu

Các tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) được sử dụng để tính toán thiết kế kết cấu nhà thép gồm TCVN 2737:2023 [1] để xác định các tải trọng thường xuyên, tạm thời và gió và TCVN 5575:2024 [2] để tính toán thiết kế các cấu kiện kết cấu thép. TCVN 2737:2023 được biên dịch và có điều chỉnh so với

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: thuatdv@huce.edu.vn (Thuật, Đ. V.)

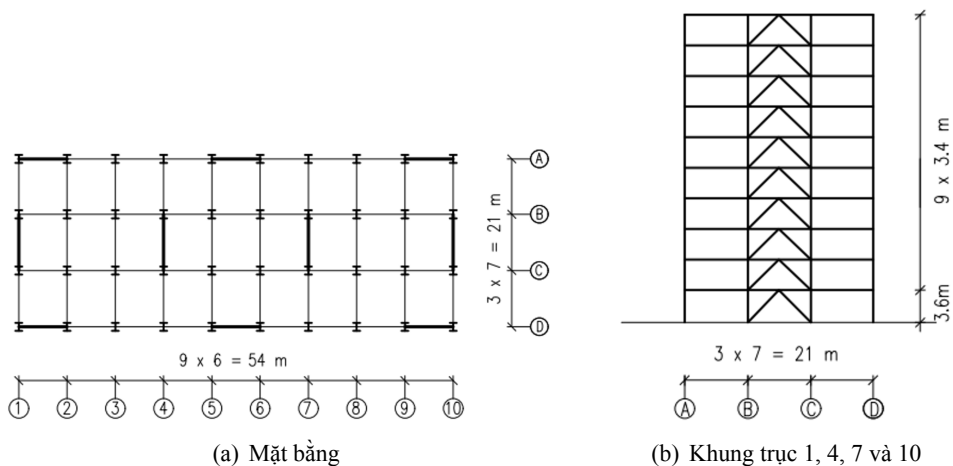
tiêu chuẩn của Nga SP 20.13330.2016, chẳng hạn ở phần tính toán tải trọng gió. TCVN 5575:2024 được biên dịch theo các tiêu chuẩn hiện hành của Nga và có cập nhật thêm những quy định mới, SP 16.13330.2017 và SP 294.1325800.2017. Tiêu chuẩn này dự kiến sẽ có hiệu lực sử dụng từ cuối năm 2024, thay thế cho TCVN 5575:2012. Bên cạnh đó, bộ tiêu chuẩn của châu Âu (EN) cũng đang được quan tâm nghiên cứu để áp dụng tính toán thiết kế các công trình ở Việt Nam, bao gồm EN 1991-1-4 [3] để xác định tải trọng gió và EN 1993-1-1 [4] để tính toán thiết kế các cấu kiện kết cấu thép. Các tiêu chuẩn EN đang được Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng trực thuộc Bộ Xây dựng biên dịch và nghiên cứu áp dụng cho phù hợp với điều kiện ở Việt Nam.

Các hệ thống TCVN và EN đều được xây dựng dựa trên phương pháp thiết kế theo các trạng thái giới hạn về chịu lực và biến dạng; tuy nhiên, các hệ số độ tin cậy của tải trọng cũng như hệ số tổ hợp tải trọng được quy định có giá trị khác nhau. Hơn nữa, phương pháp sử dụng để tính toán tải trọng gió cũng như tính toán thiết kế các cấu kiện kết cấu cũng khác nhau đáng kể. Chẳng hạn, giá trị tiêu chuẩn và tính toán của tải trọng gió theo TCVN được quy định tương ứng với vận tốc gió trung bình trong 3 giây, chu kỳ lặp là 10 và 20 năm, trong khi theo EN đều được quy định tương ứng với vận tốc gió trung bình trong 10 phút, chu kỳ lặp là 50 năm [1, 3]. Ngoài ra phương pháp kiểm tra ổn định của các cấu kiện kết cấu chịu nén uốn theo EN được xây dựng sử dụng nhiều hệ số tương tác hơn so với TCVN [2, 4]. Do vậy, việc so sánh kết quả tính toán thiết kế kết cấu thép cho nhà nhiều tầng theo TCVN và EN là cần thiết.

Bài báo này trình bày các kết quả tính toán thiết kế cột thép cho nhà nhiều tầng chịu tải trọng gió theo TCVN và EN và đồng thời đưa ra những nhận xét cho việc sử dụng hai hệ thống tiêu chuẩn này. Để thực hiện so sánh, các dữ liệu thiết kế được lấy thống nhất phù hợp với điều kiện tự nhiên của Việt Nam, bao gồm vận tốc gió cơ sở được lấy theo QCVN 02:2022/BXD [5] và các giá trị tiêu chuẩn của tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời được lấy theo [1].

2. Sơ đồ kết cấu nhà

Xét một nhà trường học bằng kết cấu thép cao 10 tầng có mặt bằng hình chữ nhật và kích thước được chỉ ra ở Hình 1. Hệ giằng chữ Λ được sử dụng cho phương dọc nhà tại các bước khung đầu, giữa và cuối nhà (Hình 1(a)). Theo phương ngang nhà thì xét hai trường hợp sơ đồ kết cấu khung ngang không sử dụng giằng (ký hiệu là UBF) và có sử dụng giằng Λ tại nhịp giữa của khung ngang trục 1, 4, 7 và 10 (ký hiệu là BF). Các thanh giằng được sử dụng có tiết diện dạng ống thép. Theo phương ngang nhà sử dụng đường kính ngoài và chiều dày thành ống tương ứng như sau: 250 mm và 9 mm



Hình 1. Kết cấu nhà thép 10 tầng có giằng (BF)

cho các tầng 1 đến 3; 220 mm và 9 mm cho các tầng 4 đến 6 và 220 mm và 8 mm cho các tầng 7 đến 10. Theo phương dọc nhà sử dụng đường kính ngoài 300 mm và dày 13 mm.

