

KHUNG NHÀ CÔNG NGHIỆP MỘT TẦNG BẰNG THÉP CÓ CẦU TRỤC ĐƯỢC THIẾT KẾ CHỊU TẢI TRỌNG ĐỘNG ĐẤT VÀ GIÓ

Đình Văn Thuật^{a,*}, Nguyễn Đình Hòa^a, Hồ Viết Chương^b, Trịnh Duy Khánh^a

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

^b*Trường Đại học Vinh, 182 Lê Duẩn, Thành phố Vinh, Nghệ An, Việt Nam*

Nhận ngày 29/08/2019, Sửa xong 11/09/2019, Chấp nhận đăng 11/09/2019

Tóm tắt

Trong bài báo này, tám khung nhà công nghiệp một tầng, một nhịp bằng thép có cầu trục được khảo sát với các thông số về nhịp khung là 20, 26, 32 và 38 m; sức trục là 100 và 200 kN và được xây dựng ở khu vực Hà Nội và Sơn La. Các trường hợp tải trọng được sử dụng để thiết kế khung gồm tĩnh tải, hoạt tải sửa chữa mái, tải cầu trục, tải trọng gió thổi ngang và dọc nhà, tải trọng động đất tĩnh tương đương tác dụng theo phương ngang và đứng. Các trường hợp tổ hợp nội lực được xác định tương ứng với các hệ số tổ hợp khi xét trường hợp tải trọng động đất có ảnh hưởng chính, tải trọng gió có ảnh hưởng chính và tải trọng gió có ảnh hưởng tương tự như các hoạt tải khác. Kết quả tổ hợp mô men uốn ở chân cột và đỉnh cột do tải trọng động đất có xu hướng lớn hơn so với do tải trọng gió khi nhịp khung tăng, đặc biệt đối với trường hợp khung ở khu vực Sơn La có động đất mạnh và gió yếu. Trọng lượng của cột và dầm khung được thiết kế chịu tải trọng động đất là lớn hơn đáng kể so với chịu tải trọng gió, phụ thuộc vào chiều dài nhịp khung và độ lớn tương đối của động đất so với gió.

Từ khoá: nhà công nghiệp một tầng; khung thép; chiều dài nhịp; tải trọng động đất; tải trọng gió; tổ hợp nội lực; hệ số tổ hợp nội lực.

SINGLE-STOREY INDUSTRIAL STEEL BUILDING FRAMES WITH CRANES DESIGNED TO WITHSTAND STATIC EARTHQUAKE AND WIND LOADS

Abstract

In this paper, eight one-span single-storey industrial steel building frames with cranes were investigated with the parameters on frame spans of 20, 26, 32 and 38 m; crane capacities of 100 and 200 kN and construction locations in Hanoi and Son La regions. Load cases to be used for design of the frames included dead loads, roof live loads, crane loads, horizontal and longitudinal wind loads, and equivalent horizontal and vertical static earthquake loads. Numerous cases of internal force combination were defined in accordance with the combination coefficients when considering that the earthquake load had a major influence, the wind load had a major influence and the wind load had the same effect as the other live load activities. As a result, the bending moments at the bottom and top of the column combined due to the earthquake load tended to be larger than those combined due to the wind load when the span of the frame increases, especially for the case of frames constructed in the Son La region with strong earthquakes and weak winds. In addition, the weights of the frame columns and beams designed to withstand the earthquake loads were considerably greater than those designed to the wind loads, depending on the span lengths and relative magnitudes of the earthquakes against winds.

Keywords: single-storey industrial buildings; steel frames; span lengths; earthquake loads; wind loads; internal force combination; combination coefficients.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(5V\)-02](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(5V)-02) © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: thuatvandin@ gmail.com (Thuật, Đ. V.)

1. Mở đầu

Kết cấu khung nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục được yêu cầu thiết kế chịu các loại tải trọng gồm: tĩnh tải, hoạt tải sửa chữa mái, tải cầu trục, gió theo phương ngang và dọc nhà, động đất tác dụng theo phương ngang và đứng [1–5]. Kết cấu loại này có đặc điểm là mặc dù chiều cao tổng thể của khung thấp nhưng chiều cao của cột và chiều dài của nhịp khung đều lớn, tải trọng từ cầu trục được truyền đến vai cột thông qua dầm đỡ cầu trục và có giá trị lớn hơn nhiều so với tải trọng từ mái [6–8]. Kết cấu khung như vậy được coi là loại kết cấu không đều đặn theo phương đứng về sơ đồ kết cấu và tải trọng tác dụng [2–5]. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng kết cấu khung nhà công nghiệp một tầng bằng thép được xây dựng ở một số vùng của Việt Nam cần được tính toán thiết kế chịu động đất, đặc biệt ở những vùng có động đất mạnh nhưng tải trọng gió nhỏ, như ở những vùng Tây Bắc [6–8]. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu cũng đã chỉ ra ảnh hưởng của động đất tác dụng theo phương đứng là đáng kể và cần được kể đến trong tính toán thiết kế khung [8].

Quan điểm thiết kế kháng chấn kết cấu công trình nhà được chấp nhận thực hiện theo hai giai đoạn [1–5, 8]. Trong giai đoạn thiết kế thứ nhất, phương pháp phân tích kết cấu không phá hoại dưới tác dụng của tải trọng động đất tĩnh tương đương được sử dụng. So với tải trọng động đất thực tế tác dụng lên kết cấu khi giả thiết kết cấu làm việc đàn hồi tuyến tính thì tải trọng động đất sử dụng trong thiết kế ở giai đoạn này đã được lấy giảm đi đáng kể bằng cách, chẳng hạn, chia cho hệ số ứng xử được quy định trong tiêu chuẩn thiết kế [2, 3]. Tiếp theo, trong giai đoạn thiết kế thứ hai, phương pháp phân tích kết cấu phi tuyến theo vật liệu được sử dụng để đánh giá khả năng chịu lực và khả năng biến dạng dẻo của kết cấu dưới tác dụng của tải trọng động đất tĩnh tăng dần hoặc dưới tác dụng của các băng gia tốc nền [9–12].

