

ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘNG ĐẤT TÁC DỤNG DỌC NHÀ ĐỐI VỚI KẾT CẤU THÉP NHÀ CÔNG NGHIỆP MỘT TẦNG CÓ CẦU TRỤC

Đình Văn Thuật^{a,*}, Nguyễn Đình Hòa^a, Nguyễn Văn Cường^b, Trương Việt Hùng^c

^aKhoa Xây dựng DD và CN, Trường Đại học Xây dựng, 55 đường Giải Phóng, Hà Nội, Việt Nam

^bCông ty Tư vấn Đại học Xây dựng, 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

^cKhoa Công trình, Trường Đại học Thủy Lợi, 175 đường Tây Sơn, quận Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 07/03/2020, Sửa xong 13/04/2020, Chấp nhận đăng 20/04/2020

Tóm tắt

Trong bài báo này, tám kết cấu nhà công nghiệp một tầng một nhịp bằng thép có cầu trục được khảo sát theo sơ đồ phân tích không gian chịu tải trọng động đất tĩnh tương đương tác dụng theo phương dọc nhà (PDN). Các thông số khảo sát gồm nhịp khung 20, 26, 32 và 38 m; sức trục 100 và 200 kN; địa điểm xây dựng ở Hà Nội và Sơn La. Kết quả tính cho thấy mô men uốn lớn nhất ở chân cột theo phương ngoài mặt phẳng khung ngang do thành phần tải trọng động đất tác dụng theo PDN là rất nhỏ và có thể bỏ qua, trong khi lực nén trong cột lại khá lớn, đặc biệt ở những cột thuộc khoang có giằng cột. Xét trường hợp tổ hợp nội lực do tĩnh tải và động đất, lực nén trong cột khi xét cả ba thành phần động đất tác dụng theo phương ngang, đứng và dọc nhà là lớn hơn từ 2,36 đến 2,99 lần so với trường hợp chỉ xét theo phương ngang và đứng. Kết quả đã chỉ ra ảnh hưởng của tải trọng động đất tác dụng theo PDN đã làm tăng đáng kể lực nén trong cột, đặc biệt đối với những cột ở khoang có giằng cột và điều này cần phải được kể đến trong tính toán thiết kế kết cấu nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục chịu động đất. Mức độ tăng giá trị lực nén trong cột phụ thuộc vào chiều dài nhịp và cường độ tác động của động đất.

Từ khoá: nhà công nghiệp một tầng; phân tích không gian; khung thép; chiều dài nhịp; tải trọng động đất; phương dọc nhà.

EFFECTS OF LONGITUDINAL SEISMIC ACTIONS FOR SINGLE-STOUREY INDUSTRIAL STEEL BUILDING STRUCTURES WITH CRANES

Abstract

In this paper, eight one-span single-storey industrial steel building structures with cranes were investigated by using three-dimensional analyses under equivalent longitudinal static seismic loads. The investigation parameters included the 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. As a result, the maximum bending moments at the bottom of the columns in out of the frame plane induced by longitudinal seismic loads were very small and can be ignored, while the axial forces in the columns were considerably large, particularly in columns with longitudinal braces. Considering combination of internal forces due to dead loads and seismic loads for the columns, the compressive forces obtained when considering all three seismic load components acting transversely, vertically and longitudinally were significantly larger than those when considering only two transversal and vertical seismic load components, resulted from 2.36 to 2.99 times. The obtained results show that the compressive forces induced in columns due to longitudinal seismic loads were significantly increased, especially for those with braces and consequently this increase must be taken into account in the seismic design of single-storey industrial steel building structures with cranes, which depends on the span length and seismic intensities.

Keywords: single-storey industrial buildings; three-dimensional analyses; steel frames; span lengths; earthquake loads; longitudinal direction.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(3V\)-03](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(3V)-03) © 2020 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

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

1. Giới thiệu

Trong thiết kế kết cấu kháng chấn, tải trọng động đất tác dụng lên công trình được phân thành ba thành phần theo phương ngang, đứng và dọc nhà, trong đó có một thành phần được coi là tác dụng chính với hệ số tổ hợp bằng 1,0 và hai thành phần còn lại được coi là tác dụng phụ với hệ số tổ hợp bằng 0,3 [1, 2]. Tải trọng động đất có thể được biểu diễn dưới dạng tải trọng tĩnh tương đương hoặc bằng gia tốc nền theo thời gian. Như vậy, tổng cộng có ba trường hợp tổ hợp giữa ba thành phần tải trọng động đất và hệ kết cấu công trình cần được phân tích theo sơ đồ không gian dưới tác dụng đồng thời của cả ba thành phần tải trọng này.

Kết cấu nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục thường bao gồm nhiều khung phẳng đặt cách nhau một khoảng từ 6 đến 7 m và chúng được liên kết với nhau để tạo thành hệ kết cấu không gian với mặt bằng hình chữ nhật có chiều dài khá lớn như chỉ ra ở Hình 1 [3]. Với hình dạng mặt bằng như vậy có thể tách riêng từng khung phẳng để tính toán thiết kế dưới tác dụng của các tải trọng gồm tĩnh tải, hoạt tải mái, cầu trục, gió thổi theo phương ngang và dọc nhà, hai thành phần động đất tác dụng theo phương ngang và đứng [4–9]. Việc sử dụng sơ đồ khung phẳng để tính kết cấu có ưu điểm là giảm đáng kể khối lượng tính toán, đặc biệt khi phân tích theo mô hình kết cấu phi tuyến theo vật liệu chịu tác động của động đất. Tuy nhiên, việc tính như vậy có thể không đánh giá được đầy đủ yêu cầu chịu lực của các cấu kiện kết cấu dưới tác dụng của thành phần tải trọng động đất theo phương dọc nhà (PDN) khi được tổ hợp với hai thành phần tác dụng theo phương ngang và đứng.

