

# ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CỦA CỘT LIÊN HỢP THÉP - BÊ TÔNG TRONG NHÀ CÔNG NGHIỆP TIỀN CHẾ

Nguyễn Đình Hòa<sup>a,\*</sup>, Nguyễn Quốc Cường<sup>a</sup>

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

*Nhận ngày 10/03/2019, Sửa xong 21/06/2019, Chấp nhận đăng 01/07/2019*

---

## Tóm tắt

Trong nhà công nghiệp tiền chế, tiết diện cấu kiện cột thép thường được quyết định bởi trạng thái giới hạn về sử dụng, bên cạnh đó, cột thép có khả năng chịu lửa và chống ăn mòn thấp. Để khắc phục được các vấn đề này, giải pháp cột liên hợp thép - bê tông cho nhà công nghiệp tiền chế được xem xét sử dụng. Mặc dù loại cột này được nghiên cứu và ứng dụng khá phổ biến hiện nay trong ngành xây dựng nhờ kết hợp được đồng thời các ưu điểm của vật liệu thép và bê tông, nhưng chủ yếu trong các công trình nhà cao tầng, chưa áp dụng nhiều trong nhà công nghiệp. Trong bài báo này trình bày cách tính toán cột liên hợp thép - bê tông theo tiêu chuẩn EN 1994-1-1, đưa ra các ví dụ tính toán với các phương án cột liên hợp khác nhau, so sánh kết quả tính toán với phương án sử dụng cột thép, đánh giá hiệu quả sử dụng cột liên hợp thép - bê tông cho nhà công nghiệp.

*Từ khoá:* cột liên hợp thép-bê tông; nhà công nghiệp tiền chế; tiết diện chữ H bọc không hoàn toàn; tiết diện thép nhồi bê tông; tiết diện ống thép nhồi bê tông.

EVALUATE THE EFFECTIVENESS OF STEEL-CONCRETE COMPOSITE COLUMNS APPLICATION IN THE PRE-ENGINEERING INDUSTRIAL BUILDINGS

## Abstract

In the pre-engineered industrial building, steel column sections are usually determined by the serviceability limit state, furthermore, fire resistance and corrosion resistance of steel columns are low. To deal with these problems, the steel-concrete composite columns for pre-engineered industrial building are proposed. Although this type of columns is widely applied in the construction industry due to the simultaneous advantages of steel and concrete, but its current applications are mainly in high-rise buildings, rarely in industrial buildings. In this paper, the calculation of the steel-concrete composite columns according to EN 1994-1-1 is presented, examples of calculation of different types of composite column are proposed, comparison the results with the case of steel column, evaluation the efficiency of using composite columns for industrial building is presented.

*Keywords:* steel-concrete composite column; pre-engineered industrial building; partially concrete encased I-section; concrete filled rectangular hollow steel section; concrete filled circular hollow steel section.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(3V\)-07](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(3V)-07) © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

---

## 1. Giới thiệu

Hiện nay sự phát triển kinh tế dẫn đến nhu cầu xây dựng mới các khu công nghiệp, nhà máy ngày càng nhiều. Các công trình công nghiệp thường sử dụng giải pháp nhà thép tiền chế nhờ các ưu điểm như khả năng chịu lực tốt, gia công chế tạo và lắp dựng nhanh, chi phí đầu tư không lớn. . . [1]. Tuy nhiên loại hình kết cấu này còn có một số nhược điểm như khả năng chịu lửa thấp, dễ bị ăn mòn; đặc

---

\*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: [hoand@nuce.edu.vn](mailto:hoand@nuce.edu.vn) (Hoà, N. Đ.)

biệt với công trình có cầu trục, xây dựng ở vùng gió lớn thì kết cấu nhà sẽ phụ thuộc chủ yếu vào trạng thái giới hạn về sử dụng trong khi các điều kiện theo trạng thái giới hạn về khả năng chịu lực chưa đạt đến cường độ của vật liệu. Giải pháp sử dụng cột liên hợp thép - bê tông thay thế cho cột thép trong nhà tiền chế được xem xét để khắc phục các nhược điểm trên. Nhờ sự làm việc liên hợp nên khả năng chịu lực, điều kiện ổn định, khả năng chịu lửa và chống ăn mòn của cột liên hợp lớn hơn của cột thép, trong khi chuyển vị ngang lại nhỏ hơn. Kết cấu liên hợp thép - bê tông đã và đang được ứng dụng ngày càng phổ biến trên thế giới, tuy nhiên Việt Nam chưa ban hành tiêu chuẩn thiết kế, các tài liệu [2-4] đều dựa theo tiêu chuẩn Châu Âu EN 1994-1-1 [5] nên việc áp dụng trong điều kiện Việt Nam còn hạn chế, hơn nữa loại hình kết cấu này mới chỉ áp dụng chủ yếu trong công trình dân dụng mà ít sử dụng cho nhà công nghiệp.

Cột liên hợp thép - bê tông trong nhà công nghiệp tiền chế đã bắt đầu được nghiên cứu ứng dụng tại Việt Nam những năm gần đây: giải pháp dùng cột liên hợp tiết diện thép hình bọc bê tông để giảm chuyển vị ngang cho nhà công nghiệp [6]; xác định khả năng chịu lực, chuyển vị của cột liên hợp thép-bê tông bọc hoàn toàn trong nhà công nghiệp [7]; đánh giá độ cứng và chuyển vị ngang cột liên hợp thép-bê tông bọc hoàn toàn và không hoàn toàn trong nhà công nghiệp không cầu trục [8]. Tuy nhiên các nghiên cứu trên chưa khảo sát cột thép hộp nhồi bê tông và cột ống thép nhồi bê tông, chưa đánh giá hiệu quả của cột liên hợp so với cột thép truyền thống. Bài báo này sẽ giới thiệu cách tính cột liên hợp thép-bê tông, khảo sát ví dụ bằng số khi sử dụng cột liên hợp với các hình dạng tiết diện cột khác nhau, từ đó so sánh với phương án sử dụng cột thép để đánh giá ưu điểm của việc sử dụng cột liên hợp thép - bê tông cho nhà công nghiệp tiền chế. Trong nghiên cứu này, công trình được giả thiết xây dựng ở vùng có gió lớn nhưng động đất nhỏ, do vậy việc tính toán kết cấu chịu động đất có thể được bỏ qua [9, 10].