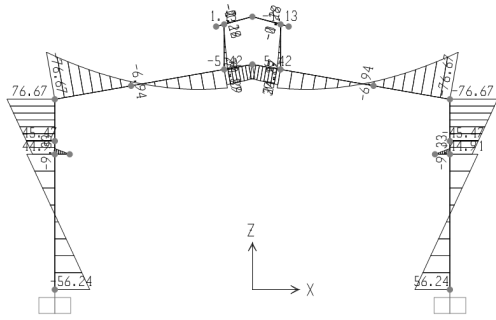
Trong bài báo này, các khung nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục được trình bày ở [8] tiếp tục được sử dụng để khảo sát với các số liệu gồm sơ đồ khung có nhịp 20, 26, 32 và 38 m; sức trục 100 và 200 kN; địa điểm xây dựng ở Hà Nội và Sơn La. Các khung được tính toán thiết kế trong giai đoạn thứ nhất để đủ chịu được các trường hợp tổ hợp nội lực nguy hiểm do tải trọng động đất và gió gây ra. Kết quả tính đã chỉ ra rằng trong một số trường hợp tiết diện của cột và dầm khung khi được thiết kế chịu động đất là lớn hơn đáng kể so với khi được thiết kế chịu tải trọng gió, phụ thuộc vào chiều dài nhịp khung và độ lớn tương đối của động đất so với gió.

2. Các khung khảo sát, tải trọng tác dụng và kết quả nội lực

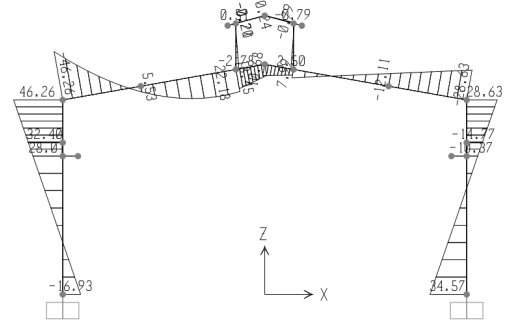
Các thông số để thiết kế khung nhà công nghiệp một tầng một nhịp bằng thép có cầu trục được sử dụng để khảo sát trong bài báo này là giống như trong [8], được ký hiệu là H-20-100, H-26-100, H-32-100 và H-38-100 tương ứng với khu vực Hà Nội có động đất và gió đều mạnh; và S-20-200, S-26-200, S-32-200 và S-38-200 tương ứng với khu vực Sơn La có động đất rất mạnh nhưng gió yếu. Ví dụ, ký hiệu khung H-20-100 có nghĩa là nhịp khung 20 m, sức trục 100 kN và được xây dựng ở khu vực Hà Nội.

Việc xác định các loại tải trọng tác dụng lên khung được trình bày ở [8], bao gồm tĩnh tải, hoạt tải sửa chữa mái, tải cầu trục, tải gió thổi ngang và dọc nhà, tải trọng động đất tĩnh tương đương tác dụng theo phương ngang và đứng [1–3, 13]. Trong bài báo này, tiết diện của cột và dầm khung sẽ được xác định lại như trình bày ở Bảng 8, do vậy tĩnh tải và tải trọng động đất tĩnh tương đương có giá trị thay đổi so với [8]. Lý do là vì khi tiết diện của cột và dầm khung tăng lên thì trọng lượng và độ cứng của khung tăng, chu kỳ dao động riêng giảm và hình dạng biên độ dao động thay đổi.

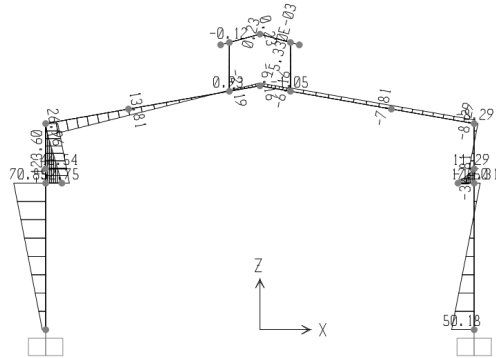
Nội lực trong khung do từng trường hợp tải trọng tác dụng được xác định từ kết quả phân tích kết cấu với giả thiết vật liệu làm việc đàn hồi tuyến tính và sử dụng phần mềm SAP, trong đó liên kết ở



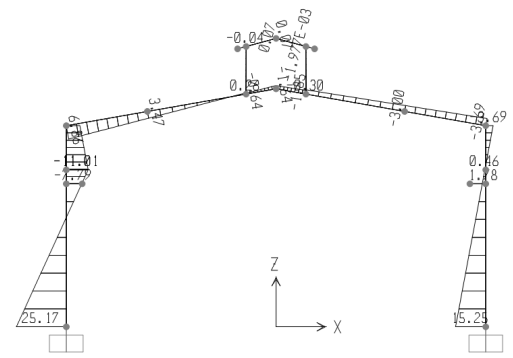
(a) Tĩnh tải



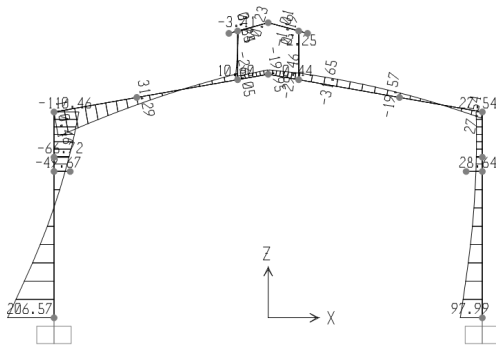
(b) Hoạt tải chất nửa trái



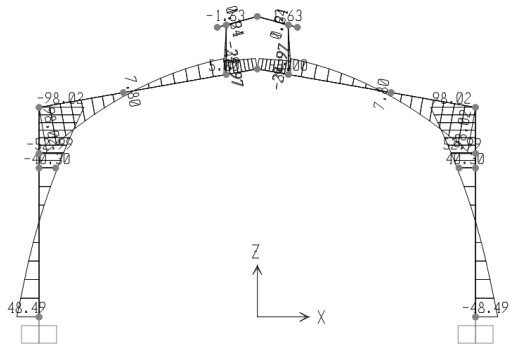
(c) $D_{\max}$ ở cột trái, $D_{\min}$ ở cột phải