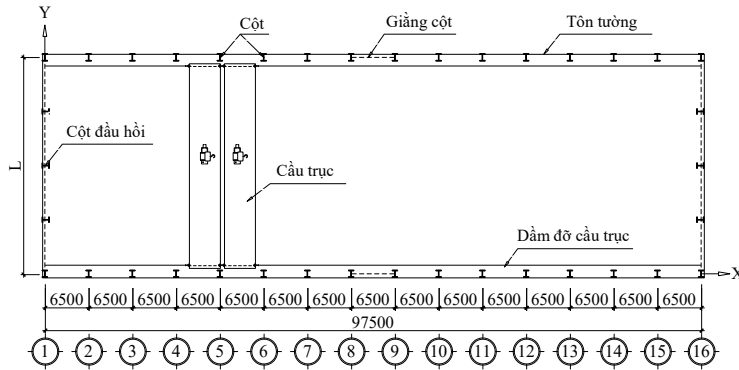
Trong bài báo này, tám sơ đồ kết cấu không gian nhà công nghiệp một tầng một nhịp bằng thép có cầu trục được khảo sát tương ứng với tám trường hợp khung phẳng được trình bày ở [6, 7] với các thông số khảo sát gồm nhịp khung 20, 26, 32 và 38 m; sức trục 100 và 200 kN; và địa điểm xây dựng ở Hà Nội và Sơn La. Các khung ngang này đã được tính toán thiết kế để đủ chịu được các trường hợp tổ hợp nội lực nguy hiểm do các tải trọng gồm tĩnh tải, hoạt tải mái, cầu trục, gió thổi theo phương ngang và dọc nhà, hai thành phần tải trọng động đất tĩnh tương đương tác dụng theo phương ngang và đứng [1–4]. Tiếp theo, ảnh hưởng của tải trọng động đất tác dụng theo PDN đối với các sơ đồ kết cấu khung này được khảo sát theo sơ đồ kết cấu không gian. Kết quả đã chỉ ra rằng ảnh hưởng của tải trọng động đất tác dụng theo PDN đã làm tăng đáng kể lực nén trong cột, đặc biệt đối với những cột ở khoang có giằng cột và điều này cần phải được kể đến trong tính toán thiết kế kết cấu nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục chịu động đất.

2. Hệ kết cấu nhà công nghiệp một tầng một nhịp bằng thép có cầu trục

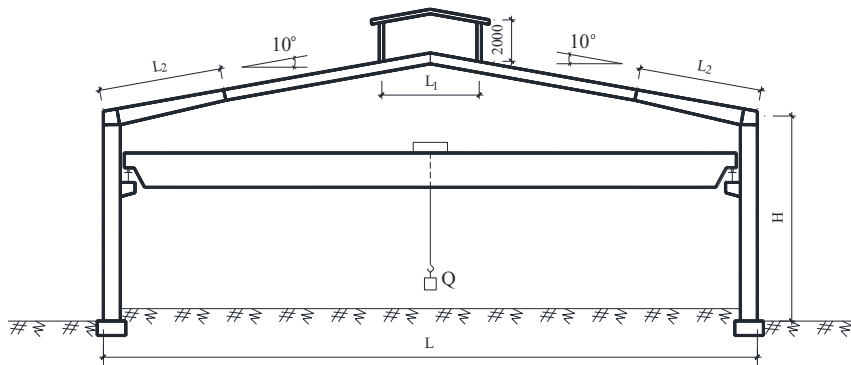
Xét công trình nhà công nghiệp một tầng một nhịp bằng thép có cầu trục gồm 16 khung ngang giống nhau được đặt cách nhau 6,5 m; hệ giằng mái theo phương ngang được bố trí ở hai khoang đầu nhà và khoang giữa nhà; hệ giằng mái theo phương dọc được bố trí ở hai biên nhà; hệ giằng cột được bố trí ở khoang giữa nhà; thanh chống dọc ở đỉnh mái, đỉnh cột, đỉnh và chân cửa trời; thanh chống cột theo PDN ở cao trình 3,7 m tính từ mặt móng; xà gồ mái; tấm tôn lợp có cách nhiệt; hệ sườn tường và tấm tôn bao che; hệ cột chống gió đầu hồi nhà (Hình 1 và 3).

Trong bài báo này, có tám sơ đồ kết cấu nhà được khảo sát với nhịp khung 20, 26, 32 và 38 m, được ký hiệu tương ứng là H-20-100, H-26-100, H-32-100 và H-38-100 cho khu vực Hà Nội và S-20-200, S-26-200, S-32-200 và S-38-200 cho khu vực Sơn La. 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. Các khung này tương ứng với các trường hợp được trình bày trong [6, 7] với kích thước tiết diện cột và dầm được tính toán thiết kế theo sơ đồ khung phẳng đủ để chịu các trường hợp tổ hợp nội lực nguy hiểm do các tải trọng gồm tĩnh tải, hoạt tải mái, cầu trục, gió thổi theo phương ngang và dọc nhà, tải trọng động đất tĩnh tương đương

tác dụng theo phương ngang và đứng, trong đó chưa xét đến thành phần tải trọng động đất tác dụng theo PDN. Chi tiết xác định các trường hợp tải trọng, tổ hợp nội lực và tiết diện cột và dầm khung được trình bày trong [6, 7]. Hình 1 mô tả mặt bằng và khung ngang nhà.



(a) Mặt bằng nhà



(b) Khung ngang nhà

Hình 1. Mặt bằng và khung ngang nhà

Các khung phẳng được liên kết với nhau bằng các thanh giằng và thanh chống ở trong mặt phẳng mái và mặt phẳng cột khung theo PDN, tạo thành hệ kết cấu không gian khi chịu tải trọng động đất theo PDN. Loại thép cán nóng được sử dụng cho các thanh này với các số hiệu được xác định sơ bộ như sau: hai thanh số hiệu C12 được sử dụng cho các thanh chống ở đỉnh mái, đỉnh cột và ở cao trình 3,7 m tính từ mặt móng; một thanh số hiệu L120×8 cho các thanh giằng mái và giằng cột và một thanh số hiệu C10 cho xà gồ mái [10, 11].

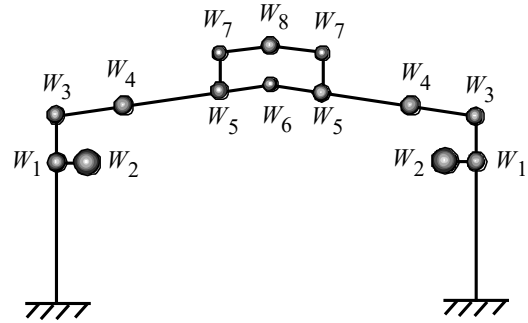
3. Xác định tải trọng động đất tĩnh tương đương tác dụng theo phương dọc nhà

3.1. Xác định khối lượng tham gia dao động

Nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục thường sử dụng mái dốc bao gồm các thanh xà gồ đặt trên dầm mái và trên đó được phủ bởi các tấm tôn lượn sóng. Do vậy trong mô hình tính toán dao động riêng của công trình, việc kể đến ảnh hưởng của tấm mái và giả thiết hệ kết cấu mái như vậy có độ cứng bằng vô cùng trong mặt phẳng ngang là không đảm bảo sát với thực tế làm việc của nó và do vậy có thể dẫn đến kết quả tính toán có sai số lớn. Điều này là khác so với trường hợp kết cấu nhà

cao tầng gồm các tầng sàn bằng bê tông cốt thép nằm ngang bởi vì các tầng sàn này có thể được coi là cứng vô cùng trong mặt phẳng nằm ngang của nó khi tính toán dao động riêng của hệ kết cấu [12].