## 2. Cột liên hợp theo EN 1994-1-1

### 2.1. Phương pháp tính toán

Theo EN 1994-1-1, cột liên hợp có thể được tính toán theo hai phương pháp sau:

Phương pháp tổng quát: yêu cầu kể đến ảnh hưởng của sự làm việc phi tuyến, sai số chế tạo và hiệu ứng bậc hai, có thể áp dụng cho cột có tiết diện không đối xứng, tiết diện thay đổi theo chiều dài cột. Phương pháp này thường sử dụng mô phỏng số và không áp dụng trong công việc thiết kế thực tế.

Phương pháp đơn giản: sử dụng các đường cong uốn dọc Châu Âu, cột có kể đến sự chế tạo không chính xác, hiệu ứng bậc hai. Phương pháp này áp dụng cho các cột có tiết diện đối xứng theo hai phương và không đổi theo chiều dài cột.

### 2.2. Cấu tạo cột

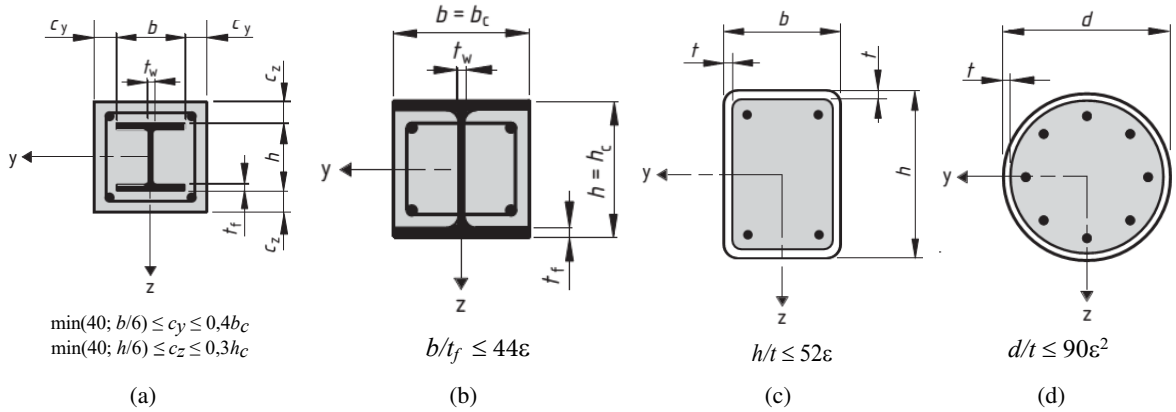
Cấu tạo cột liên hợp thép - bê tông gồm thép kết cấu được bọc bê tông hoàn toàn (Hình 1(a)) hoặc không hoàn toàn (Hình 1(b)); thép hộp chữ nhật hoặc thép ống tròn nhồi bê tông bên trong (Hình 1(c), 1(d)); ngoài ra có thể bố trí thêm cốt thép dọc để tham gia cùng chịu lực, giảm co ngót và tránh nứt vỡ bê tông dưới tác động của nhiệt độ cao.

Để phù hợp với phương pháp tính toán của EN 1994-1-1, điều kiện ổn định cục bộ của thép kết cấu phải được thỏa mãn như trong Hình 1, trong đó  $\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$ ,  $f_y$  (MPa).

Hàm lượng cốt thép dọc trong cột liên hợp phải thỏa mãn:

$$0,3\% \leq A_s/A_c \leq 6\% \quad (1)$$

trong đó  $A_s$  là diện tích tiết diện ngang cốt thép dọc,  $A_c$  là diện tích tiết diện bê tông.



Hình 1. Một số tiết diện thép kết cấu của cột liên hợp

### 3. Áp dụng cột liên hợp dùng cho nhà công nghiệp theo EN 1994-1-1

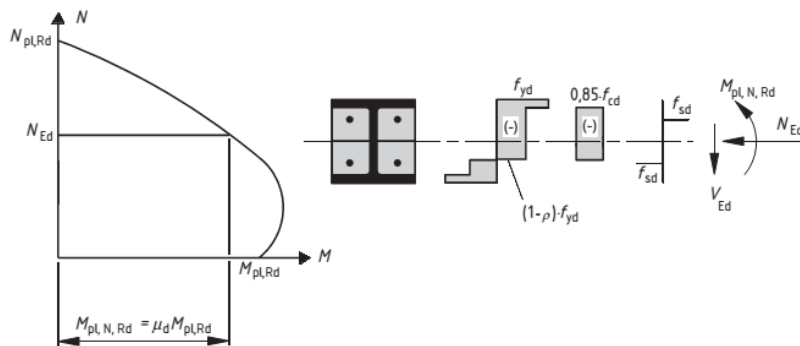
Nhằm đảm bảo điều kiện thi công, lắp dựng nhà công nghiệp tiền chế nhanh và dễ dàng, trong phạm vi bài báo chỉ nghiên cứu với ba loại tiết diện cột: cột chữ H có hai trục đối xứng trục không hoàn toàn, hộp thép rỗng chữ nhật nhồi bê tông và ống thép tròn nhồi bê tông. Liên kết cột với móng là liên kết ngàm, cột với kết cấu mái là liên kết cứng, cột có tiết diện không thay đổi theo chiều cao. Với các điều kiện như vậy, có thể áp dụng cách tính toán cột liên hợp theo phương pháp tính đơn giản.