Tiết diện của cột có hình dạng chữ H và của dầm là tiết diện liên hợp dầm thép chữ I và bản sàn bê tông cốt thép (BTCT) đổ toàn khối nằm trên bản cánh. Chiều dày của bản sàn BTCT là 12 cm. Vật liệu thép được sử dụng có giới hạn chảy $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ và mô đun đàn hồi $E = 206.000 \text{ N/mm}^2$. Tải trọng tác dụng lên kết cấu nhà được xét đến trong bài báo này gồm tải trọng thường xuyên (TX), tải trọng tạm thời dài hạn (TTDH), tải trọng tạm thời ngắn hạn (TTNH) và tải trọng gió theo phương ngang nhà (GN).

Bảng 1 chỉ ra các kích thước tiết diện của cột thép cho các nhà UBF và BF trong đó được trình bày theo thứ tự chiều cao tiết diện, chiều rộng tiết diện, chiều dày bản cánh và chiều dày bản bụng. Tiết diện của dầm thép theo phương ngang nhà là $55 \times 22 \times 1,8 \times 1,2$ (cm) cho các tầng 1 đến 4 và $55 \times 22 \times 1,6 \times 1,2$ (cm) cho các tầng 5 đến 10. Theo phương dọc nhà, các dầm chính và dầm phụ (ở giữa các nhịp) đều có tiết diện $40 \times 22 \times 1,2 \times 1,0$ (cm). Trong mô hình tính toán nội lực và chuyển vị của kết cấu, các dầm thép theo phương dọc nhà cũng như các thanh giằng đều được mô hình hoá khớp ở hai đầu các thanh này; dầm thép theo phương ngang nhà được liên kết cứng với cột và tại chân cột thép được liên kết ngàm với phần kết cấu BTCT ở dưới.

Bảng 1. Kích thước tiết diện cột thép (cm)

Tầng	Nhà UBF	Nhà BF	
		Trục 1, 4, 7, 10	Trục còn lại
Tầng 7 đến 10	$50 \times 22 \times 1,8 \times 1,4$	$50 \times 22 \times 1,8 \times 1,4$	$50 \times 22 \times 1,6 \times 1,2$
Tầng 4 đến 6	$55 \times 22 \times 2,0 \times 1,4$	$55 \times 22 \times 2,0 \times 1,6$	$55 \times 22 \times 1,6 \times 1,2$
Tầng 1 đến 3	$60 \times 25 \times 2,2 \times 1,6$	$60 \times 25 \times 2,4 \times 1,8$	$55 \times 22 \times 1,8 \times 1,2$

3. Xác định tải trọng và nội lực trong kết cấu theo tiêu chuẩn Việt Nam

3.1. Tải trọng thường xuyên và tạm thời

Tải trọng TX được xác định từ trọng lượng bản thân của các thành phần gồm: kết cấu thép với hệ số độ tin cậy $\gamma_f = 1,05$; bản sàn BTCT với $\gamma_f = 1,1$; lớp vữa lót dày 2 cm cho sàn tầng 1 đến 9 và 5 cm cho sàn mái với $\gamma_f = 1,3$ và lớp gạch lát dày 1 cm với $\gamma_f = 1,2$ [1]. Kết quả cho thấy tổng giá trị tiêu chuẩn và tính toán của tải trọng TX phân bố đều trên sàn tương ứng là 3,56 và 4,008 kN/m² cho các tầng 1 đến 9 và 4,10 và 4,71 kN/m² cho mái.

Tải trọng TX còn bao gồm trọng lượng của tường xây bằng gạch bao quanh nhà ở các tầng 2 đến 9, được lấy bằng 3,3 kN/m² tường với hệ số $\gamma_f = 1,1$ và hệ số lỗ cửa lấy bằng 0,7, do vậy giá trị tiêu chuẩn và tính toán tương ứng là 6,306 và 6,937 kN/m; và tường xây ở trên mái cao 0,9 m được lấy bằng 1,8 kN/m² tường với $\gamma_f = 1,1$, do vậy giá trị tiêu chuẩn và tính toán tương ứng là 1,62 và 1,782 kN/m. Trọng lượng tường ở tầng 1 truyền trực tiếp xuống phần dưới của khung nên không được kể đến.

Tải trọng TTDH được xác định từ tường xây và vách ngăn trên sàn, được lấy bằng 1,0 kN/m² với $\gamma_f = 1,2$. Tải trọng TTNH đối với nhà trường học được lấy bằng 2,0 kN/m² với $\gamma_f = 1,3$.

3.2. Tải trọng gió

Công trình ở khu vực thuộc vùng gió II với áp lực gió cơ sở $W_0 = 95 \text{ daN/m}^2$ tương ứng với gió trung bình trong 3 giây, chu kỳ lặp 20 năm, dạng địa hình C và ở độ cao 10 m [5]. Tổng chiều cao

chấn gió của nhà tính đến đỉnh tường xây là 35,1 m. Kích thước mặt bằng theo phương ngang nhà là 21 m và dọc nhà là 54 m.

Để tính hệ số hiệu ứng giật, khối lượng để tính chu kỳ dao động riêng của nhà được xác định từ tổ hợp tải trọng tính toán gồm TX, TTDH và TTNH. Kết quả tính bằng phần mềm Etabs [6] cho các giá trị chu kỳ dao động riêng thứ nhất của nhà cho nhà UBF là 1,832 và 1,501 giây; và cho nhà BF là 1,243 và 1,486 giây tương ứng theo phương ngang và dọc nhà.