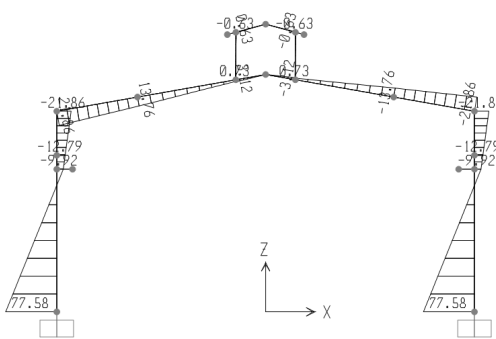
(d) $T_{\max}$ ở cột trái



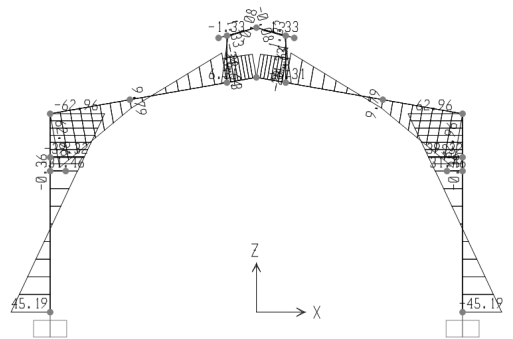
(e) Tải gió ngang thổi từ trái



(f) Tải gió thổi dọc



(g) Tải động đất ngang từ trái



(h) Tải động đất đứng từ dưới lên

Hình 1. Biểu đồ mô men uốn trong khung H-20-100 do các trường hợp tải trọng (kNm)

chân cột được coi là ngàm, liên kết ở đỉnh cột với dầm mái được coi là cứng và mô đun đàn hồi của thép là $2,1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$. Tải trọng động đất tác dụng theo phương ngang có thể từ bên trái khung hoặc ngược lại, và khi tác dụng theo phương đứng có thể từ trên xuống hoặc từ dưới lên trên. Tương tự, đối với tải trọng gió tác dụng theo phương ngang có thể từ bên trái sang hoặc ngược lại. Đối với tải cầu trục, $D_{\max}$ có thể đặt ở cột trái và $D_{\min}$ đặt ở cột phải hoặc ngược lại; $T_{\max}$ có thể tác dụng ở cột trái hoặc cột phải, theo 2 chiều từ bên trái hoặc ngược lại [14–16].

Hình 1 minh họa kết quả biểu đồ mô men uốn được phân tích cho khung H-20-100 dưới tác dụng của các trường hợp tải trọng được xem xét. Tiết diện của cột và dầm khung được trình bày ở Bảng 8. Các trường hợp khung chịu tĩnh tải, hoạt tải chất đều trên mái, gió thổi dọc nhà và động đất tác dụng theo phương đứng đều có biểu đồ mô men uốn là đối xứng (Hình 1(a), 1(b), 1(f) và 1(h)). Cần lưu ý trường hợp khung chịu tải trọng gió ngang nhà (Hình 1(e)) có giá trị mô men uốn ở chân cột phía gió đẩy lớn hơn ở chân cột phía gió hút và đồng thời mô men ở chân cột phía gió hút luôn cùng dấu với mô men do tĩnh tải và hoạt tải mái gây ra (Hình 1(a) và 1(b)). Mô men ở chân cột phía gió đẩy mặc dù có giá trị lớn hơn nhưng lại trái dấu so với mô men do tĩnh tải và hoạt tải mái. Điều này ảnh hưởng đến kết quả tổ hợp nội lực do tải trọng gió sẽ được trình bày ở mục tiếp theo.

3. Tổ hợp nội lực và xác định tiết diện của cột và dầm khung

3.1. Các trường hợp tổ hợp và hệ số tổ hợp nội lực

Với mục đích so sánh tác động do tải trọng động đất với tải trọng gió, trong bài báo này chỉ xét những trường hợp tổ hợp mà trong đó có tải trọng động đất tác dụng đồng thời theo phương ngang và đứng, hoặc có tải trọng gió thổi theo phương ngang hoặc phương dọc nhà. Các hệ số tổ hợp nội lực tương ứng với hai trường hợp tải trọng này được lấy giống nhau. Trong thực tế thiết kế, số lượng tổ hợp còn nhiều hơn, chẳng hạn xét đến những tổ hợp chỉ do tĩnh tải với hoạt tải mái và tải cầu trục.

Quan điểm thiết kế kháng chấn đã cho thấy tải trọng động đất được phân loại là tải đặc biệt và dưới tác dụng của tải trọng động đất lớn nhất có thể xảy ra, kết cấu công trình được thiết kế cho phép hình thành biến dạng dẻo nhưng không cho phép sụp đổ [1–5]. Trong khi đó, dưới tác dụng của tải trọng gió cũng như của các tải trọng thông thường khác, kết cấu công trình bằng thép được thiết kế với yêu cầu ứng xử trong giới hạn đàn hồi tuyến tính. Do vậy, tác dụng của tải trọng động đất thường được xét có ảnh hưởng chính, có nghĩa là hệ số tổ hợp nội lực tương ứng với tải trọng động đất được lấy bằng 1,0. Bên cạnh đó, các hệ số tổ hợp nội lực tương ứng với các hoạt tải khác khi tổ hợp với tải trọng động đất sẽ có giá trị nhỏ hơn tùy theo mức độ ảnh hưởng của nó được xét, chẳng hạn được lấy bằng 0,8 và 0,6 [1]. Đối với tác dụng của tải trọng gió thì ảnh hưởng của nó có thể được xét là chính với hệ số tổ hợp nội lực được lấy bằng 1,0 như trường hợp tải trọng động đất, hoặc cũng có thể được xét có ảnh hưởng giống như những hoạt tải khác với các hệ số tổ hợp nội lực được lấy bằng nhau, chẳng hạn được lấy bằng 0,9 [1].