#### 3.1. Vật liệu của cột liên hợp

Mác thép kết cấu từ S235 đến S460 tương đương với mác thép CCT38 trở lên theo TCVN 5575:2012 [11] hoặc thép có đặc trưng cơ học tương đương; bê tông có cấp độ bền từ C20/25 tới C50/60 tương đương B25 đến B55 theo TCVN 5574:2012 [12]; cốt thép dùng cho cột gồm S220; S400 và S500 theo [5] hoặc tương đương.

#### 3.2. Khả năng chịu lực của tiết diện ngang

Đường cong tương tác giữa lực nén và mômen được xác định bằng cách giả thiết các khối ứng suất dạng hình chữ nhật như trên Hình 2, có xét đến lực cắt tính toán  $V_{Ed}$ , bỏ qua độ bền chịu kéo của



Hình 2. Đường cong tương tác giữa lực nén và mômen uốn

bê tông. Ảnh hưởng của lực cắt tới khả năng chịu uốn và chịu nén dọc trục của cột phải được xét đến nếu lực cắt  $V_{a,Ed}$  vượt quá 50% độ bền chịu cắt của thép ( $V_{a,Ed} > 0,5V_{pl,a,Rd}$ ), bằng cách giảm cường độ tính toán của thép  $(1 - \rho)f_{yd}$  (Hình 2).

Đường cong tương tác có thể thay bằng biểu đồ đa giác nối từ điểm A đến E (Hình 3), các điểm này được xác định phụ thuộc vào vị trí của trục trung hòa dẹt, các công thức chi tiết tính toán khả năng chịu lực của tiết diện cột liên hợp đã được trình bày trong [3].

### 3.3. Độ mảnh quy ước, độ cứng chống uốn hiệu quả

Độ mảnh quy ước  $\bar{\lambda}$  trong mặt phẳng uốn được tính theo:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{N_{pl,Rk}/N_{cr}} \quad (2)$$

trong đó  $N_{pl,Rk}$  là đại lượng đặc trưng cho khả năng chịu nén dẻo, khi sử dụng các giá trị đặc trưng tiêu chuẩn thay cho cường độ tính toán;  $N_{cr}$  là lực tối hạn đàn hồi của cột chịu uốn dọc, tính với độ cứng chống uốn hiệu quả  $(EI)_{eff}$ .

Độ cứng chống uốn hiệu quả  $(EI)_{eff}$  đối với tiết diện cột liên hợp:

$$(EI)_{eff} = E_a I_a + E_s I_s + K_e E_{cm} I_c \quad (3)$$

trong đó  $K_e$  là hệ số hiệu chỉnh, lấy bằng 0,6;  $I_a$ ,  $I_c$  và  $I_s$  lần lượt là mômen quán tính của phần tiết diện thép kết cấu, phần bê tông không nứt và cốt thép (nếu có) đối với trục trung hoà của tiết diện.

Cần tính đến ảnh hưởng của các tác động lâu dài tới độ cứng chống uốn hiệu quả. Khi đó mô đun đàn hồi của bê tông giảm xuống  $E_{c,eff}$  theo biểu thức sau:

$$E_{c,eff} = E_{cm} \frac{1}{1 + (N_{G,Ed}/N_{Ed})\varphi_t} \quad (4)$$

trong đó  $\varphi_t$  là hệ số từ biến [5];  $N_{Ed}$  là lực nén tính toán;  $N_{G,Ed}$  là phần dài hạn của lực nén.

### 3.4. Phương pháp phân tích và sai số chế tạo

Các tính toán phải được dựa trên phân tích đàn hồi tuyến tính bậc hai. Xác định độ cứng chống uốn hiệu quả  $(EI)_{eff,II}$  như sau:

$$(EI)_{eff,II} = K_0(E_a I_a + E_s I_s + K_{e,II} E_{cm} I_c) \quad (5)$$

trong đó  $K_{e,II}$  là hệ số hiệu chỉnh, lấy bằng 0,5;  $K_0$  là hệ số định cỡ, lấy bằng 0,9.

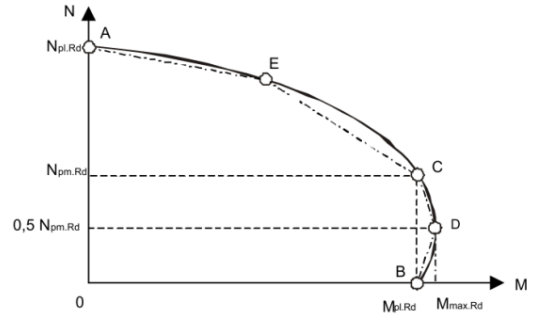
Hiệu ứng bậc hai không xét đến khi các nội lực hay mômen tương ứng do biến dạng tăng không quá 10% và tải trọng đàn hồi tối hạn tính theo độ cứng chống uốn  $(EI)_{eff,II}$ .

Ảnh hưởng của các sai số hình học và cấu tạo được tính bằng sai số hình học tương đương. Giá trị sai số tương đương tra Bảng 6.5 của [5].

Trong khoảng chiều dài cột, ảnh hưởng của hiệu ứng thứ cấp được tính đến bằng cách nhân giá trị lớn nhất của mômen uốn thuộc hiệu ứng bậc một với hệ số  $k$ :

$$k = \beta/(1 - N_{Ed}/N_{cr,eff}) \geq 1 \quad (6)$$

trong đó  $N_{cr,eff}$  là lực nén tối hạn tương ứng với độ cứng  $(EI)_{eff,II}$  trong công thức (5) với chiều dài tính toán bằng chiều dài của cột;  $\beta$  là hệ số chuyển đổi mômen, lấy theo [5].