Kết quả tính gió theo phương ngang nhà cho nhà UBF như sau: chiều cao nhà $h = 35,1$ m; chiều rộng đón gió $b = 54$ m; chiều sâu nhà $d = 21$ m; tổng hệ số khí động (bao gồm cả hệ số trong) $c_e = 1,0$ ở phía đón gió và $-0,734$ ở phía hút gió; hệ số theo chiều cao $k(z_e = h) = 1,029$; hệ số cản $\beta = 0,015$ và hệ số giật $G_f = 0,876$. Giá trị tiêu chuẩn của tải trọng gió phân bố đều trên diện tích được xác định $W_k = 72,942$ daN/m² và $-53,508$ daN/m² tương ứng ở phía đón gió và hút gió. Giá trị tính toán của tải trọng gió được xác định bằng giá trị tiêu chuẩn nhân với hệ số 2,1.

3.3. Nội lực và chuyển vị của kết cấu

Trong bài báo này, do hạn chế về số trang nên chỉ xét trường hợp tải trọng gió được coi là tải trọng chủ đạo và tác dụng theo phương ngang nhà, theo đó tổ hợp tải trọng gồm TX, TTDH, 0,9 TTNH và GN [1]. Chương trình Etabs [6] được sử dụng để phân tích hệ kết cấu nhà, bao gồm cả bản sàn BTCT được coi liên kết cứng với dầm thép ở dưới. Tải trọng gió được coi tác dụng phân bố đều trên các dầm biên nhà, không kể đến thành phần tác dụng theo phương dọc nhà khi gió thổi theo phương ngang nhà. Bảng 2 minh họa kết quả nội lực trong cột tại trục 9 ở các tầng 1, 4 và 7 cho trường hợp nhà UBF. Tương tự Bảng 3 minh họa kết quả nội lực trong cột tại trục 7 (khung ngang có giằng) cho trường hợp nhà BF. Kết quả chuyển vị ngang lớn nhất ở đỉnh cột được xác định bằng 2,32 và 1,11 cm tương ứng với nhà UBF và BF. Các kết quả này đều nhỏ hơn giá trị cho phép bằng 6,76 cm tương ứng với 1/500 chiều cao nhà [1].

So sánh với kết quả khi coi tải trọng gió là chủ đạo ở Bảng 2, kết quả nội lực từ tổ hợp tải trọng khi coi tải trọng TTNH là chủ đạo cho giá trị lực dọc ở chân cột tầng 1 lớn hơn 2,9% cho cột giữa và 0,3% cho cột biên, trong khi giá trị mô men uốn quanh trục x chỉ bằng 90% cho cột giữa và 91,1% cho cột biên. Kết quả kiểm tra ổn định của cột cho thấy trường hợp tổ hợp tải trọng với gió là chủ đạo cho kết quả nguy hiểm hơn đối với cột.

Bảng 2. Nội lực trong cột khung trục 9 của trường hợp UBF theo TCVN

Tầng	N (kN)		M_x (kNm)		M_y (kNm)		Q_y (kN)
	Chân	Đỉnh	Chân	Đỉnh	Chân	Đỉnh	
Cột giữa							
1	3.222,31	3.217,96	328,49	−31,01	−0,78	1,17	135,40
4	2.201,31	2.197,56	180,33	−145,82	0,25	−0,30	114,44
7	1.227,24	1.223,85	133,75	−100,16	1,74	−1,29	−82,08
Cột biên							
1	2.194,20	2.189,85	330,46	−35,05	4,64	−6,98	137,67
4	1.438,79	1.435,05	180,51	−152,53	8,32	−5,91	116,86
7	749,43	746,05	165,16	−126,70	7,06	−4,72	102,41

Bảng 3. Nội lực trong cột khung trục 7 của trường hợp BF theo TCVN

Tầng	N (kN)		M_x (kNm)		M_y (kNm)		Q_y (kN)
	Chân	Đỉnh	Chân	Đỉnh	Chân	Đỉnh	
Cột giữa							
1	4.166,03	4.161,23	125,60	38,34	−0,04	0,06	32,87
4	2.362,27	2.358,28	1,40	1,33	−0,05	0,04	0,03
7	1.125,04	1.121,65	13,50	−12,48	−0,05	0,04	9,12
Cột biên							
1	2.570,00	2.565,20	174,62	−61,20	1,09	−1,65	88,82
4	1.794,92	1.790,94	132,97	−100,47	1,46	−1,06	81,91
7	977,41	974,03	143,68	−106,83	0,84	−0,54	87,90

4. Xác định tải trọng và nội lực trong kết cấu theo tiêu chuẩn châu Âu

4.1. Tải trọng thường xuyên và tạm thời

Giá trị tiêu chuẩn của tải trọng TX và TTDH được xác định giống như ở mục 3.1 [7]. Hệ số độ tin cậy bằng 1,35 [8]. Giá trị tiêu chuẩn của tải trọng TTNH đối với nhà trường học được lấy bằng 200 kG/m², giống như ở mục 3.1. Hệ số độ tin cậy bằng 1,5 [8].

4.2. Tải trọng gió

Công trình ở khu vực thuộc vùng gió II theo TCVN với vận tốc gió cơ sở trung bình trong 10 phút, chu kỳ lặp 50 năm, ở độ cao 10 m và dạng địa hình loại B là $V_{10m,50} = 31$ m/s [5]. Vị trí công trình tương ứng với mục 3.2 ở trên. Dạng địa hình loại B và C trong [5] được coi tương ứng với dạng địa hình loại II và IV trong [3]. Áp lực gió cơ bản trong 10 phút, chu kỳ lặp 50 năm, ở độ cao 10 m và địa hình loại II theo EN được xác định $q_b = 600,625$ N/m².