Để đơn giản trong việc xác định tải trọng động đất tĩnh tương đương, khối lượng tham gia dao động của kết cấu được giả thiết tập trung ở một số vị trí của khung như trình bày trong [6, 7] (Hình 2). Mặc dù tác động của động đất đối với kết cấu có thể được xác định một cách trực tiếp theo phương pháp phổ phản ứng sử dụng phần mềm SAP2000 [13], việc giả thiết khối lượng tập trung ở một số điểm như trong bài báo này nhằm cung cấp những giá trị tính toán trung gian cần thiết và đồng thời giảm bớt được khối lượng phân tích kết cấu khi sử dụng mô hình phi tuyến theo vật liệu dưới tác dụng của các băng gia tốc nền [5, 12].



Hình 2. Vị trí tập trung khối lượng tham gia dao động

Khối lượng tham gia dao động của kết cấu được xác định từ tĩnh tải và cầu trục. Phần trọng lượng từ tĩnh tải của các khung đều có giá trị giống nhau được trình bày trong [6, 7]. Trọng lượng của vật nâng và hoạt tải mái không được xét đến khi xác định khối lượng tham gia dao động vì xác suất xuất hiện đồng thời của các trường hợp này khi động đất thiết kế lớn nhất xảy ra là rất nhỏ và có thể bỏ qua.

Phần trọng lượng từ hai cầu trục được xếp cạnh nhau chỉ truyền đến ba khung liền kề, trong đó khung ở giữa tiếp nhận nhiều nhất. Trong bài báo này, xét khung trục 5 nằm ở khoảng giữa hai vị trí khoang có giằng cột là khung có trọng lượng từ cầu trục truyền đến nhiều nhất (Hình 1(a)). Dầm đỡ cầu trục được sử dụng là dầm đơn giản và được kê trên hai vai cột của hai khung cạnh nhau. Do vậy, tải trọng từ cầu trục được xác định từ đường ảnh hưởng do hai cầu trục được xếp ở vị trí nguy hiểm cho khung trục 5 chỉ ảnh hưởng đến ba khung ở trục 4, 5 và 6, có nghĩa là trọng lượng cầu trục truyền đến khung trục 5 là nhiều nhất, rồi đến khung trục 6 và 4 nằm ở hai bên khung trục 5; trọng lượng từ cầu trục không truyền đến các khung khác. Trọng lượng tham gia dao động từ cầu trục tác dụng ở khung trục 5 có giá trị tương tự như đã trình bày trong [6, 7].

Bảng 1 trình bày kết quả trọng lượng để xác định khối lượng tham gia dao động ở vị trí 2 như chỉ ra ở Hình 2 cho các khung trục 4, 5 và 6 từ trọng lượng của cầu trục và trọng lượng của dầm đỡ cầu trục, bỏ qua trọng lượng của vật nâng như đã đề cập ở trên. Trọng lượng từ cầu trục được truyền đều sang hai bên vai cột và giá trị này phụ thuộc vào nhịp khung, bước khung và loại cầu trục [10, 11]. Trọng lượng W_2 ở vị trí 2 của các khung từ trục 1 đến 3 và 7 đến 16 (Hình 1(a)) chỉ gồm trọng lượng của dầm đỡ cầu trục, bằng 12,76 kN cho trường hợp dầm đỡ cầu trục có nhịp 6,5 m.

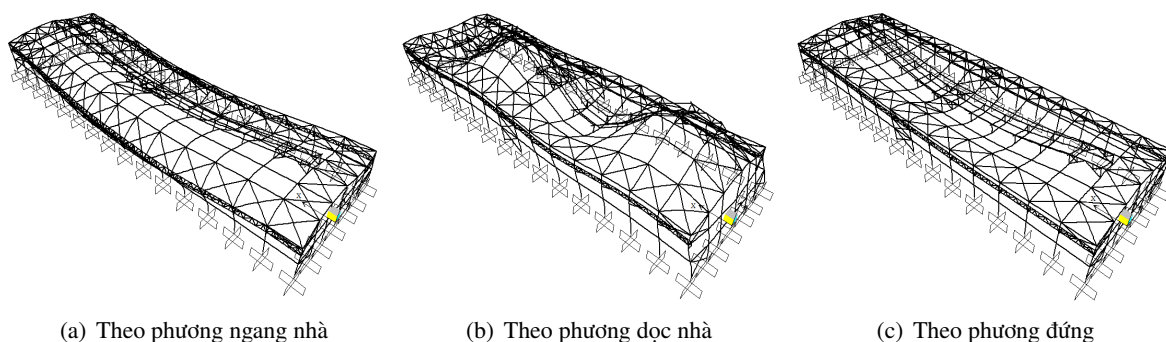
Bảng 1. Trọng lượng để xác định khối lượng tham gia dao động tại vị trí 2 của các khung trục 4, 5 và 6 (kN)

Kết cấu khung	W_2			Kết cấu khung	W_2		
	Trục 4	Trục 5	Trục 6		Trục 4	Trục 5	Trục 6
H-20-100	19,63	56,70	24,10	S-20-200	23,36	79,52	30,95
H-26-100	27,51	79,90	33,07	S-26-200	32,83	101,11	41,59
H-32-100	41,72	108,08	52,18	S-32-200	48,86	128,75	64,71
H-38-100	54,33	127,29	69,28	S-38-200	62,14	146,73	81,82

3.2. Xác định dao động riêng của hệ kết cấu khung không gian

Hệ kết cấu khung không gian được phân tích bằng phần mềm SAP2000 [13] với giả thiết sau: liên kết ngàm ở chân cột khung và liên kết cứng ở đỉnh cột khung theo tất cả các phương; liên kết khớp ở đầu các thanh chống và thanh giằng; đối với cột chống gió, liên kết ngàm với móng bê tông cốt thép, liên kết khớp với dầm mái theo phương dọc và ngang nhà, liên kết khớp trượt với dầm mái theo phương đứng; sử dụng giàn hãm để truyền lực theo phương ngang và dọc nhà vào khung; và bỏ qua ảnh hưởng của độ cứng và độ bền của xà gồ mái và tấm tôn lợp (Hình 3).