Bảng 1 trình bày 10 trường hợp tổ hợp nội lực trong khung do tải trọng động đất tĩnh ngang và đứng tương đương tác dụng đồng thời, được ký hiệu CE1, ..., CE10, trong đó ký hiệu $D_{\max}$ và $D_{\min}$ là tải trọng cầu trục lớn nhất và nhỏ nhất tác dụng theo phương đứng lên hai vai cột; và $T_{\max}$ là lực xô ngang lớn nhất từ cầu trục tác dụng ở cao trình mặt trên của dầm đỡ cầu trục. Hệ số tổ hợp nội lực do tải trọng động đất tác dụng đồng thời theo phương ngang và đứng lần lượt là 1,0 và 0,3 hoặc ngược lại là 0,3 và 1,0 [2, 3]. Trong nghiên cứu này, với mục đích so sánh, tải trọng động đất và tải trọng gió được xét là những tải trọng có ảnh hưởng chính so với các hoạt tải khác; cụ thể là hệ số tổ hợp nội lực do tải trọng động đất và gió được lấy là 1,0, trong khi do hoạt tải mái và tải cầu trục được lấy tương ứng là 0,8 và 0,6 hoặc ngược lại là 0,6 và 0,8 [1]. Trong thực tế còn có những trường hợp khác chẳng hạn tải trọng cầu trục có thể được xét có ảnh hưởng chính so với những hoạt tải khác.

Bảng 1. Hệ số tổ hợp nội lực với tải trọng động đất được xét có ảnh hưởng chính

Tải trọng	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6	CE7	CE8	CE9	CE10
Tĩnh tải	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tải động đất tĩnh ngang	1,0	0,3	1,0	1,0	0,3	0,3	1,0	1,0	0,3	0,3
Tải động đất tĩnh đứng	0,3	1,0	0,3	0,3	1,0	1,0	0,3	0,3	1,0	1,0
Hoạt tải mái chất đều	0	0	0,8	0	0,8	0	0,8	0,6	0,8	0,6
Tải cầu trục $D_{\max}, D_{\min}$	0	0	0	0,8	0	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8
Tải cầu trục $T_{\max}$	0	0	0	0,8	0	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8

Tương tự, Bảng 2 trình bày 10 trường hợp tổ hợp nội lực trong khung do tải trọng gió thổi theo phương ngang nhà hoặc theo phương dọc nhà, được ký hiệu CW1, ..., CW10. Các hệ số tổ hợp nội lực do trường hợp tải trọng gió ở Bảng 2 là tương ứng với trường hợp do tải trọng động đất ở Bảng 1, chỉ khác ở chỗ tải trọng gió thổi theo phương ngang nhà và phương dọc nhà không thể xảy ra đồng thời với nhau, do vậy hệ số 0,3 ở Bảng 1 được thay thế bằng hệ số 0 ở Bảng 2.

Bảng 2. Hệ số tổ hợp nội lực với tải trọng gió được xét có ảnh hưởng chính

Tải trọng	CW1	CW2	CW3	CW4	CW5	CW6	CW7	CW8	CW9	CW10
Tĩnh tải	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tải gió ngang nhà	1,0	0	1,0	1,0	0	0	1,0	1,0	0	0
Tải gió dọc nhà	0	1,0	0	0	1,0	1,0	0	0	1,0	1,0
Hoạt tải mái chất đều	0	0	0,8	0	0,8	0	0,8	0,6	0,8	0,6
Tải cầu trục $D_{\max}, D_{\min}$	0	0	0	0,8	0	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8
Tải cầu trục $T_{\max}$	0	0	0	0,8	0	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8

Ngoài 10 tổ hợp ở trên, Bảng 3 trình bày thêm 6 trường hợp tổ hợp nội lực trong khung do tải trọng gió, với ký hiệu CW11, ..., CW16, trong đó tải trọng gió được xét có ảnh hưởng giống như các hoạt tải khác; cụ thể là hệ số tổ hợp nội lực được lấy bằng 0,9 cho cả tải trọng gió và các loại hoạt tải khác. Kết quả tính toán từ trường hợp tổ hợp nội lực theo Bảng 3 sẽ được so sánh với kết quả tính theo các tổ hợp ở Bảng 2, để từ đó chỉ ra sự khác nhau của việc sử dụng các hệ số tổ hợp nội lực khi xét tải trọng gió có ảnh hưởng chính hoặc có ảnh hưởng tương tự như các hoạt tải khác.

Bảng 3. Hệ số tổ hợp nội lực với tải trọng gió được xét có ảnh hưởng như các hoạt tải khác

Tải trọng	CW11	CW12	CW13	CW14	CW15	CW16
Tĩnh tải	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tải gió ngang nhà	0,9	0,9	0	0	0,9	0
Tải gió dọc nhà	0	0	0,9	0,9	0	0,9
Hoạt tải mái chất đều	0,9	0	0,9	0	0,9	0,9
Tải cầu trục $D_{\max}, D_{\min}$	0	0,9	0	0,9	0,9	0,9
Tải cầu trục $T_{\max}$	0	0,9	0	0,9	0,9	0,9

3.2. Kết quả tổ hợp nội lực

Nội lực trong cột và dầm khung được tổ hợp theo những nguyên tắc trình bày ở Bảng 1–3 tương ứng với tải trọng động đất và gió. Tại mỗi tiết diện nguy hiểm của cột và dầm, xét ba trường hợp cặp nội lực gồm: mô men uốn lớn nhất, lực dọc trục và lực cắt tương ứng; lực dọc trục lớn nhất, mô men uốn và lực cắt tương ứng; và lực cắt lớn nhất, mô men uốn và lực dọc tương ứng.