Khối lượng để tính chu kỳ dao động riêng của nhà được xác định từ tổ hợp tải trọng tính toán gồm TX, TTDH và TTNH. Kết quả tính bằng phần mềm Etabs cho các giá trị chu kỳ dao động riêng thứ nhất của nhà là 1,99 và 1,62 giây cho trường hợp UBF và 1,366 và 1,634 giây cho trường hợp BF tương ứng theo các phương ngang và dọc nhà.

Kết quả tính gió theo phương ngang nhà cho trường hợp UBF như sau: tổng hệ số khí động $c_e = 1,1$ ở phía đón gió và $-0,734$ ở phía hút gió; hệ số nhám $c_r(z) = 0,834$; hệ số theo chiều cao $c_e(z) = 2,063$; hệ số kết cấu bằng 0,872 (được tính theo mục 6.3.1 và Phụ lục B của [3]) và áp lực gió $q_p(z) = 1.239,11$ N/m² trong đó z được lấy tại $h = 35,1$ m [9]. Giá trị tiêu chuẩn của tải trọng gió phân bố đều trên diện tích được xác định $W_k = 136,291$ daN/m² và $-90,890$ daN/m² tương ứng ở phía đón gió và hút gió. Giá trị tính toán của tải trọng gió được xác định bằng giá trị tiêu chuẩn nhân với hệ số 1,5.

4.3. Nội lực và chuyển vị của kết cấu

Tương tự như đối với trường hợp theo TCVN, các kết quả được trình bày tương ứng với trường hợp tải trọng gió được coi là chủ đạo và tác dụng theo phương ngang nhà, cụ thể tổ hợp tải trọng gồm TX, TTDH, 0,7 TTNH và GN [8]. Bảng 4 minh họa kết quả nội lực trong cột khung trục 9 cho trường hợp UBF. Tương tự Bảng 5 minh họa kết quả nội lực trong cột khung trục 7 (khung ngang có giằng) cho trường hợp BF. Kết quả chuyển vị ngang lớn nhất ở đỉnh cột được xác định bằng 3,62 và 1,70 cm tương ứng với nhà UBF và BF, đều nhỏ hơn giá trị cho phép bằng 6,76 cm.

Bảng 4. Nội lực trong cột khung trục 9 của trường hợp UBF theo EN

Tầng	N (kN)		M_x (kNm)		M_y (kNm)		Q_y (kN)
	Chân	Đỉnh	Chân	Đỉnh	Chân	Đỉnh	
Cột giữa							
1	3.580,09	3.574,49	367,44	−34,56	−0,87	1,32	151,41
4	2.449,84	2.445,02	201,06	−162,58	0,19	−0,26	127,59
7	1.371,04	1.366,52	149,40	−112,04	2,34	−1,76	91,73
Cột biên							
1	2.489,41	2.483,81	369,21	−38,18	5,26	−7,92	153,44
4	1.634,56	1.629,75	200,04	−169,17	9,41	−6,69	129,55
7	854,80	850,29	183,58	−140,76	9,58	−6,32	113,80

Bảng 5. Nội lực trong cột khung trục 7 của trường hợp BF theo EN

Tầng	N (kN)		M_x (kNm)		M_y (kNm)		Q_y (kN)
	Chân	Đỉnh	Chân	Đỉnh	Chân	Đỉnh	
Cột giữa							
1	4.521,23	4,515,06	66,63	56,37	−0,05	0,07	3,86
4	2.767,85	2,762,73	−32,70	26,36	−0,06	0,04	−20,72
7	1.399,39	1,395,04	−9,45	4,05	−0,06	0,04	−4,74
Cột biên							
1	2.979,83	2,973,66	130,65	−73,64	1,30	−1,95	76,95
4	2.082,22	2,077,10	134,35	−102,30	1,74	−1,26	83,03
7	1.141,26	1,136,90	147,16	−108,95	1,02	−0,65	89,86

5. Kết quả kiểm tra ổn định tổng thể và cục bộ của cột

5.1. Theo tiêu chuẩn Việt Nam

a. Trường hợp không sử dụng giằng cho khung ngang nhà (UBF)

Bảng 6 trình bày kết quả tính hệ số chiều dài ổn định và độ mảnh của cột tại các tầng 1, 4 và 7 của khung ngang trục 9 cho nhà UBF theo TCVN, trong đó x là trục hoành và y là trục yếu của tiết diện cột [2]. Chiều dài của cột được tính đến trục của dầm thép. Bảng 7 trình bày kết quả kiểm tra ổn định tổng thể của cột, trong đó φ_{ex} và φ_{ey} là các hệ số ổn định nén uốn, φ_y là hệ số ổn định nén đúng tâm, c là hệ số kể đến ảnh hưởng của mô men xoắn M_x đối với trục y , N là lực nén thiết kế trong cột và $[N]$ là ký hiệu của phân mẫu số của tỷ số trong các công thức 108, 110 và 115 của [2]. Kết quả được bôi đậm trong Bảng 7 thể hiện trường hợp bất lợi nhất trong số 3 trường hợp tính theo các công thức 108, 110 và 115 của [2]. Kết quả kiểm tra ổn định của cột cho giá trị lớn nhất ở cột giữa tầng 1 là 1,006 (Bảng 7), chỉ vượt mức cho phép là 0,6%.