Hình 3. Đường cong tương tác được đơn giản hoá bởi đa giác nối từ điểm A đến E

### 3.5. Điều kiện chịu nén đúng tâm

Các cấu kiện có thể được kiểm tra bằng phân tích phi tuyến theo mục 6.7.3.6 của [5] tính đến các sai số của cấu kiện. Đối với các cấu kiện chịu nén đúng tâm, cần thỏa mãn:

$$N_{Ed}/(\chi N_{pl,Rd}) \leq 1 \quad (7)$$

trong đó  $N_{pl,Rd}$  là khả năng chịu nén dẻo dọc trục;  $\chi$  là hệ số uốn dọc, phụ thuộc độ mảnh quy ước  $\bar{\lambda}$ ; đường cong uốn dọc và hàm lượng cốt thép, lấy theo EN 1993-1-1 [13].

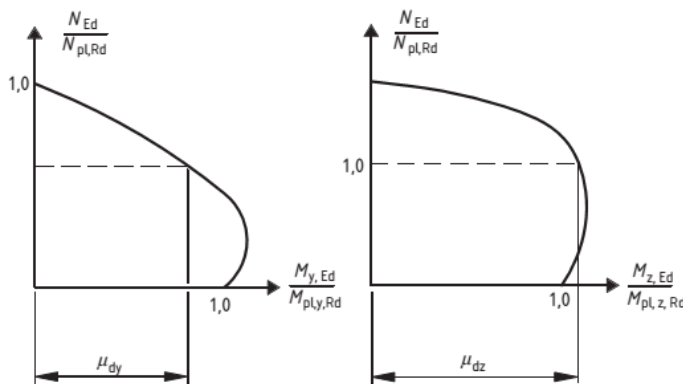
### 3.6. Điều kiện chịu nén lệch tâm phẳng

Điều kiện chịu nén lệch tâm phẳng được đảm bảo khi:

$$M_{Ed}/M_{pl,N,Rd} = M_{Ed}/(\mu_d M_{pl,Rd}) \leq \alpha_M \quad (8)$$

trong đó  $M_{Ed}$  là giá trị lớn hơn giữa mômen ngàm và mômen uốn lớn nhất dọc theo chiều dài của cột được tính đến các sai số và hiệu ứng thứ cấp nếu cần thiết;  $M_{pl,N,Rd}$  là khả năng chịu uốn dẻo của cột tính với lực dọc  $N_{Ed}$ , lấy bằng  $\mu_d M_{pl,Rd}$  (Hình 2);  $M_{pl,Rd}$  là khả năng chịu uốn dẻo của cột, lấy theo điểm B trên Hình 3. Đối với mác thép từ S235 đến S355, hệ số  $\alpha_M$  lấy bằng 0,9 và với mác thép S420, S460 lấy 0,8.

Giá trị  $\mu_d = \mu_{dy}$  hoặc  $\mu_{dz}$  (Hình 4), liên quan tới khả năng chịu mômen dẻo tính toán của cột  $M_{pl,Rd}$  trong mặt phẳng uốn được xét. Giá trị  $\mu_d$  lớn hơn 1 khi mômen uốn  $M_{Ed}$  phụ thuộc trực tiếp vào lực nén dọc  $N_{Ed}$ , ví dụ mômen uốn  $M_{Ed}$  gây ra bởi lực nén lệch tâm  $N_{Ed}$ . Các trường hợp khác cần thiết kiểm tra lại theo mục 6.7.1 (7) của [5].



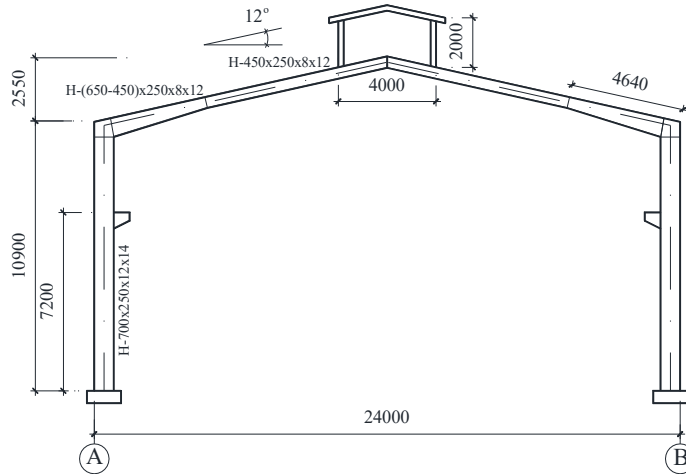
Hình 4. Thiết kế cột chịu nén và uốn theo từng phương

## 4. Các ví dụ tính toán

Thực hiện một số ví dụ tính toán khung ngang nhà công nghiệp tiền chế có chung yêu cầu thiết kế như: nhịp  $L = 24$  m, bước khung  $B = 6$  m, nhịp cửa trời  $L_{ct} = 4$  m, chiều cao cửa trời  $H_{ct} = 2$  m, hai cầu trục hai dầm kiểu ZLK có sức nâng  $Q = 10$  t ở chế độ làm việc trung bình, cao trình đỉnh ray  $H_1 = 8$  m, chiều cao cột  $H = 10,9$  m, vùng gió IIIB, địa hình B, mái dốc  $12^\circ$ . Tĩnh tải mái (chưa kể trọng lượng bản thân vì kèo) do mái tôn, hệ giằng và xà gồ lấy bằng  $15\text{kg/m}^2$  (phân bố theo độ dốc mái). Vật liệu thép CCT34, mô đun đàn hồi  $E = 20600\text{ kN/cm}^2$ , hệ số điều kiện làm việc  $\gamma_c = 1$ . Cột có liên kết ngàm với móng và liên kết cứng với xà mái, các giải pháp cột khác nhau trong mỗi ví dụ tính toán trong khi các kết cấu phần thân còn lại là như nhau.