Khối lượng tham gia dao động được đặt tập trung ở những vị trí trên khung như chỉ ra ở Hình 2. Bảng 2 trình bày kết quả xác định chu kỳ dao động riêng bậc nhất theo các phương ngang, đứng và dọc nhà của các hệ khung không gian được khảo sát, tương ứng với ba trục y, z và x . Kết quả chu kỳ dao động riêng theo PDN là nhỏ nhất so với hai phương kia, bằng khoảng 0,19 đến 0,30 giây cho các trường hợp ở Hà Nội và từ 0,18 đến 0,29 giây cho các trường hợp ở Sơn La.



Hình 3. Các dạng dao động bậc nhất của hệ kết cấu nhà S-32-200

Bảng 2. Chu kỳ dao động riêng bậc nhất theo phương ngang, đứng và dọc nhà (giây)

Kết cấu khung	T_{1y}	T_{1z}	T_{1x}	Kết cấu khung	T_{1y}	T_{1z}	T_{1x}
	Ngang	Đứng	Dọc		Ngang	Đứng	Dọc
H-20-100	0,4339	0,2796	0,1871	S-20-200	0,3562	0,2403	0,1835
H-26-100	0,4253	0,3330	0,2349	S-26-200	0,3986	0,3525	0,2568
H-32-100	0,4448	0,4453	0,3075	S-32-200	0,3623	0,3883	0,2586
H-38-100	0,4686	0,4681	0,3043	S-38-200	0,3817	0,4170	0,2880

3.3. Xác định tải trọng động đất tĩnh tương đương theo phương dọc nhà

Tải trọng động đất tĩnh tương đương tác dụng lên hệ kết cấu khảo sát theo PDN được xác định giống như theo phương ngang nhà được trình bày ở [6, 7], trong đó sử dụng phổ gia tốc thiết kế loại 1, gia tốc nền tham chiếu $a_{gR} = 0,1097g$ và $0,1893g$ tương ứng với khu vực Hà Nội và Sơn La, hệ số tầm quan trọng của công trình bằng 1,0, nền đất yếu loại D với hệ số nền bằng 1,35 và hệ số ứng xử được lấy bằng 3,0 [1, 2]. Đối với nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục, giải pháp mái nhệ với xà gồ đặt kê lên dầm mái và trên đó có lợp tấm tôn được sử dụng phổ biến, hơn nữa chuyển vị

ngang và đứng cho phép của loại kết cấu nhà công nghiệp này là khá lớn [3] do đó hệ số cản nhớt có thể được lấy bằng 5%, lớn hơn so với trường hợp kết cấu nhà cao tầng bằng thép [12].

Bảng 3 đến 6 trình bày kết quả xác định tải trọng động đất tĩnh tương đương tác dụng theo PDN tại các vị trí tập trung khối lượng trên các hệ khung khảo sát như chỉ ra ở Hình 2, trong đó các khung

Bảng 3. Tải trọng động đất tương đương theo PDN khung H-20-100 và H-26-100 (kN)

Vị trí	H-20-100				H-26-100			
	Trục 4	Trục 5	Trục 6	Trục 13	Trục 4	Trục 5	Trục 6	Trục 13
8	-0,494	-0,759	-0,532	-0,445	-0,503	-0,816	-0,543	-0,415
7	0,823	1,269	0,891	0,740	1,266	2,061	1,375	1,044
6	0,299	0,464	0,327	0,269	0,425	0,690	0,458	0,350
5	1,795	2,768	1,948	1,616	2,539	4,099	2,724	2,092
4	2,217	3,357	2,349	1,997	2,567	4,083	2,720	2,117
3	1,042	1,614	1,114	0,942	1,164	1,908	1,249	0,962
2	-0,349	-0,497	-0,358	-0,333	-0,218	-0,337	-0,227	-0,191
1	3,920	5,965	4,108	3,542	3,305	5,298	3,471	2,731

Bảng 4. Tải trọng động đất tương đương theo PDN khung H-32-100 và H-38-100 (kN)

Vị trí	H-32-100				H-38-100			
	Trục 4	Trục 5	Trục 6	Trục 13	Trục 4	Trục 5	Trục 6	Trục 13
8	-0,345	-0,554	-0,382	-0,255	-0,186	-0,288	-0,207	-0,131
7	1,045	1,686	1,166	0,775	1,972	3,080	2,231	1,392
6	0,429	0,702	0,491	0,325	0,909	1,426	1,036	0,651
5	2,619	4,261	2,982	1,972	4,724	7,366	5,297	3,381
4	4,178	6,655	4,367	3,042	4,148	6,610	5,014	2,743
3	1,572	2,517	1,799	1,172	1,902	2,823	1,873	1,383
2	-0,326	-0,504	-0,344	-0,262	-0,827	-1,199	-0,888	-0,846
1	4,539	7,168	4,934	3,360	4,039	6,076	4,222	2,835

Bảng 5. Tải trọng động đất tương đương theo PDN khung S-20-200 và S-26-200 (kN)

Vị trí	S-20-200				S-26-200			
	Trục 4	Trục 5	Trục 6	Trục 13	Trục 4	Trục 5	Trục 6	Trục 13
8	-0,763	-1,354	-0,856	-0,655	-0,821	-1,443	-0,911	-0,645
7	1,371	2,444	1,550	1,175	1,695	2,988	1,891	1,333
6	0,489	0,870	0,548	0,420	0,812	1,433	0,901	0,638
5	3,045	5,400	3,402	2,611	4,910	8,621	5,437	3,860
4	4,147	7,307	4,597	3,556	4,968	8,634	5,460	3,906
3	1,911	3,390	2,116	1,639	2,256	3,985	2,472	1,774
2	-0,724	-1,187	-0,768	-0,671	-1,007	-1,637	-1,062	-0,924
1	7,303	12,757	7,923	6,260	6,518	11,292	7,008	5,120

Bảng 6. Tải trọng động đất tương đương theo PDN khung S-32-200 và S-38-200 (kN)