Thuật, Đ. V., và cs. / Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng
 Bảng 6. Độ mảnh của cột khung trục 9 cho UBF theo TCVN

Tầng	Cột giữa				Cột biên			
	μ_x	λ_x	μ_y	λ_y	μ_x	λ_x	μ_y	λ_y
1	1,160	15,475	0,553	32,974	1,434	19,130	0,585	34,882
4	1,240	19,145	0,569	40,931	1,679	25,922	0,618	44,456
7	1,189	20,211	0,563	40,597	1,543	26,228	0,610	43,986

Bảng 7. Kiểm tra ổn định của cột khung trục 9 cho UBF theo TCVN

Tầng	Công thức 108 [2]		Công thức 110 [2]			Công thức 115 [2]		
	φ_{ex}	$N/[N]$	φ_y	c	$N/[N]$	φ_{ey}	φ_{exy}	$N/[N]$
Cột giữa								
1	0,746	0,970	0,888	0,809	1,006	0,916	0,860	0,841
4	0,756	0,816	0,850	0,860	0,844	0,890	0,851	0,725
7	0,672	0,566	0,852	0,808	0,553	0,891	0,836	0,455
Cột biên								
1	0,643	0,766	0,879	0,743	0,754	0,910	0,832	0,592
4	0,638	0,632	0,832	0,801	0,605	0,872	0,816	0,494
7	0,478	0,486	0,835	0,675	0,412	0,836	0,743	0,313

Bảng 8 trình bày kết quả kiểm tra ổn định cục bộ của bản bụng và bản cánh cột giữa của khung trục 9 cho nhà UBF theo TCVN, trong đó các ký hiệu $\bar{\lambda}_w$ và $\bar{\lambda}_f$ tương ứng là độ mảnh quy ước của bản bụng và bản cánh cột; $\bar{\lambda}_{uw}$ và $\bar{\lambda}_{uf}$ tương ứng là độ mảnh quy ước giới hạn của bản bụng và bản cánh cột. Kết quả kiểm tra cho thấy ổn định của bản bụng và bản cánh cột giữa cũng như cột biên đều được thỏa mãn, theo đó so với độ mảnh quy ước giới hạn thì độ mảnh quy ước chỉ đạt khoảng 77 đến 88% đối với bản bụng và 35 đến 40% đối với bản cánh.

Bảng 8. Kiểm tra ổn định cục bộ của cột giữa tại trục 9 cho UBF theo TCVN

Tầng	Bản bụng			Bản cánh		
	$\bar{\lambda}_w$	$\bar{\lambda}_{uw}$	$\bar{\lambda}_w/\bar{\lambda}_{uw}$	$\bar{\lambda}_f$	$\bar{\lambda}_{uf}$	$\bar{\lambda}_f/\bar{\lambda}_{uf}$
1	1,15	1,34	0,86	0,18	0,46	0,38
4	1,20	1,36	0,88	0,17	0,49	0,35
7	1,09	1,37	0,80	0,19	0,48	0,39

b. Trường hợp có sử dụng giằng cho khung ngang nhà (BF)

Tương tự như đối với trường hợp UBF, Bảng 9, 10 và 11 trình bày kết quả tính toán kiểm tra ổn định của các cột khung trục 7 (khung ngang nhà có giằng) của nhà BF. Kết quả kiểm tra cho giá trị lớn nhất ở cột giữa tầng 1 là 1,038 (Bảng 10), vượt mức cho phép là 3,8%. Kết quả kiểm tra ổn định

của bản bụng và bản cánh cột giữa và cột biên cũng đều được thỏa mãn, theo đó so với độ mảnh quy ước giới hạn thì độ mảnh quy ước chỉ đạt khoảng 77 đến 82% đối với bản bụng và 31 đến 39% đối với bản cánh (Bảng 11).

Bảng 9. Độ mảnh của cột khung trục 7 cho BF theo TCVN

Tầng	Cột giữa				Cột biên			
	μ_x	λ_x	μ_y	λ_y	μ_x	λ_x	μ_y	λ_y
1	0,654	8,784	0,553	33,163	0,677	9,094	0,585	35,026
4	0,786	12,233	0,569	41,163	0,863	13,435	0,618	44,766
7	0,757	12,860	0,563	40,600	0,838	14,244	0,610	43,964

Bảng 10. Kiểm tra ổn định của cột khung trục 7 cho BF theo TCVN

Tầng	Công thức 108 [2]		Công thức 110 [2]			Công thức 115 [2]		
	φ_{ex}	$N/[N]$	φ_y	c	$N/[N]$	φ_{ey}	φ_{exy}	$N/[N]$
Cột giữa								
1	0,915	0,928	0,888	0,921	1,038	0,916	0,893	0,950
4	0,967	0,614	0,849	0,998	0,701	0,889	0,889	0,668
7	0,997	0,350	0,852	0,974	0,420	0,891	0,884	0,394
Cột biên								
1	0,819	0,639	0,879	0,879	0,678	0,910	0,875	0,598
4	0,789	0,572	0,831	0,870	0,624	0,877	0,842	0,536
7	0,617	0,491	0,835	0,757	0,480	0,880	0,810	0,374

Bảng 11. Kiểm tra ổn định cục bộ của cột giữa tại trục 7 cho BF theo TCVN

Tầng	Bản bụng			Bản cánh		
	$\bar{\lambda}_w$	$\bar{\lambda}_{uw}$	$\bar{\lambda}_w/\bar{\lambda}_{uw}$	$\bar{\lambda}_f$	$\bar{\lambda}_{uf}$	$\bar{\lambda}_f/\bar{\lambda}_{uf}$
1	1,01	1,31	0,77	0,16	0,47	0,34
4	1,04	1,32	0,79	0,15	0,50	0,31
7	1,09	1,33	0,82	0,19	0,49	0,38

5.2. Theo tiêu chuẩn châu Âu

a. Trường hợp không sử dụng giằng cho khung ngang nhà (UBF)