#### 4.1. Khung ngang nhà công nghiệp sử dụng kết cấu thép

Tải trọng theo TCVN 2737:1995 [14] bao gồm tĩnh tải, hoạt tải sửa chữa mái, tải trọng cầu trục và tải trọng gió. Phân tích nội lực được thực hiện bằng phần mềm phân tích kết cấu ETABS, sau nhiều lần điều chỉnh tiết diện để đảm bảo yêu cầu của các trạng thái giới hạn nhận được phương án kích thước tiết diện các cấu kiện chính của khung ngang như trên Hình 5.



Hình 5. Sơ đồ khung ngang nhà công nghiệp

Chiều dài tính toán cột trong mặt phẳng khung  $L_x = 16,94$  m được xác định phụ thuộc vào tỉ lệ độ cứng đơn vị giữa xà và cột, chiều dài tính toán cột ngoài mặt phẳng khung  $L_y = 7,0$  m lấy bằng khoảng cách từ chân cột đến trục vai cột (do có dầm cầu trục, cột xem như được ngăn cản chuyển vị theo phương dọc nhà tại vị trí vai cột). Các đặc trưng hình học của tiết diện cột thép và độ mảnh của cột thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Đặc trưng hình học tiết diện cột thép

| $A$ (cm <sup>2</sup> ) | $I_x$ (cm <sup>4</sup> ) | $I_y$ (cm <sup>4</sup> ) | $W_x$ (cm <sup>3</sup> ) | $W_y$ (cm <sup>3</sup> ) | $i_x$ (cm) | $i_y$ (cm) | $\lambda_x$ | $\lambda_y$ | $\bar{\lambda}_x$ | $\bar{\lambda}_y$ |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 150,6                  | 112712,0                 | 3655,5                   | 3220,4                   | 292,4                    | 27,4       | 4,9        | 61,9        | 142,1       | 1,96              | 4,49              |

Kết quả kiểm tra điều kiện chịu lực của cột thép được trình bày trong Bảng 2, trong đó các trường hợp 1,2 và 3 lấy tổ hợp như sau: trường hợp 1 (tĩnh tải, hoạt tải trên cả mái, áp lực đứng của cầu trục, lực hãm ngang); trường hợp 2 (tĩnh tải và gió ngang nhà); trường hợp 3 (tĩnh tải, áp lực đứng của cầu trục, lực hãm ngang và gió ngang nhà). Kiểm tra các cấu kiện khác của khung không được trình bày trong bài báo này.

Chuyển vị ngang lớn nhất đỉnh cột  $\Delta_{\max} = 35,6$  mm nhỏ hơn chuyển vị cho phép tại đỉnh cột  $[\Delta] = H/300 = 36,3$  mm nên điều kiện chuyển vị đỉnh cột được đảm bảo.

Như vậy các điều kiện bền và ổn định cột đảm bảo với hệ số an toàn cao trong khi chuyển vị ngang đỉnh cột gần bằng giá trị cho phép, kích thước tiết diện cột được quyết định bởi trạng thái giới hạn về sử dụng, đây là thực tế trong thiết kế nhà công nghiệp tiền chế.

Bảng 2. Kết quả kiểm tra điều kiện chịu lực của cột thép

| Trường hợp | $N$ (kN) | $M_x$ (kNm) | Điều kiện bền<br>(kN/cm <sup>2</sup> ) | Ổn định trong<br>mặt phẳng khung<br>(kN/cm <sup>2</sup> ) | Ổn định ngoài<br>mặt phẳng khung<br>(kN/cm <sup>2</sup> ) | Giá trị<br>giới hạn<br>(kN/cm <sup>2</sup> ) |
|------------|----------|-------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 1          | 238,5    | 95,2        | 4,54                                   | 4,65                                                      | 8,31                                                      | 21,00                                        |
| 2          | 1,9      | 386,2       | 12,00                                  |                                                           | 3,52                                                      | 21,00                                        |
| 3          | 165,9    | 370,1       | 12,59                                  | 8,40                                                      | 13,43                                                     | 21,00                                        |

#### 4.2. Khung ngang nhà công nghiệp với giải pháp cột liên hợp

Sử dụng số liệu thiết kế ở ví dụ trong 4.1 nhưng thay thế giải pháp cột thép bởi các cột liên hợp: cột có tiết diện chữ H đối xứng bọc bê tông không hoàn toàn; cột có tiết diện hộp chữ nhật nhồi bê tông và cột có tiết diện thép ống tròn nhồi bê tông. Vật liệu cột liên hợp gồm thép kết cấu S235 có  $f_y = 235$  MPa, hệ số an toàn vật liệu thép  $\gamma_a = 1,05$ ; bê tông C25 có  $f_{ck} = 25$  MPa, hệ số an toàn vật liệu bê tông  $\gamma_c = 1,5$ ; cốt thép dọc CII có  $f_{sn} = 295$  MPa, hệ số an toàn vật liệu cốt thép  $\gamma_s = 1,15$ .

Tổ hợp các tải trọng theo EN 1990:2002 [15], tiến hành kiểm tra cột theo các điều kiện của EN 1994-1-1 và vẫn đảm bảo yêu cầu chuyển vị đỉnh cột như ví dụ trong 4.1. Trong Bảng 3 trình bày các đặc trưng hình học của các tiết diện cột liên hợp với quy ước lại tiết diện cột có trục khỏe  $y$ , trục yếu là  $z$  và trục  $x$  dọc theo chiều dài cột [5].