Vị trí	S-32-200				S-38-200			
	Trục 4	Trục 5	Trục 6	Trục 13	Trục 4	Trục 5	Trục 6	Trục 13
8	-0,321	-0,541	-0,370	-0,224	-0,391	-0,629	-0,451	-0,269
7	1,236	2,087	1,427	0,870	4,059	6,548	4,709	2,786
6	0,673	1,155	0,802	0,478	1,793	2,878	2,057	1,230
5	4,264	7,273	5,071	3,020	9,094	14,624	10,419	6,247
4	8,429	14,181	9,078	5,838	7,571	11,772	8,441	5,167
3	2,994	4,991	3,605	2,100	3,357	5,513	3,890	2,337
2	-1,045	-1,676	-1,136	-0,857	-2,015	-2,963	-2,183	-2,640
1	9,052	14,956	10,221	6,320	7,057	11,220	7,935	4,860

trục 4, 5 và 6 có phần khối lượng từ trọng lượng cầu trục và khung trục 13 thì không có như đã trình bày ở trên. Để thuận tiện cho việc tính toán, tải trọng tác dụng lên các khung khác khung trục 4, 5 và 6 đều coi có giá trị giống nhau, giống khung trục 13. Kết quả cho thấy tải trọng động đất tác dụng ở khung trục 5 là lớn nhất do có khối lượng tham gia dao động lớn nhất.

4. Đánh giá ảnh hưởng của thành phần tải trọng động đất theo phương dọc nhà

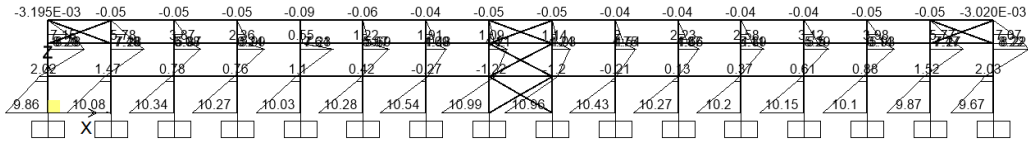
4.1. Mô men uốn và lực dọc trong cột

Ảnh hưởng của tải trọng động đất tác dụng theo PDN được đánh giá thông qua kết quả nội lực trong hệ kết cấu được xác định bằng phần mềm SAP2000 [13]. Nội lực do các trường hợp tải trọng gồm tĩnh tải, hoạt tải mái, cầu trục, gió thổi theo phương ngang và dọc nhà, hai thành phần động đất tác dụng theo phương ngang và đứng được tính theo sơ đồ khung phẳng mà tách ra từ hệ kết cấu như đã trình bày ở [6, 7]. Với sơ đồ tính như vậy, các loại tải trọng này chỉ gây ra mô men uốn trong mặt phẳng khung ngang (mô men uốn quanh trục hoành của tiết diện cột, quanh trục x), ký hiệu là M_x , cùng với lực dọc N và lực cắt Q_y tương ứng.

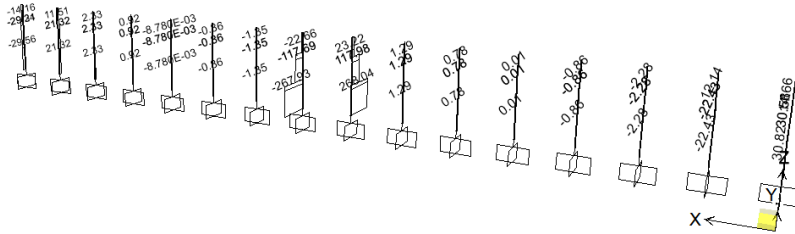
Đối với trường hợp tải trọng động đất tác dụng theo PDN thì nội lực trong kết cấu phải được tính theo sơ đồ kết cấu không gian và từ đó xác định được thành phần mô men uốn trong cột theo PDN (theo phương ngoài mặt phẳng khung ngang, quanh trục y), ký hiệu là M_y , cùng với lực dọc N và lực cắt Q_x tương ứng. Đối với trường hợp gió thổi theo PDN thì ngoài thành phần tải trọng gió tác dụng theo phương dọc lên tường hồi nhà, còn có thành phần tải trọng gió hút ở hai biên nhà hướng ra ngoài theo phương ngang; kết quả là gây ra cả mô men uốn M_x và M_y trong cột tương ứng theo phương ngang và dọc nhà, trong đó M_x có thể được xác định theo sơ đồ khung phẳng như đã trình bày ở [6, 7] và M_y phải được xác định theo sơ đồ kết cấu không gian.

Hình 4 minh họa kết quả nội lực do tải trọng động đất tác dụng theo PDN đối với hệ kết cấu S-32-200, trong đó chỉ trình bày kết quả của một bên cột khung vì lý do đối xứng. Hình vẽ không thể hiện phần dầm khung vì giá trị mô men uốn trong dầm theo phương ngoài mặt phẳng là khá nhỏ, hơn nữa thực tế khi kể đến ảnh hưởng của hệ xà gồ và mái tôn cùng làm việc với dầm khung theo PDN thì giá trị mô men uốn trong dầm theo phương ngoài mặt phẳng sẽ có xu hướng càng nhỏ hơn.

Kết quả tính cho thấy mô men uốn M_y trong cột do tải trọng động đất tác dụng theo PDN có giá trị khá nhỏ, chẳng hạn từ 4,12 đến 4,61 kNm và 9,67 đến 10,99 kNm tương ứng tại các chân cột khung nhà H-32-100 và S-32-200 (Hình 4). Có thể thấy mô men uốn ở các chân cột thuộc khoang có giằng



(a) Mô men uốn trong cột theo PDN, M_y (kNm)



(b) Lực nén trong cột, N (kN)

Hình 4. Nội lực trong kết cấu S-32-200 do tải trọng động đất theo PDN hướng từ trái sang phải

cột như ở trục 8 và 9 có giá trị lớn hơn ở các cột khác vì các khoang này có độ cứng ngang lớn hơn. Khung trục 5 có tải trọng động đất tĩnh tương đương lớn nhất tác dụng theo PDN, nhưng lại có giá trị mô men M_y nhỏ vì không nằm ở khoang có giằng cột. Kết quả tương tự cũng thu được cho những trường hợp khác khi hai cầu trục đặt ở những vị trí truyền trọng lượng lớn nhất từ cầu trục đến một khung nào đó. Như vậy có thể thấy kết quả tính M_y không phụ thuộc vào vị trí của cầu trục di chuyển theo PDN.