Kết quả dưới đây được minh họa cho các cột giữa và cột biên tại các tầng 1, 4 và 7 của khung trục 9 cho nhà UBF. Ở Bảng 12, $\bar{\lambda}_x$ và $\bar{\lambda}_y$ là độ mảnh của cột khi chịu nén và $\bar{\lambda}_{LT}$ là độ mảnh của cột khi chịu uốn quanh trục x . Tiếp theo, ở Bảng 13 χ_x, χ_y và χ_{LT} tương ứng là các hệ số giảm độ bền ổn định của cột. Ở Bảng 14, k_{xx}, k_{xy}, k_{yx} và k_{yy} là các hệ số tương tác khi kể đến ảnh hưởng của mô men uốn

trong cột và SF_x và SF_y được ký hiệu tương ứng với phần bên trái của các công thức 6.61 và 6.62 của [4], biểu thị các kết quả kiểm tra độ bền ổn định của cột, theo đó giá trị lớn hơn 1,0 tương ứng với trường hợp cột không đảm bảo độ bền ổn định. Kết quả kiểm tra cho thấy cột giữa tầng 1 đã không đủ độ bền ổn định đối với trục y , vượt mức cho phép là 21,1% trong khi đối với trục x thì vừa đủ, bằng 0,996. Bảng 15 trình bày cấp tiết diện của các cột khung trục 9, theo đó cột từ tầng 1 đến 6 thuộc cấp tiết diện 2 và từ tầng 7 đến 10 thuộc cấp tiết diện 1.

Bảng 12. Độ mảnh của cột khung trục 9 cho UBF theo EN

Tầng	Cột giữa			Cột biên		
	$\bar{\lambda}_x$	$\bar{\lambda}_y$	$\bar{\lambda}_{LT}$	$\bar{\lambda}_x$	$\bar{\lambda}_y$	$\bar{\lambda}_{LT}$
1	0,165	0,351	0,398	0,204	0,371	0,408
4	0,204	0,436	0,381	0,276	0,474	0,395
7	0,215	0,432	0,380	0,279	0,468	0,394

Bảng 13. Hệ số suy giảm của cột khung trục 9 cho UBF theo EN

Tầng	ϕ_x	χ_x	ϕ_y	χ_y	ϕ_{LT}	χ_{LT}
Cột giữa						
1	0,508	1,000	0,599	0,923	0,654	0,852
4	0,521	0,999	0,653	0,878	0,642	0,864
7	0,526	0,995	0,650	0,880	0,641	0,865
Cột biên						
1	0,521	0,999	0,611	0,912	0,662	0,845
4	0,551	0,973	0,679	0,858	0,652	0,854
7	0,553	0,972	0,675	0,861	0,651	0,855

Bảng 14. Kiểm tra ổn định của cột khung trục 9 cho UBF theo EN

Tầng	k_{xx}	k_{xy}	k_{yx}	k_{yy}	SF_x	SF_y
Cột giữa						
1	0,547	0,366	0,907	0,610	0,996	1,211
4	0,401	0,288	0,784	0,481	0,778	0,985
7	0,402	0,269	0,867	0,449	0,524	0,709
Cột biên						
1	0,560	0,363	0,930	0,605	0,786	1,003
4	0,414	0,282	0,839	0,471	0,598	0,804
7	0,408	0,264	0,908	0,439	0,423	0,644

Bảng 15. Xác định cấp tiết diện của các cột khung trục 9 cho UBF theo EN

Tầng	Bản bụng			Bản cánh			Cấp tiết diện
	c/t_w	λ_{uw}	Cấp bản bụng	c/t_f	λ_{uf}	Cấp bản cánh	
1	33,25	38,00	Cấp 2	4,64	9,00	Cấp 1	Cấp 2
4	34,71	38,00	Cấp 2	4,40	9,00	Cấp 1	Cấp 2
7	31,43	33,00	Cấp 1	4,89	9,00	Cấp 1	Cấp 1

b. Trường hợp có sử dụng giằng cho khung ngang nhà (BF)

Tương tự như đối với nhà UBF, Bảng 16, 17 và 18 trình bày kết quả tính toán kiểm tra ổn định của các cột khung trục 7 đối với nhà BF. Kết quả kiểm tra cho giá trị lớn nhất ở cột giữa tầng 1 đối với trục y là 1,024 (Bảng 18), vượt mức cho phép là 2,4% trong khi đối với trục x thì đủ chịu lực, bằng 0,941. Bảng 19 trình bày kết quả xác định cấp tiết diện của các cột khung trục 7, theo đó cột của các tầng đều thuộc cấp tiết diện 1.

Bảng 16. Độ mảnh của cột khung trục 7 cho BF theo EN

Tầng	Cột giữa			Cột biên		
	$\bar{\lambda}_x$	$\bar{\lambda}_y$	$\bar{\lambda}_{LT}$	$\bar{\lambda}_x$	$\bar{\lambda}_y$	$\bar{\lambda}_{LT}$
1	0,094	0,355	0,491	0,097	0,376	0,350
4	0,132	0,449	0,374	0,145	0,488	0,394
7	0,137	0,432	0,407	0,152	0,468	0,396

Bảng 17. Hệ số suy giảm của cột khung trục 7 cho BF theo EN

Tầng	ϕ_x	χ_x	ϕ_y	χ_y	ϕ_{LT}	χ_{LT}
Cột giữa						
1	0,486	1,000	0,601	0,921	0,731	0,786
4	0,497	1,000	0,662	0,871	0,636	0,869
7	0,499	1,000	0,650	0,880	0,661	0,845
Cột biên						
1	0,487	1,000	0,614	0,910	0,618	0,887
4	0,501	1,000	0,690	0,849	0,652	0,855
7	0,503	1,000	0,675	0,861	0,653	0,853