Bảng 4 trình bày kết quả tổ hợp theo trường hợp mô men có giá trị lớn nhất ở những vị trí chân cột, đỉnh cột và đoạn dầm có tiết diện không đổi của các khung được khảo sát trong số 10 tổ hợp CE1, ..., CE10 do tải trọng động đất. Giá trị mô men trong cột mang dấu dương khi gây kéo ở thớ bên trái cột và mang dấu âm khi ở phía bên phải cột như được minh họa ở Hình 1. Kết quả tổ hợp cho thấy giá trị tổ hợp mô men uốn lớn nhất đối với các khung thép nhà công nghiệp một tầng được khảo sát thường thuộc các trường hợp tổ hợp CE5, 7 và 9 đối với vị trí ở chân cột, tổ hợp CE5 và 9 đối với đỉnh cột và tổ hợp CE7, 9 và 10 đối với đoạn giữa dầm. Kết quả đã chỉ ra rằng mô men trong cột và dầm đều tăng cùng với chiều dài nhịp khung. Giá trị mô men ở đỉnh cột bằng khoảng 90 đến 95% ở chân cột. Đối với các khung một tầng một nhịp được khảo sát, giá trị mô men ở tại đầu dầm được xác định tương ứng với giá trị mô men ở đỉnh cột.

Bảng 4. Giá trị mô men lớn nhất và lực dọc tương ứng trong số 10 tổ hợp CE1, ..., CE10 do tải trọng động đất (kNm, kN)

Khung	Tại chân cột		Tại đỉnh cột		Tại đoạn giữa dầm	
	Mô men	Lực dọc	Mô men	Lực dọc	Mô men	Lực dọc
H-20-100	-230,62	-122,00	213,29	-64,70	-35,39	-44,15
H-26-100	-331,36	-143,66	321,68	-81,48	-49,34	-54,85
H-32-100	-475,09	-176,80	454,48	-96,36	-71,80	-91,06
H-38-100	-658,10	-205,53	608,31	-114,60	-104,62	-142,91
S-20-200	-394,87	-154,68	320,99	-91,46	-60,87	-80,99
S-26-200	-556,08	-179,59	410,88	-100,71	-92,29	-104,77
S-32-200	-738,23	-205,43	630,38	-123,65	-133,05	-149,65
S-38-200	-911,97	-185,65	798,24	-142,96	-173,64	-198,23

Bảng 5 trình bày kết quả tổ hợp theo mô men uốn có giá trị lớn nhất trong số 10 tổ hợp CW1, ..., CW10 do tải trọng gió khi được xét có ảnh hưởng chính. Kết quả cho thấy giá trị mô men ở đỉnh cột nhỏ hơn nhiều so với ở chân cột. Điều này cũng có nghĩa là giá trị mô men uốn ở đầu dầm do tải trọng gió có thể nhỏ hơn so với do tải trọng động đất. Tỷ số mô men ở đỉnh cột so với mô men ở chân cột tăng theo chiều dài của nhịp khung, cụ thể là 49 và 55% tương ứng với khung H-20-100 và S-20-200 có nhịp 20 m tăng lên đến 62 và 71% tương ứng với khung H-38-100 và S-38-200 có nhịp 38 m. Tương tự, Bảng 6 trình bày kết quả tổ hợp theo mô men uốn lớn nhất trong số 6 tổ hợp CW11, ..., CW16 do tải trọng gió khi được xét có ảnh hưởng tương tự với các hoạt tải khác.

Tiếp theo, các kết quả tổ hợp nội lực do tải trọng gió và động đất được so sánh thông qua các tỷ số k_W và k_E như sau:

$$k_W = M_{CW}^1 / M_{CW}^2 \text{ và } k_E = M_{CE}^1 / M_{CE}^2 \quad (1)$$

trong đó $M_{CW}^1 = \max \{M_{CW1}; \dots; M_{CW10}\}$ là giá trị mô men lớn nhất trong số 10 tổ hợp CW1, ..., CW10 do tải trọng gió khi được xét có ảnh hưởng chính; $M_{CW}^2 = \max \{M_{CW11}; \dots; M_{CW16}\}$ là giá trị mô men lớn nhất trong số 6 tổ hợp CW11, ..., CW16 do tải trọng gió khi được xét có ảnh hưởng

Bảng 5. Giá trị mô men lớn nhất và lực dọc tương ứng trong số 10 tổ hợp CW1, CW2, ..., CW10 do tải trọng gió khi được xét có ảnh hưởng chính (kNm, kN)

Khung	Tại chân cột		Tại đỉnh cột		Tại đoạn giữa dầm	
	Mô men	Lực dọc	Mô men	Lực dọc	Mô men	Lực dọc
H-20-100	-237,47	-96,74	116,23	-29,93	-39,11	-31,36
H-26-100	-294,93	-111,19	168,13	-38,22	-55,76	-45,73
H-32-100	-390,46	-138,36	238,25	-46,47	-64,32	-63,73
H-38-100	-508,33	-159,19	314,66	-55,65	-83,91	-85,06
S-20-200	-242,75	-138,35	132,56	-45,56	-43,62	-42,35
S-26-200	-323,44	-151,84	187,16	-52,66	-52,66	-54,23
S-32-200	-426,55	-171,68	302,72	-62,77	-70,86	-81,71
S-38-200	-561,94	-195,88	396,60	-74,93	-89,58	-107,76

Bảng 6. Nội lực lớn nhất trong số 6 tổ hợp CW11, CW12, ..., CW16 do tải trọng gió khi được xét có ảnh hưởng như các hoạt tải khác (kNm, kN)

Khung	Tại chân cột		Tại đỉnh cột		Tại đoạn giữa dầm	
	Mô men	Lực dọc	Mô men	Lực dọc	Mô men	Lực dọc
H-20-100	-249,66	-110,51	130,07	-34,94	-40,20	-37,93
H-26-100	-316,17	-136,18	187,81	-44,54	-58,30	-53,62
H-32-100	-419,00	-172,51	266,99	-53,98	-66,79	-73,29
H-38-100	-542,88	-199,40	353,14	-64,19	-85,13	-97,39
S-20-200	-263,75	-153,06	158,58	-53,64	-45,88	-49,48
S-26-200	-356,34	-171,61	205,72	-53,36	-57,40	-64,20
S-32-200	-475,54	-210,76	329,38	-69,32	-76,69	-93,83
S-38-200	-612,90	-239,93	428,64	-81,87	-93,37	-121,06

tương tự với các hoạt tải khác; $M_{CE}^1 = \max \{M_{CE1}; \dots; M_{CE10}\}$ là giá trị mô men lớn nhất trong số 10 tổ hợp CE1, ..., CE10 do tải trọng động đất; $M_{CW1}, \dots, M_{CW16}$ là mô men uốn tương ứng với tổ hợp CW1, ..., CW16; và $M_{CE1}, \dots, M_{CE10}$ là mô men uốn tương ứng với tổ hợp CE1, ..., CE10.