Kết quả tính cho các sơ đồ kết cấu khảo sát đều cho giá trị mô men M_y lớn nhất ở chân cột khung trục 8, cụ thể từ 3,64 đến 6,16 kNm đối với trường hợp ở Hà Nội và từ 7,53 đến 13,98 kNm đối với trường hợp ở Sơn La. Có thể thấy giá trị này là nhỏ hơn nhiều lần so với giá trị mô men uốn theo phương trong mặt phẳng khung, M_x , đã được trình bày ở [6, 7] do tải trọng động đất tác dụng theo phương ngang nhà và đứng.

Bảng 7 chỉ ra kết quả so sánh các giá trị mô men uốn lớn nhất ở chân cột khung trục 8 do tĩnh tải và tải trọng động đất tác dụng theo phương ngang, đứng và dọc nhà. Trong trường hợp này đã xét đến vị trí xếp hai cầu trục để trọng lượng của chúng truyền đến cột khung trục 8 là lớn nhất. Kết quả đã chỉ ra rằng giá trị mô men M_y ở chân cột do tải trọng động đất tác dụng theo PDN là rất nhỏ, chỉ bằng khoảng 3,41 đến 4,69% và 4,03 đến 8,05% so với giá trị mô men uốn M_x tương ứng với tải trọng động đất tác dụng theo phương ngang nhà và đứng, không phụ thuộc vào chiều dài nhịp khung. Giá trị mô men M_y càng nhỏ hơn nữa khi nhân với hệ số tổ hợp bằng 0,3 để kể đến tác động đồng thời của các thành phần tải trọng động đất [1, 2].

Như chỉ ra ở Bảng 7, lực dọc ở trong cột do thành phần tải trọng động đất tĩnh tương đương tác dụng theo PDN có giá trị khá lớn. Trong số 16 cột từ trục 1 đến 16, nội lực trong cột khung trục 8 và 9 thuộc khoang có giằng cột có giá trị lớn nhất, cụ thể từ 120,25 đến 182,62 kN và từ 209,62 đến 321,88 kN tương ứng với các trường hợp ở Hà Nội và Sơn La. Các giá trị này tăng theo chiều dài nhịp khung tương ứng từ 20 đến 38 m. Tỷ lệ so sánh giữa giá trị lực dọc lớn nhất trong cột do thành phần tải trọng động đất tác dụng theo PDN (trong cột trục 8) với giá trị do tĩnh tải gây ra như sau: từ 1,88 đến 1,91 cho trường hợp ở Hà Nội và từ 2,97 đến 3,17 cho trường hợp ở Sơn La.

Như vậy, mặc dù giá trị mô men M_y theo phương ngoài mặt phẳng khung ngang là rất nhỏ và có thể bỏ qua, nhưng giá trị lực dọc trong cột thuộc khoang có giằng cột do thành phần tải trọng động

Bảng 7. Mô men uốn và lực dọc tại chân cột (kNm, kN)

Kết cấu khung	Do tải trọng động đất tĩnh tương đương							
	Do tĩnh tải		Theo phương ngang		Theo phương đứng		Theo phương dọc nhà	
	M_x	N	M_x	N	M_x	N	M_y	N
H-20-100	56,24	63,91	77,58	2,80	45,19	15,75	3,64	120,25
H-26-100	97,08	70,59	101,19	2,98	67,41	17,14	3,91	134,10
H-32-100	156,51	82,38	135,00	2,68	85,63	16,99	4,61	153,27
H-38-100	246,39	95,49	164,39	2,95	130,11	18,73	6,16	182,62
S-20-200	61,09	66,13	170,99	4,75	123,63	38,57	7,53	209,62
S-26-200	115,97	76,16	230,57	3,89	191,23	33,93	9,27	233,68
S-32-200	189,15	90,38	282,81	4,31	242,74	38,82	10,99	268,04
S-38-200	296,64	105,34	336,41	4,64	347,09	40,81	13,98	321,88

đất tĩnh tương đương tác dụng theo PDN lại khá lớn và cần phải kể đến trong tính toán thiết kế cột khung nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục. Hay nói cách khác cần phải xét đến cả ba thành phần tải trọng động đất tác dụng theo phương ngang, đứng và dọc nhà để tính lực dọc trong cột, đặc biệt là đối với những cột thuộc khoang có giằng cột. Hơn nữa, trong thực tế liên kết ở chân cột khung có thể được cấu tạo không hoàn toàn là liên kết ngàm theo PDN, có thể thiên về liên kết khớp, dẫn đến mô men M_y ở chân cột theo PDN sẽ càng nhỏ hơn trong khi đó lực dọc trong cột khung và trong các thanh giằng chéo của cột sẽ càng lớn hơn.

4.2. Tổ hợp nội lực và tỷ lệ so sánh giữa trường hợp có và không xét thành phần tải trọng động đất theo phương dọc nhà

Trong thiết kế kết cấu kháng chấn, một thành phần tải trọng động đất nào đó tác dụng theo phương ngang, đứng hoặc dọc nhà được coi là tác dụng chính với hệ số tổ hợp là 1,0 thì hai thành phần còn lại được coi là tác dụng phụ với hệ số tổ hợp là 0,3 [1, 2, 6, 7]. Bảng 8 trình bày các trường hợp tổ hợp giữa tĩnh tải và các thành phần tải trọng động đất, trong đó CE1, CE2 và CE3 tương ứng với trường hợp có xét đến thành phần tải trọng động đất theo PDN; CE4 và CE5 tương ứng với trường hợp không xét theo PDN.