Bảng 18. Kiểm tra ổn định của cột khung trục 7 cho BF theo EN

Tầng	k_{xx}	k_{xy}	k_{yx}	k_{yy}	SF_x	SF_y
Cột giữa						
1	0,851	0,622	0,951	1,037	0,941	1,024

Tầng	k_{xx}	k_{xy}	k_{yx}	k_{yy}	SF_x	SF_y
4	0,381	0,297	0,761	0,495	0,713	0,834
7	0,418	0,289	0,886	0,482	0,421	0,485
Cột biên						
1	0,376	0,263	0,841	0,438	0,630	0,749
4	0,388	0,296	0,800	0,493	0,604	0,781
7	0,393	0,272	0,878	0,453	0,448	0,638

Bảng 19. Xác định cấp tiết diện của các cột khung trục 7 cho BF theo EN

Tầng	Bản bưng			Bản cánh			Cấp tiết diện
	c/t_w	λ_{uw}	Cấp bản bưng	c/t_f	λ_{uf}	Cấp bản cánh	
1	29,33	33,00	Cấp 1	4,21	9,00	Cấp 1	Cấp 1
4	30,38	33,00	Cấp 1	4,35	9,00	Cấp 1	Cấp 1
7	31,43	33,00	Cấp 1	4,89	9,00	Cấp 1	Cấp 1

5.3. So sánh kết quả tính theo tiêu chuẩn Việt Nam và châu Âu

Đối với trường hợp nhà khảo sát, tải trọng gió ngang nhà theo TCVN và EN đều có dạng phân bố đều theo chiều cao nhà. Tỷ số so sánh giữa các giá trị tính toán của tải trọng gió theo EN với TCVN là 1,119 cho tất cả các tầng, có nghĩa là theo EN cho kết quả lớn hơn 11,9% so với theo TCVN. Khi tổ hợp với các tải trọng khác, Bảng 20 chỉ ra tỷ lệ so sánh giữa các giá trị nội lực trong cột khung trục 9 của nhà UBF từ các tổ hợp tải trọng được xem xét theo EN với theo TCVN. Kết quả so sánh cho thấy các giá trị lực nén N , mô men uốn M_x và lực cắt Q_y theo EN đều lớn hơn so với theo TCVN, cụ thể đối với lực nén N thì lớn hơn từ 11,1 đến 11,7% ở cột giữa và 13,5 đến 14,1% ở cột biên; đối với mô men uốn M_x thì lớn hơn từ 11,5 đến 11,9% ở cột giữa và 8,9 đến 11,7% ở cột biên. Riêng với M_y (uốn quanh trục yếu y) thì tỷ lệ có giá trị nhỏ hơn tại cột giữa ở tầng 4, tuy nhiên trong trường hợp kết cấu khảo sát thì giá trị của M_y là rất nhỏ so với M_x (Bảng 2, 3, 4 và 5).

Bảng 20. Tỷ lệ giá trị nội lực trong cột khung trục 9 cho UBF theo EN so với TCVN

Tầng	Đối với N	Đối với M_x		Đối với M_y		Đối với Q_y
	Chân	Chân	Đỉnh	Chân	Đỉnh	
Cột giữa						
1	1,111	1,119	1,115	1,121	1,121	1,118
4	1,113	1,115	1,115	0,734	0,868	1,115
7	1,117	1,117	1,119	1,348	1,370	1,118
Cột biên						
1	1,135	1,117	1,089	1,135	1,135	1,115
4	1,136	1,108	1,109	1,131	1,131	1,109
7	1,141	1,112	1,111	1,357	1,340	1,111

Tương tự với nhà UBF, Bảng 21 chỉ ra tỷ lệ so sánh giữa các giá trị lực dọc trong cột khung trục 7 của nhà BF theo EN với theo TCVN, không bao gồm kết quả mô men uốn vì đối với khung ngang có giằng thì giá trị mô men uốn trong cột quanh trục x và y đều khá nhỏ. Kết quả cho thấy lực dọc tính theo EN đều lớn hơn theo TCVN, cụ thể đối với cột giữa thì lớn hơn 8,5% ở tầng 1 và tăng đến 24,4% ở tầng 7; đối với cột biên thì lớn hơn 15,9% ở tầng 1 và tăng đến 16,8% ở tầng 7.

Hơn nữa, Bảng 21 cũng chỉ ra tỷ lệ so sánh kết quả lực dọc trong cột khung trục 7 của nhà BF với UBF theo TCVN và EN. Tỷ lệ so sánh cho thấy lực dọc trong cột của nhà BF lớn hơn của nhà UBF, trừ vị trí cột giữa ở tầng 7 và tỷ lệ này thay đổi theo chiều cao nhà. Đối với cột giữa, tỷ lệ tăng từ tầng trên xuống tầng dưới, cụ thể tăng từ 2,1% ở tầng 7 đến 29,3% ở tầng 1. Ngược lại, đối với cột biên thì tỷ lệ lại tăng từ tầng dưới lên tầng trên, cụ thể tăng từ 19,7% ở tầng 1 đến 33,5% ở tầng 7.