Bảng 7 chỉ ra kết quả nhận được của các tỷ số k_{W1}, k_{W2} và k_{W3} tương ứng với vị trí tại chân cột, đỉnh cột và ở đoạn giữa dầm của các khung được khảo sát. Kết quả đã chỉ ra rằng giá trị nội lực được tổ hợp khi xét tải trọng gió có ảnh hưởng chính (Bảng 2) là nhỏ hơn khi xét tải trọng gió có ảnh hưởng tương tự như các hoạt tải khác (Bảng 3), cụ thể bằng khoảng 90 đến 95% ở chân cột, 84 đến 94% ở đỉnh cột và 92 đến 99% ở đoạn giữa dầm. Như vậy có thể nói rằng đối với các khung nhà công nghiệp một tầng được khảo sát thì tổ hợp nội lực khi tải trọng gió được xét có ảnh hưởng tương tự như các hoạt tải khác là nguy hiểm hơn khi được xét có ảnh hưởng chính.

Đồng thời, Bảng 7 chỉ ra kết quả nhận được của các tỷ số k_{E1}, k_{E2} và k_{E3} tương ứng với vị trí tại chân cột, đỉnh cột và ở đoạn giữa dầm cho các khung được khảo sát. Giá trị mô men uốn do tải trọng động đất nhìn chung là lớn hơn do tải trọng gió, trừ trường hợp ở chân cột khung H-20-100 và ở đoạn giữa dầm khung H-20-100 và H-26-100. Các tỷ số này có xu hướng tăng theo chiều dài của nhịp khung, cụ thể ở vị trí chân cột có giá trị trong khoảng 0,92 đến 1,21 đối với các khung ở Hà Nội

Bảng 7. Tỷ số so sánh kết quả tổ hợp nội lực do động đất và gió

Khung	Giữa tổ hợp khác nhau do gió			Giữa tổ hợp động đất và gió		
	k_{W1}	k_{W2}	k_{W3}	K_{E1}	K_{E2}	K_{E3}
H-20-100	0,95	0,89	0,97	0,92	1,64	0,88
H-26-100	0,93	0,90	0,96	1,05	1,71	0,85
H-32-100	0,93	0,89	0,96	1,13	1,70	1,07
H-38-100	0,94	0,89	0,99	1,21	1,72	1,23
S-20-200	0,92	0,84	0,95	1,50	2,02	1,33
S-26-200	0,91	0,91	0,92	1,56	2,00	1,61
S-32-200	0,90	0,92	0,92	1,55	1,91	1,73
S-38-200	0,92	0,93	0,96	1,49	1,86	1,86

và 1,5 đến 1,56 đối với các khung ở Sơn La. Điều này có nghĩa là ảnh hưởng của tải trọng động đất trong khung nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục là lớn hơn đáng kể so với tải trọng gió, phụ thuộc vào chiều dài nhịp khung và độ lớn tương đối của động đất so với gió. Lưu ý trong thực tế nếu tổ hợp nội lực khi tải trọng động đất được xét có ảnh hưởng tương tự như các hoạt tải khác thì sẽ cho kết quả nguy hiểm hơn trường hợp khi được xét có ảnh hưởng chính, do vậy các tỷ số k_{E1} , k_{E2} và k_{E3} ở Bảng 7 sẽ có giá trị lớn hơn.

3.3. Xác định tiết diện của cột và dầm khung chịu động đất

Tiết diện của cột và dầm khung được thiết kế để đủ chịu được các tổ hợp nội lực $CE1$, ... $CE10$ do tải trọng động đất như đã chỉ ra ở Bảng 1, trong đó kết cấu được giả thiết ứng xử đàn hồi tuyến tính về vật liệu dưới tác dụng của các loại tải trọng, bao gồm cả tải trọng động đất tĩnh tương đương tác dụng đồng thời theo phương ngang và đứng. Bảng 8 chỉ ra kết quả xác định tiết diện của cột và dầm khung khi chịu tải trọng động đất, trong đó phần bôi đậm thể hiện tiết diện tăng lên so với trường hợp được xác định khi chịu tải trọng gió như đã trình bày trong [8]. Kết quả cho thấy hai trường hợp khung H-20-100 và H-26-10 có tiết diện được xác định khi chịu tải trọng gió là lớn hơn khi chịu tải trọng động đất.

Việc kiểm tra khả năng chịu lực của tiết diện cột và dầm khung được thực hiện đảm bảo các điều kiện về ổn định tổng thể của cột theo phương trong và ngoài mặt phẳng khung; bền chịu mô men uốn, lực cắt và lực dọc trục; ổn định cục bộ của các bản thép; chuyển vị ngang ở đỉnh cột và đứng ở giữa dầm mái [14–17]. Đối với khung nhà công nghiệp một tầng bằng thép, chuyển vị ngang cho phép ở đỉnh cột là 1/300 chiều cao của cột và chuyển vị đứng cho phép ở giữa dầm mái là 1/250 nhịp dầm. Cường độ tính toán của vật liệu thép là 210 N/mm². Thanh chống cột khung theo phương dọc nhà được đặt ở cao trình 3,7 m tính từ mặt móng. Kết quả tính kiểm tra cho thấy tiết diện cột và dầm khung chủ yếu được xác định theo điều kiện về chuyển vị, với yêu cầu phải nhỏ hơn trong phạm vi 5% so với giá trị cho phép. Bề dày bản bụng được chọn đảm bảo điều kiện ổn định cục bộ và cấu tạo.