Bảng 3. Đặc trưng hình học tiết diện cột liên hợp tính với trục khỏe  $y$ 

| Loại cột                             | $A_a$ (cm <sup>2</sup> ) | $I_a$ (cm <sup>4</sup> ) | $W_a$ (cm <sup>3</sup> ) | $A_s$ (cm <sup>2</sup> ) | $I_s$ (cm <sup>4</sup> ) | $W_s$ (cm <sup>3</sup> ) | $A_c$ (cm <sup>2</sup> ) | $I_c$ (cm <sup>4</sup> ) | $W_c$ (cm <sup>3</sup> ) |
|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Cột 570×250×10×12 bọc bê tông (4Φ12) | 114,6                    | 60276,1                  | 2419,3                   | 4,524                    | 2941,7                   | 115,4                    | 1310,4                   | 322601                   | 17772                    |
| Cột hộp 580×200×12 nhồi bê tông      | 181,4                    | 73096,6                  | 3218,0                   | -                        | -                        | -                        | 978,6                    | 252090                   | 13602                    |
| Cột ống D552×8 nhồi bê tông          | 136,7                    | 50587,2                  | 2367,7                   | -                        | -                        | -                        | 2256,4                   | 405162                   | 25665                    |

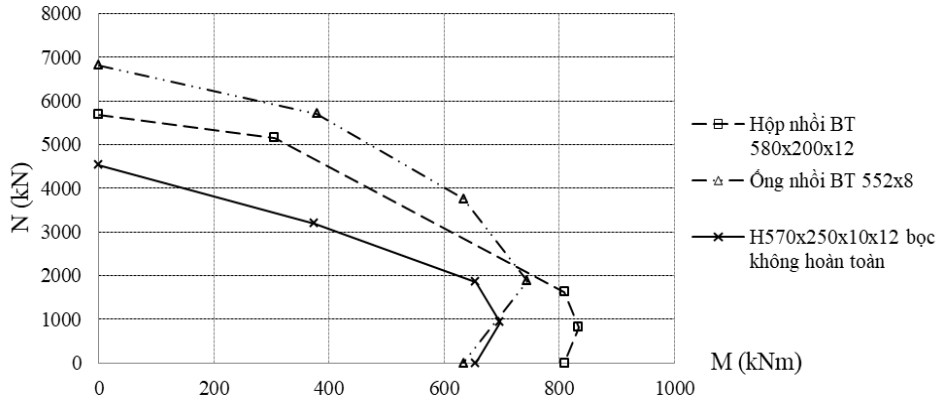
Lực cắt lớn nhất trong các cột liên hợp đều nhỏ hơn 50% khả năng chịu cắt của tiết diện thép nên bỏ qua ảnh hưởng của lực cắt đến khả năng chịu nén uốn của cột.

Các đường cong tương tác (Hình 6) được thiết lập bằng phương pháp đơn giản hóa thông qua việc xác định các điểm A, B, C, D và E. Hình 6 cho thấy cột hộp nhồi bê tông và cột ống nhồi bê tông có khả năng chịu nén uốn cao hơn cột thép chữ H bọc bê tông không hoàn toàn.

Các kết quả kiểm tra ổn định cục bộ của tiết diện cột liên hợp được thể hiện ở Bảng 4.

Nội lực gây nén lớn nhất (tổ hợp tải trọng trong trường hợp này gồm tĩnh tải, hoạt tải cả mái, áp lực đứng của cầu trục và lực hãm ngang), lực dọc do tĩnh tải, chiều dài tính toán cột trong và ngoài mặt phẳng khung được trình bày trong Bảng 5.

Điều kiện ổn định của cột liên hợp chịu nén kiểm tra riêng đối với từng phương trục khỏe  $y$  và trục yếu  $z$ , đối với tiết diện ống tròn nhồi bê tông chỉ cần kiểm tra đối với 1 trục đối xứng. Trên Bảng 6 trình bày đặc trưng hình học của tiết diện cột bọc bê tông và cột hộp nhồi bê tông theo phương trục yếu  $z$ .



Hình 6. Các đường cong tương tác của tiết diện các loại cột liên hợp

Bảng 4. Kiểm tra ổn định cục bộ cột liên hợp

| Loại cột                        | Điều kiện ổn định cục bộ |                  |
|---------------------------------|--------------------------|------------------|
|                                 | Giá trị kiểm tra         | Giá trị giới hạn |
| Cột H570×250×10×12 bọc bê tông  | $b/t_f = 20,8$           | 44               |
| Cột hộp 580×200×12 nhồi bê tông | $h/t = 48,3$             | 52               |
| Cột ống D552×8 nhồi bê tông     | $D/t = 69,0$             | 90               |

Bảng 5. Nội lực và chiều dài tính toán cột

| Loại cột                        | Lực nén lớn nhất<br>$N_{Ed}$ (kN) | Lực nén do tính tải<br>$N_{G,Ed}$ (kN) | Hệ số từ biến<br>$N_\varphi$ | Chiều dài tính toán<br>$L_y$ (m) | Chiều dài tính toán<br>$L_z$ (m) |
|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Cột H570×250×10×12 bọc bê tông  | 381,9                             | 108,4                                  | 1                            | 16,42                            | 7                                |
| Cột hộp 580×200×12 nhồi bê tông | 378,1                             | 104,5                                  | 1                            | 16,52                            | 7                                |
| Cột ống D552×8 nhồi bê tông     | 416,0                             | 142,6                                  | 1                            | 16,26                            | 7                                |

Bảng 6. Đặc trưng hình học của tiết diện cột liên hợp đối với trục yếu z

| Loại cột                        | $I_{a,z}$ (cm <sup>4</sup> ) | $I_{s,z}$ (cm <sup>4</sup> ) | $I_{c,z}$ (cm <sup>4</sup> ) |
|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Cột H570×250×10×12 bọc bê tông  | 3129,6                       | 408,3                        | 70681,0                      |
| Cột hộp 580×200×12 nhồi bê tông | 13406,8                      | -                            | 25260,0                      |

Kết quả tính toán ổn định cột chịu nén được trình bày trong Bảng 7.