Bảng 8. Hệ số tổ hợp nội lực do tĩnh tải và tải trọng động đất

Tải trọng	Có xét theo PDN			Không xét theo PDN	
	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5
Tĩnh tải	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tải trọng động đất tĩnh ngang	1,0	0,3	0,3	1,0	0,3
Tải trọng động đất tĩnh đứng	0,3	1,0	0,3	0,3	1,0
Tải trọng động đất tĩnh dọc	0,3	0,3	1,0	0,0	0,0

Bảng 9 và 10 chỉ ra kết quả tổ hợp nội lực bao gồm giá trị mô men M_x do hai thành phần tải trọng động đất tác dụng theo phương ngang và đứng gây ra như trình bày trong [6, 7] và giá trị lực dọc N

Bảng 9. Kết quả tổ hợp nội lực khi xét cả ba thành phần tải trọng động đất; M_x (kNm) và N (kN)

Kết cấu khung	EC1			EC2			EC3		
	N	M_x	M_y	N	M_x	M_y	N	M_x	M_y
H-20-100	107,51	147,38	1,09	116,58	124,70	1,09	189,73	93,07	3,64
H-26-100	118,94	218,49	1,17	128,85	194,85	1,17	210,73	147,66	3,91
H-32-100	136,14	317,20	1,38	146,16	282,64	1,38	241,55	222,70	4,61
H-38-100	158,85	449,81	1,85	169,89	425,82	1,85	284,61	334,74	6,16
S-20-200	145,34	269,17	2,26	169,01	236,02	2,26	288,75	149,48	7,53
S-26-200	160,33	403,91	2,78	181,36	376,37	2,78	321,19	242,51	9,27
S-32-200	186,75	544,78	3,30	210,91	516,73	3,30	371,36	346,82	10,99
S-38-200	218,79	737,18	4,19	244,11	744,65	4,19	440,86	501,69	13,98

trong cột tương ứng với ba và hai thành phần tải trọng động đất gây ra. Trong Bảng 9, tổ hợp EC1 tương ứng với thành phần động đất theo phương ngang là chính cho giá trị mô men M_x lớn nhất; tổ hợp EC3 tương ứng với thành phần động đất theo PDN là chính cho giá trị lực nén N lớn nhất; và tổ hợp EC2 tương ứng với thành phần động đất theo phương đứng là chính cho giá trị ở khoảng trung gian giữa hai trường hợp tổ hợp EC1 và EC3.

Bảng 10. Kết quả tổ hợp nội lực khi không xét thành phần tải trọng động đất theo PDN và hệ số so sánh; M_y (kNm) và N (kN)

Kết cấu khung	EC4		EC5		Hệ số	
	N	M_x	N	M_x	K_N	K_{M_x}
H-20-100	71,44	147,38	80,50	124,70	2,36	0,75
H-26-100	78,71	218,49	88,62	194,85	2,38	0,76
H-32-100	90,16	317,20	100,17	282,64	2,41	0,79
H-38-100	104,06	449,81	115,11	425,82	2,47	0,79
S-20-200	82,45	269,17	106,13	236,02	2,72	0,63
S-26-200	90,23	403,91	111,26	376,37	2,89	0,64
S-32-200	106,34	544,78	130,49	516,73	2,85	0,67
S-38-200	122,22	737,18	147,54	744,65	2,99	0,67

Khi không xét đến thành phần động đất theo PDN, tổ hợp EC5 tương ứng với thành phần động đất tác dụng theo phương ngang là chính cho giá trị lực dọc N lớn hơn trường hợp tổ hợp EC4 tương ứng với thành phần động đất theo phương đứng là chính (Bảng 10). Trong trường hợp này mô men M_y theo phương ngoài mặt phẳng khung ngang được coi bằng không.

Mức độ tăng của lực nén trong cột có xét đến thành phần tải trọng động đất theo PDN được đánh giá thông qua hệ số lực nén K_N và hệ số mô men tương ứng K_{M_x} như sau:

$$K_N = N_{CE3}/N_{CE5} \quad \text{và} \quad K_{M_x} = M_{x,CE3}/M_{x,CE5} \quad (1)$$

trong đó N_{CE3} và N_{CE5} là lực nén trong cột tương ứng với tổ hợp CE3 và CE5; $M_{x,CE3}$ và $M_{x,CE5}$ là mô men uốn tương ứng trong mặt phẳng khung ngang. Hai tổ hợp CE3 và CE5 được sử dụng vì cho

kết quả lực nén lớn nhất tương ứng với hai trường hợp có hoặc không xét đến thành phần tải trọng động đất theo PDN (Bảng 9 và 10).

Bảng 10 chỉ ra kết quả so sánh, trong đó hệ số K_N tương ứng với lực nén N có giá trị từ 2,36 đến 2,99 trong khi hệ số K_{M_x} tương ứng với mô men M_x có giá trị nhỏ hơn đơn vị, cụ thể từ 0,67 đến 0,79. Kết quả lực nén trong cột tăng nhiều như vậy đã cho thấy việc cần thiết phải kể đến thành phần tải trọng động đất theo PDN, đặc biệt trong trường hợp khi tiết diện cột được quyết định bởi điều kiện ổn định tổng thể theo phương ngoài mặt phẳng khung ngang (đối với trục yếu của tiết diện cột) như đã trình bày ở [7].

Như vậy, từ kết quả khảo sát cho thấy ảnh hưởng của tải trọng động đất tác dụng theo PDN đã làm tăng đáng kể lực nén trong cột, đặc biệt đối với những cột ở khoang có giằng cột và điều này cần phải được kể đến trong tính toán thiết kế kết cấu nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục chịu động đất. Mức độ tăng giá trị lực nén trong cột phụ thuộc vào chiều dài nhịp và cường độ tác động của động đất.

4.3. Kết quả chuyển vị dọc nhà

Bảng 11 trình bày kết quả tính chuyển vị dọc nhà lớn nhất tại đỉnh cột do tải trọng động đất tĩnh tương đương tác dụng theo PDN. Kết quả thu được khá nhỏ, chỉ bằng 14,23 đến 36,8% so với giá trị cho phép bằng 1/300 chiều cao cột được quy định trong [3]. Trong khi đó, như đã trình bày trong [6, 7], chuyển vị lớn nhất ở đỉnh cột theo phương ngang nhà đều đạt gần đến giá trị cho phép quy định trong [3].

Bảng 11. Chuyển vị lớn nhất tại đỉnh cột do tải trọng động đất theo PDN (mm)

Kết cấu khung	Chuyển vị dọc nhà lớn nhất	Chuyển vị cho phép	Tỷ lệ (%)	Kết cấu khung	Chuyển vị dọc nhà lớn nhất	Chuyển vị cho phép	Tỷ lệ (%)
H-20-100	4,44	31,17	14,23	S-20-200	7,55	31,17	24,21
H-26-100	5,04	31,17	16,17	S-26-200	8,36	31,17	26,82
H-32-100	5,71	31,67	18,04	S-32-200	9,61	31,67	30,33
H-38-100	6,79	31,80	21,34	S-38-200	11,70	31,80	36,80

4.4. So sánh tải trọng động đất và gió theo phương dọc nhà

Bảng 12 trình bày kết quả so sánh tổng giá trị tải trọng động đất tĩnh tương đương tác dụng lên toàn hệ kết cấu theo PDN (bằng tổng lực cắt đáy theo PDN) và tổng tải trọng gió tác dụng lên tường hồi nhà với giả thiết tường hồi là kín, hệ số khí động được lấy bằng 0,8 và 0,6 tương ứng với phía gió đẩy và gió hút, và công trình được xây dựng ở nơi có địa hình trống trải (địa hình A) tương ứng với địa hình có tải trọng gió lớn nhất [4]. Kết quả so sánh ở Bảng 12 cho thấy tổng lực động đất lớn hơn tổng tải trọng gió từ 1,14 đến 1,50 lần đối với trường hợp ở Hà Nội và từ 3,10 đến 4,11 lần đối với trường hợp ở Sơn La; tỷ lệ này tăng khi nhịp khung giảm từ 38 m đến 20 m.