Bảng 9 chỉ ra kết quả chuyển vị ngang lớn nhất ở đỉnh cột và chuyển vị đứng ở giữa dầm mái khi chịu động đất, trong đó chuyển vị lớn nhất ở đỉnh cột nhỏ hơn chuyển vị cho phép từ 0,05 đến 4,73%, trừ trường hợp khung H-20-100 và H-26-100 có tiết diện được xác định theo điều kiện chịu tải trọng gió nên chuyển vị ngang lớn nhất ở đỉnh cột khi chịu động đất nhỏ hơn chuyển vị cho phép tương ứng là 11,8 và 11,54%.

Bảng 8. Tiết diện của cột và dầm khung được xác định đủ chịu 10 tổ hợp nội lực CE1, ..., CE10 do tải trọng động đất (mm)

Khung	Bản cánh cột	Bản bụng cột	Bản cánh dầm	Bản bụng dầm	
				Tại đầu dầm	Tại khoảng giữa dầm
H-20-100	300 × 10	550 × 10	300 × 10	480 × 8	300 × 8
H-26-100	300 × 10	650 × 10	300 × 10	650 × 8	400 × 8
H-32-100	300 × 10	720 × 10	300 × 10	600 × 8	470 × 8
H-38-100	300 × 12	760 × 12	300 × 12	670 × 10	480 × 10
S-20-200	300 × 12	680 × 10	300 × 10	500 × 8	350 × 8
S-26-200	300 × 14	780 × 12	300 × 10	580 × 8	380 × 8
S-32-200	300 × 14	820 × 14	300 × 12	660 × 10	450 × 10
S-38-200	300 × 16	880 × 14	300 × 14	700 × 12	450 × 12

Bảng 9. Chuyển vị ngang lớn nhất ở đỉnh cột và chuyển đứng lớn nhất ở giữa dầm chịu 10 tổ hợp nội lực CE1, ..., CE10 do tải trọng động đất (mm)

Khung	Chuyển vị ngang ở đỉnh cột		Chuyển vị đứng ở giữa dầm	
	Lớn nhất	Cho phép	Lớn nhất	Cho phép
H-20-100	27,49	31,17	51,28	77,72
H-26-100	27,57	31,17	69,93	101,32
H-32-100	30,17	31,67	121,24	125,04
H-38-100	31,66	31,80	128,95	148,86
S-20-200	31,15	31,17	59,02	77,18
S-26-200	31,17	31,17	87,84	100,77
S-32-200	30,90	31,67	127,96	124,61
S-38-200	31,70	31,80	135,94	148,35

Bảng 10 trình bày kết quả kiểm tra ổn định tổng thể của cột theo phương trong và ngoài mặt phẳng khung và kiểm tra bền chịu nén uốn, trong đó M và N là cặp mô men uốn và lực dọc trục nguy hiểm nhất. Kết quả cho thấy ứng suất pháp σ trong cột là khá nhỏ so với cường độ tính toán của thép, cụ thể trong khoảng 35 đến 50% theo ổn định tổng thể ngoài mặt phẳng khung; 50 đến 72% theo ổn định tổng thể trong mặt phẳng khung; và 56 đến 87% theo bền chịu nén uốn. Kết quả tính cho thấy ứng suất theo bền chịu nén uốn là lớn hơn khoảng 1,15 đến 1,22 lần ứng suất theo ổn định tổng thể trong mặt phẳng khung. Điều này có nghĩa là tiết diện cột của các khung được khảo sát khi chịu động đất được quyết định bởi các điều kiện về chuyển vị ngang, ổn định cục bộ của bản thép cột và có thể về bền chịu nén uốn, không phụ thuộc vào điều kiện ổn định tổng thể trong và ngoài mặt phẳng khung.

Bảng 11 chỉ ra kết quả trọng lượng của cột và dầm khung được thiết kế chịu các tổ hợp nội lực do tải trọng động đất với tiết diện được trình bày ở Bảng 8 và do tải trọng gió với tiết diện được trình bày ở [8]. Trọng lượng này chưa kể đến các chi tiết liên kết và gia cường của cột và dầm. Trong Bảng 11, tỷ lệ được xác định bằng trọng lượng của cột hoặc dầm do tải trọng động đất chia tương ứng cho trọng lượng do tải trọng gió. Đối với khung H-20-100 và H-26-100, tiết diện của cột và dầm được quyết định bởi tải trọng gió nên tỷ lệ này có giá trị là 1,0. Đối với các khung khác, tiết diện của cột và dầm

được quyết định bởi tải trọng động đất và kết quả cho thấy trong trường hợp này trọng lượng của cột là lớn hơn khoảng 1,03 đến 1,57 lần so với trường hợp khi được xác định chịu tải trọng gió. Tỷ lệ này có xu hướng phụ thuộc vào chiều dài của nhịp khung vì do có xét đến ảnh hưởng của động đất tác dụng theo phương đứng [8].

Bảng 10. Kết quả kiểm tra ổn định tổng thể của cột khung từ 10 tổ hợp CE1, ..., CE10 do tải trọng động đất

Khung	Ổn định trong mặt phẳng			Ổn định ngoài mặt phẳng			Bền chịu nén uốn σ (N/mm ²)
	M (kNm)	N (kN)	σ (N/mm ²)	M (kNm)	N (kN)	σ (N/mm ²)	
H-20-100	230,62	122,00	102,84	121,57	122,00	72,84	118,52
H-26-100	331,36	143,66	117,15	176,53	143,66	83,17	137,30
H-32-100	475,09	176,80	142,62	252,88	176,80	101,71	171,70
H-38-100	658,10	205,53	152,02	355,21	205,53	105,42	183,23
S-20-200	394,87	154,68	113,34	222,93	154,68	82,60	134,70
S-26-200	556,08	179,59	112,62	339,63	179,59	85,84	135,02
S-32-200	735,29	219,41	130,61	426,42	219,41	97,22	159,21
S-38-200	970,90	234,54	142,43	562,59	234,54	104,48	173,35

Bảng 11. Trọng lượng của cột và dầm khung được thiết kế chịu các tổ hợp nội lực do tải trọng động đất và gió (kN)