Bảng 21. Tỷ lệ giá trị lực dọc trong cột khung trục 7 theo EN với TCVN và của nhà BF với UBF

Tầng	EN/TCVN cho nhà BF		BF/UBF theo TCVN		BF/UBF theo EN	
	Cột giữa	Cột biên	Cột giữa	Cột biên	Cột giữa	Cột biên
1	1,085	1,159	1,293	1,171	1,263	1,197
4	1,172	1,160	1,073	1,248	1,130	1,274
7	1,244	1,168	0,917	1,304	1,021	1,335

Bảng 22 chỉ ra kết quả kiểm tra ổn định tổng thể của cột trong số các trường hợp bất lợi nhất ở Bảng 7 theo TCVN và ở Bảng 14 theo EN cho khung trục 9 của nhà UBF. Kết quả cho thấy khi tính theo TCVN thì trường hợp bất lợi nhất về ổn định của cột có thể xảy ra đối với trục y (ở cột giữa) hoặc trục x (ở cột biên). Trong khi đó, khi tính theo EN thì trường hợp bất lợi nhất về ổn định của cột đều xảy ra đối với trục y ở cả cột giữa và cột biên. Hơn nữa, kết quả kiểm tra ổn định của cột theo EN đều có giá trị lớn hơn so với theo TCVN, cụ thể lớn hơn từ 16,7 đến 25,3% đối với cột giữa và 27,2 đến 32,5% đối với cột biên. Tương tự với nhà UBF, Bảng 23 chỉ ra kết quả so sánh cho nhà BF, theo đó kết quả kiểm tra ổn định tổng thể của cột theo EN có giá trị lớn hơn so với theo TCVN từ 10,5% đến 29,9% trừ vị trí cột giữa tầng 1 có giá trị nhỏ hơn 1,3%.

Bảng 22. So sánh kết quả kiểm tra ổn định của cột khung trục 9 cho UBF theo EN và TCVN

Tầng	Theo TCVN		Theo EN		EN/TCVN
	$N/[N]$	Đối với trục	SF_x hoặc SF_y	Đối với trục	
Cột giữa					
1	1,006	Trục y	1,211	Trục y	1,204
4	0,844	Trục y	0,985	Trục y	1,167
7	0,566	Trục x	0,709	Trục y	1,253
Cột biên					
1	0,766	Trục x	1,003	Trục y	1,310
4	0,632	Trục x	0,804	Trục y	1,272
7	0,486	Trục x	0,644	Trục y	1,325

Bảng 23. So sánh kết quả kiểm tra ổn định của cột khung trục 7 cho BF theo EN và TCVN

Tầng	Theo TCVN		Theo EN		EN/TCVN
	$N/[N]$	Đối với trục	SF_x hoặc SF_y	Đối với trục	
Cột giữa					
1	1,038	Trục y	1,024	Trục y	0,987
4	0,701	Trục y	0,834	Trục y	1,189
7	0,420	Trục y	0,485	Trục y	1,155
Cột biên					
1	0,678	Trục y	0,749	Trục y	1,105
4	0,624	Trục y	0,781	Trục y	1,250
7	0,491	Trục x	0,638	Trục y	1,299

6. Kết luận

Dưới đây là một số kết luận được rút ra từ các kết quả tính toán khảo sát đối với kết cấu nhà thép 10 tầng có và không có giằng cho khung ngang nhà:

- Giá trị tính toán của tải trọng gió theo EN là lớn hơn so với theo TCVN, cụ thể theo phương ngang nhà có giá trị lớn hơn 11,9% ở các tầng và theo phương dọc nhà lớn hơn 14,7% ở 6 tầng dưới và 21,7% ở 4 tầng trên.

- Giá trị nội lực tính toán trong cột từ tổ hợp các tải trọng TX, TTDH, TTNH và GN trong đó GN là tải trọng chủ đạo theo phương ngang nhà khi tính theo EN có giá trị lớn hơn theo TCVN từ 11,1 đến 14,1% đối với lực dọc và từ 10,8 đến 11,9% đối với mô men uốn quanh trục x tại chân cột.

- Kết quả kiểm tra ổn định tổng thể của cột cho thấy theo EN có giá trị tỷ số lớn hơn theo TCVN, cụ thể từ 16,7 đến 32,5% đối với nhà UBF và từ 10,5 đến 29,9% đối với nhà BF. Điều này có nghĩa là kết quả tính toán thiết kế theo EN thiên về an toàn nhiều hơn đáng kể so với theo TCVN.

- Kết quả kiểm tra ổn định của cột theo EN cho thấy đối với trục y luôn là trường hợp bất lợi nhất, trong khi theo TCVN thì có thể xảy ra đối với trục x hoặc y . Điều này cho thấy đối với trục y thì kết quả tính theo EN thiên về an toàn nhiều hơn so với theo TCVN.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của Trường Đại học Xây dựng Hà Nội cho đề tài NCKHSV mã số XD 2024-07.

Tài liệu tham khảo

- [1] TCVN 2737:2023. *Tải trọng và tác động*.
- [2] TCVN 5575:2024. *Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế*.
- [3] EN 1991-1-4:2005+A1:2010. *Eurocode 1 - Actions on structures; Part 1-4: General actions - Wind actions*.
- [4] EN 1993-1-1:2005+A1:2014. *Eurocode 3 - Design of steel structures; Part 1-1: General rules and rules for buildings*.
- [5] QCVN 02:2022/BXD. *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về số liệu điều kiện tự nhiên dùng trong xây dựng*.
- [6] ETABS. *Analysis and design of building systems, Version 20.0.0*.
- [7] EN 1991-1-1:2002. *Eurocode 1 - Actions on structures; Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings*.
- [8] EN 1990:2002+A1:2005. *Eurocode - Basis of structural design*.
- [9] Thuật, Đ. V., Toàn, T. Q. (2023). [Xác định tải trọng gió tác dụng lên nhà công nghiệp một tầng theo EN 1991-1-4 và so sánh với TCVN 2737:1995](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (TCKHCN XD) - ĐHXDHN*, 17(3V):100–115.