Kiểm tra cột chịu đồng thời lực nén và uốn phẳng (uốn quanh trục khỏe y): Các cặp nội lực khi chưa kể đến hiệu ứng bậc 2 và sai số chế tạo tương ứng cho mỗi giải pháp cột khác nhau được trình bày trong Bảng 8, trong đó các giá trị lực dọc và mômen lấy theo tổ hợp gồm tính tải, áp lực đứng của

Bảng 7. Kiểm tra ổn định cột chịu nén

| Loại cột                        | Đối với | Độ cứng<br>$EI_{eff}$<br>(kN.cm <sup>2</sup> ) | Lực tới hạn, $N_{cr}$<br>(kN) | $N_{pl,Rk}$<br>(kN) | $\bar{\lambda}$ | Đường cong châu Âu, $\alpha$ | $\phi$ | Hệ số $\chi$ | Kiểm tra<br>$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{pl,Rd}} \leq 1$ |
|---------------------------------|---------|------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------|------------------------------|--------|--------------|----------------------------------------------------|
| Cột H570×250×10×12 bọc bê tông  | trục y  | 1787410238                                     | 5854,5                        | 5611,2              | 0,98            | (b), $\alpha = 0,34$         | 1,112  | 0,610        | 0,138 < 1                                          |
|                                 | trục z  | 175043528                                      | 3525,7                        |                     | 1,26            | (c), $\alpha = 0,49$         | 1,556  | 0,405        | 0,208 < 1                                          |
| Cột hộp 580×200×12 nhồi bê tông | trục y  | 1896425436                                     | 6089,9                        | 6710,2              | 1,05            | (a), $\alpha = 0,21$         | 1,140  | 0,631        | 0,105 < 1                                          |
|                                 | trục z  | 317754905                                      | 6400,2                        |                     | 1,02            | (a), $\alpha = 0,21$         | 1,110  | 0,649        | 0,102 < 1                                          |
| Cột ống D552×8 nhồi bê tông     |         | 1614500481                                     | 5530,4                        | 8854,0              | 1,27            | (a), $\alpha = 0,21$         | 1,412  | 0,490        | 0,124 < 1                                          |

cầu trục, lực hãm ngang và gió ngang nhà.

Kết quả tính ổn định cột chịu đồng thời lực nén và uốn phẳng thể hiện trong Bảng 9. Chuyển vị cho phép tại đỉnh cột  $[\Delta] = H/300$  và chuyển vị ngang đỉnh cột  $\Delta_{max}$  đối với từng phương án cột liên hợp như trong Bảng 10. Từ Bảng 9 và 10, cột liên hợp đảm bảo các yêu cầu chịu lực và chuyển vị (gần đạt đến giá trị giới hạn).

Bảng 8. Nội lực tính ổn định cột chịu đồng thời nén và uốn phẳng

| Loại cột                        | $N_{Ed}$ (kN) | $M_{Ed}$ (kNm) |
|---------------------------------|---------------|----------------|
| Cột H570×250×10×12 bọc bê tông  | 283,7         | 523,8          |
| Cột hộp 580×200×12 nhồi bê tông | 280,0         | 525,0          |
| Cột ống D552×8 nhồi bê tông     | 317,8         | 524,5          |

Bảng 9. Kiểm tra ổn định cột chịu đồng thời lực nén và uốn phẳng

| Loại cột                        | Độ cứng<br>$EI_{eff,II}$<br>(kNcm <sup>2</sup> ) | Lực tới hạn $N_{cr,eff}$<br>(kN) | $e_0$<br>(cm) | Mômen do sai số chế tạo<br>$\Delta M_{Ed}$ (kNm) | $k_1$ | $k_2$ | $M_{Ed,max}$<br>(kNm) | $\mu_d M_{pl,Rd}$<br>(kNm) | Điều kiện<br>$\frac{M_{Ed,max}}{\mu_d M_{pl,Rd}} \leq 0,9$ |
|---------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------|---------------|--------------------------------------------------|-------|-------|-----------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------|
| Cột 570×250×10×12 bọc bê tông   | 1515176966                                       | 4962,8                           | 5,3           | 15,11                                            | 1     | 1,061 | 539,8                 | 667,6                      | 0,809                                                      |
| Cột hộp 580×200×12 nhồi bê tông | 1633457813                                       | 5245,4                           | 3,6           | 9,94                                             | 1     | 1,056 | 535,5                 | 817,6                      | 0,655                                                      |
| Cột ống D552×8 nhồi bê tông     | 1339946356                                       | 4589,9                           | 3,6           | 11,28                                            | 1     | 1,074 | 536,6                 | 652,5                      | 0,822                                                      |

#### 4.3. Đánh giá hiệu quả của cột liên hợp thép - bê tông trong nhà công nghiệp

Kết quả tính toán với các phương án cột khác nhau được tổng hợp ở Bảng 11. Từ Bảng 11, nhận thấy khi các chuyển vị ngang đỉnh cột đạt đến gần với giá trị cho phép thì điều kiện chịu lực của cột thép H700×250×12×14 còn dư nhiều, chưa tận dụng hết khả năng của vật liệu (hơn 60%). Trong khi

Bảng 10. Kiểm tra điều kiện chuyển vị

| Loại cột                        | $\Delta_{\max}$ (mm) | $[\Delta]$ (mm) |
|---------------------------------|----------------------|-----------------|
| Cột H570×250×10×12 bọc bê tông  | 36,1                 | 36,3            |
| Cột hộp 580×200×12 nhồi bê tông | 35,7                 |                 |
| Cột ống D552×8 nhồi bê tông     | 35,9                 |                 |