Khung	Trọng lượng cột			Trọng lượng dầm mái		
	Do động đất	Do gió	Tỷ lệ	Do động đất	Do gió	Tỷ lệ
H-20-100	16,87	16,87	1,00	13,44	13,44	1,00
H-26-100	16,44	16,44	1,00	19,35	19,35	1,00
H-32-100	19,68	19,09	1,03	24,64	23,99	1,03
H-38-100	24,45	21,72	1,13	36,51	29,83	1,22
S-20-200	20,54	16,87	1,22	13,99	13,99	1,00
S-26-200	27,05	17,18	1,57	18,86	18,86	1,00
S-32-200	29,65	19,39	1,53	29,91	24,06	1,24
S-38-200	32,84	21,72	1,51	42,41	30,31	1,40

4. Kết luận

Trong bài báo này, tám khung nhà công nghiệp một tầng, một nhịp bằng thép có cầu trục được thiết kế chịu tải trọng động đất và gió với các thông số gồm nhịp khung 20, 26, 32 và 38 m, sức trục 100 và 200 kN, và địa điểm xây dựng ở khu vực Hà Nội và Sơn La. Tải trọng động đất được xác định tác dụng đồng thời lên khung theo phương ngang và đứng. Các trường hợp tổ hợp nội lực được xét gồm 10 tổ hợp CE1, ..., CE10 do tải trọng động đất được xét có ảnh hưởng chính, 10 tổ hợp CW1, ..., CW10 do tải trọng gió được xét có ảnh hưởng chính và 6 tổ hợp CW11, ..., CW16 do tải trọng gió được xét có ảnh hưởng tương tự như các hoạt tải khác. Dưới đây là những kết luận thu được từ kết quả nghiên cứu này:

- Kết quả tổ hợp nội lực do tải trọng động đất đã cho thấy mô men uốn trong cột và dầm đều tăng cùng với chiều dài nhịp khung. Hơn nữa, kết quả tổ hợp mô men uốn ở đỉnh cột do tải trọng động đất bằng khoảng 90 đến 95% ở chân cột, trong khi kết quả tổ hợp do tải trọng gió bằng khoảng 49 đến 71%.

- Kết quả nội lực từ tổ hợp CW11, ..., CW16 do tải trọng gió khi được xét có ảnh hưởng tương tự như các hoạt tải khác là lớn hơn từ tổ hợp CW1, ..., CW10 khi tải trọng gió được xét có ảnh hưởng chính, cụ thể tỷ số k_{W1} , k_{W2} và k_{W3} tương ứng với vị trí tại chân cột, đỉnh cột và ở đoạn giữa dầm của các khung được khảo sát đều có giá trị nhỏ hơn đơn vị.

- Kết quả nội lực từ tổ hợp do tải trọng động đất có xu hướng lớn hơn đáng kể so với tải trọng gió, phụ thuộc vào chiều dài nhịp khung và độ lớn tương đối của động đất so với gió, cụ thể tỷ số k_{E1} biểu thị tỷ số mô men uốn ở vị trí chân cột có giá trị trong khoảng 0,92 đến 1,21 cho các khung ở Hà Nội và 1,5 đến 1,56 cho các khung ở Sơn La.

- Trọng lượng của cột khi được xác định chịu tải trọng động đất là lớn hơn khoảng 1,03 đến 1,57 lần so với khi được xác định chịu tải trọng gió, phụ thuộc vào chiều dài của nhịp khung và độ lớn tương đối của động đất so với gió. Điều này có nghĩa là kết cấu khung nhà công nghiệp một tầng bằng thép khi xây dựng ở một số vùng của Việt Nam cần được thiết kế chịu động đất, đặc biệt ở những vùng có động đất mạnh nhưng gió nhỏ.

Tài liệu tham khảo

- [1] TCVN 2737:1995. *Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế*. Hà Nội.
- [2] TCVN 9386:2012. *Thiết kế công trình chịu động đất*. Hà Nội.
- [3] CEN (2003). *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*. Brussels, Belgium.
- [4] ICC (2003). *International building code*. International Code Council, Falls Church: Virginia.
- [5] BCJ (2013). *The building standard law of Japan*. Tokyo.
- [6] Thuật, Đ. V., Việt, Đ. Q., Sơn, N. V. (2016). [Một số vấn đề khi xác định tải trọng động đất tĩnh ngang và gió lên khung ngang nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng - ĐHXD*, 10(1):17–24.
- [7] Thuật, Đ. V., Chương, H. V., Hòa, N. Đ. (2017). [Đánh giá tác dụng của tải trọng động đất tĩnh ngang và gió lên khung ngang nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng - ĐHXD*, 11(1):11–18.
- [8] Thuật, D. V., Hoa, N. D., Chuong, H. V., Hung, T. V. (2019). [Effects of vertical seismic actions on the responses of single-storey industrial steel building frames](#). *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE)-NUCE*, 13(3):73–84.
- [9] Newmark, N. M., Hall, W. J. (1982). *Earthquake spectra and design*. Earthquake Engineering Research Institute, California.
- [10] Paulay, T., Priestley, M. J. N. (1992). *Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings*. John Wiley & Sons: A Wiley Interscience.
- [11] Chopra, A. K. (2007). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering*. Prentice-Hall: Englewood Cliffs, NJ.
- [12] Thuật, Đ. V. (2012). [Đánh giá cơ chế phá hoại của kết cấu nhà khung thép nhiều tầng chịu động đất sử dụng mô hình đơn lò xo phi tuyến](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng - ĐHXD*, 6(1):3–11.
- [13] Ninh, N. L. (2011). *Cơ sở lý thuyết tính toán công trình chịu động đất*. Hà Nội.
- [14] TCVN 5575:2012. *Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế*. Hà Nội.
- [15] Viên, N. Q., Tư, P. V., Quang, H. V. (2011). *Kết cấu thép - Nhà dân dụng và công nghiệp*. Hà Nội.
- [16] Quang, H. V., Dũng, T. M., Cường, N. Q. (2010). *Thiết kế khung thép nhà công nghiệp*. Hà Nội.
- [17] Hội, P. V., Viên, N. Q., Tư, P. V., Tường, L. V. (2009). *Kết cấu thép - Cấu kiện cơ bản*. Hà Nội.