Xét thêm trường hợp công trình được xây dựng ở khu vực có địa hình tương đối trống trải (địa hình B) và địa hình bị che chắn mạnh (địa hình C) thì tỷ lệ so sánh giữa tổng tải trọng động đất và gió theo PDN còn lớn hơn so với kết quả ở Bảng 12, cụ thể từ 1,82 đến 1,39 lần và 7,97 đến 6,11 lần tương ứng với khu vực ở Hà Nội và Sơn La. Như vậy, các kết quả khảo sát đã chỉ ra rằng theo PDN thì tác động của động đất là lớn hơn nhiều lần so với tác động của gió, đặc biệt ở khu vực có động đất mạnh trong khi gió yếu như ở Sơn La.

Bảng 12. Tổng tải trọng động đất và gió tác động theo PDN (kN)

Hệ khung	Động đất dọc nhà	Gió dọc nhà	So sánh	Hệ khung	Động đất dọc nhà	Gió dọc nhà	So sánh
H-20-100	259,493	173,204	1,50	S-20-200	460,077	112,073	4,11
H-26-100	304,580	230,101	1,32	S-26-200	540,490	148,889	3,63
H-32-100	363,410	294,026	1,24	S-32-200	644,288	190,252	3,39
H-38-100	409,456	360,905	1,14	S-38-200	723,510	233,527	3,10

5. Kết luận

Trong bài báo này, ảnh hưởng của tải trọng động đất tĩnh tương đương tác dụng theo PDN đối với kết cấu nhà công nghiệp một tầng một nhịp bằng thép có cầu trục được đánh giá thông qua kết quả phân tích cho tám hệ kết cấu khung theo sơ đồ không gian với 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. Mỗi hệ kết cấu gồm 16 khung ngang với tiết diện cột và dầm được thiết kế theo sơ đồ khung phẳng đủ để chịu được các trường hợp tổ hợp nội lực do tĩnh tải, hoạt tải mái, cầu trục, gió thổi theo phương ngang và dọc nhà, và hai thành phần tải trọng động đất tác dụng theo phương ngang nhà và đứng như đã trình bày ở [6, 7]. Dưới đây là những kết quả thu được từ nghiên cứu này:

- Thành phần tải trọng động đất tĩnh tương đương tác dụng theo PDN gây ra mô men uốn M_y trong cột theo phương ngoài mặt phẳng khung ngang; tuy nhiên giá trị mô men M_y là rất nhỏ và có thể bỏ qua, cụ thể là giá trị lớn nhất ở chân cột chỉ từ 1,26 đến 1,58% và 1,53 đến 2,61% so với giá trị mô men M_x trong mặt phẳng khung ngang tương ứng do thành phần tải trọng động đất tác dụng theo phương ngang nhà và đứng gây ra.

- Trong khi đó, lực nén N trong cột do thành phần tải trọng động đất tĩnh tương đương tác dụng theo PDN là khá lớn, đặc biệt ở những cột thuộc khoang có giằng cột, lớn hơn so với giá trị do tĩnh tải gây ra từ 1,88 đến 1,91 lần cho trường hợp ở Hà Nội và 2,97 đến 3,17 cho trường hợp ở Sơn La. Xét trường hợp tổ hợp nội lực do tĩnh tải và động đất, lực nén trong cột khi xét đến cả ba thành phần tải trọng động đất tác dụng theo phương ngang, đứng và dọc nhà là lớn hơn từ 2,36 đến 2,99 lần so với trường hợp chỉ xét đến hai thành phần động đất theo phương ngang và đứng.

- Kết quả khảo sát đã chỉ ra rằng ảnh hưởng của tải trọng động đất tác dụng theo PDN đã làm tăng đáng kể lực nén trong cột, đặc biệt đối với những cột ở khoang có giằng cột và điều này cần phải được kể đến trong tính toán thiết kế kết cấu nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục chịu động đất. Mức độ tăng giá trị lực nén trong cột phụ thuộc vào chiều dài nhịp và cường độ tác động của động đất.

Tài liệu tham khảo

- [1] TCVN 9386:2012. *Thiết kế công trình chịu động đất*. Hà Nội.
- [2] CEN (2003). *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*. Brussels, Belgium.
- [3] TCVN 5575:2012. *Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế*. Hà Nội.
- [4] TCVN 2737:1995. *Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế*. Hà Nội.
- [5] Thuật, D. V., Chuong, H. V., Duong, B. (2020). [Relationship of strength reduction factor and maximum ductility factor for seismic design of one-storey industrial steel frames](#). *Asian Journal of Civil Engineering*, 21(5):841–856.

- [6] Thuật, Đ. 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.
- [7] Thuật, Đ. V., Hòa, N. Đ., Chương, H. V., Khánh, T. D. (2019). *Khung nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục được thiết kế chịu tải trọng động đất và gió. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐHXD*, 13(5V):9–19.
- [8] 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 (KHCN XD)-ĐHXD*, 11(1):11–18.
- [9] 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 (KHCN XD)-ĐHXD*, 10(1):17–24.
- [10] Hội, P. V., Viên, N. Q., Tư, P. V., Tường, L. V. (2009). *Kết cấu thép - Cấu kiện cơ bản*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [11] Quang, H. V., Dũng, T. M., Cường, N. Q. (2010). *Thiết kế khung thép nhà công nghiệp*. Hà Nội.
- [12] Chopra, A. K. (2007). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering*. Prentice-Hall: Englewood Cliffs, NJ.
- [13] SAP2000. *Software for structural analysis and design*. v14.2.2, Computer and Structure Inc.