Bảng 11. Thống kê các kết quả chính

| Loại cột                        | Điều kiện chịu lực chính |                  |      |                         | Điều kiện chuyển vị |            |      | Diện tích tiết diện thép |
|---------------------------------|--------------------------|------------------|------|-------------------------|---------------------|------------|------|--------------------------|
|                                 | Giá trị tính toán        | Giá trị cho phép | %    | Điều kiện               | $\Delta$            | $[\Delta]$ | %    | A (cm <sup>2</sup> )     |
| Cột thép H700×250×12×14         | 13,43 kN                 | 21,00 kN         | 63,9 | Ổn định ngoài mặt phẳng | 35,6                | 36,3       | 98,1 | 150,6                    |
| Cột H570×250×10×12 bọc bê tông  | 0,809                    | 0,9              | 89,9 | Chịu nén uốn đồng thời  | 36,1                |            | 99,5 | 119,1                    |
| Cột hộp 580×200×12 nhồi bê tông | 0,655                    | 0,9              | 72,8 | Chịu nén uốn đồng thời  | 35,7                |            | 98,3 | 181,4                    |
| Cột ống D552×8 nhồi bê tông     | 0,822                    | 0,9              | 91,3 | Chịu nén uốn đồng thời  | 35,9                |            | 98,9 | 136,7                    |

đó các cột liên hợp phát huy hiệu quả hơn sự làm việc của vật liệu (điều kiện chịu lực có thể đạt tới 90%). Các cột tiết diện thép chữ H bọc bê tông không hoàn toàn và cột ống thép nhồi bê tông có diện tích thép (bao gồm cả cốt thép dọc trong cột) nhỏ hơn đáng kể so với cột thép (từ 10% đến 20%). Do điều kiện ổn định cục bộ được quy định trong EN 1994-1-1 nên chiều dày thép hộp được chọn lớn hơn so với chiều dày cần thiết theo yêu cầu chịu lực, từ đó diện tích tiết diện thép của cột hộp nhồi bê tông cao hơn các cột khác.

## 5. Kết luận

Bài báo đã trình bày hiệu quả sử dụng vật liệu thép khi thay cột thép thuần túy trong nhà công nghiệp tiền chế bằng cột liên hợp thép - bê tông. Nghiên cứu đã rút ra được các kết luận sau:

- Sử dụng giải pháp cột liên hợp thép - bê tông làm tăng độ cứng khung, nâng cao khả năng chịu lực so với cột thép thuần túy.

- Thiết kế cột liên hợp thép – bê tông trong nhà công nghiệp tiền chế đảm bảo trạng thái giới hạn về khả năng chịu lực và trạng thái giới hạn về sử dụng đều cùng đạt hiệu quả cao, khắc phục nhược điểm của cột thép là tiết diện cột thường được quyết định bởi trạng thái giới hạn về sử dụng trong khi điều kiện chịu lực thì quá an toàn.

- Đối với nhà công nghiệp tiền chế, sử dụng các cột liên hợp tiết diện chữ H bọc bê tông không hoàn toàn và cột ống thép nhồi bê tông sẽ tiết kiệm vật liệu thép kết cấu so với cột thép thuần túy và cột hộp chữ nhật nhồi bê tông.

Ngoài ra việc sử dụng cột liên hợp thép - bê tông còn đảm bảo khả năng chịu lửa, chống ăn mòn tốt hơn cột thép. Tuy nhiên, cần có các nghiên cứu thêm về giá thành vật liệu, chi phí gia công chế tạo, thi công lắp dựng,... để có thể đánh giá đầy đủ các yếu tố kinh tế - kỹ thuật của giải pháp sử dụng cột liên hợp thép - bê tông trong nhà công nghiệp tiền chế.

## Lời cảm ơn

Các tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của trường Đại học Xây dựng cho đề tài “ Tính toán cột liên hợp thép - bê tông theo tiêu chuẩn EN 1994-1-1 và đánh giá hiệu quả sử dụng trong nhà thép tiền chế mái nhẹ”, mã số 75-2017/KHXD.

## Tài liệu tham khảo

- [1] Viên, N. Q., Tư, P. V., Quang, H. V. (2011). *Kết cấu thép, nhà dân dụng và công nghiệp*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [2] Hội, P. V. (2006). *Kết cấu liên hợp thép - bê tông, dùng trong nhà cao tầng*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [3] Hội, P. V., Linh, N. N., Tuấn, V. A., Đức, H. N., Thu, P. T. N., Tuyền, N. M. (2016). *Kết cấu liên hợp thép - bê tông, trong nhà cao tầng và siêu cao tầng*. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- [4] Tuan, V. A. (2017). *Steel - concrete composite structures. Slabs, beams and columns for buildings*. Construction Publishing House, Hanoi.
- [5] EN 1994-1-1 (2004). *Design of composite steel and concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings*. European Committee for Standardization.
- [6] Oanh, T. V. (2013). *Giải pháp giảm chuyển vị ngang cho nhà công nghiệp mái nhẹ dùng cột liên hợp thép - bê tông*. Luận văn Thạc sỹ kỹ thuật, Đại học Xây dựng.
- [7] Anh, N. Q. (2017). *Tính toán cột liên hợp thép - bê tông theo EN 1994-1-1 trong nhà công nghiệp mái nhẹ*. Luận văn Thạc sỹ kỹ thuật, Đại học Xây dựng.
- [8] Tuấn, V. A. (2017). Áp dụng cột liên hợp thép - bê tông trong nhà thép tiền chế mái nhẹ. *Tạp chí Xây dựng Việt Nam*, 2:140–144.
- [9] Thuật, Đ. V., Việt, Đ. Q., Sơn, N. V. (2016). *Một số vấn đề khi xác định tải trọng động đất tác dụng lên khung ngang nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục*. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD)-ĐHXD*, 10(1):17–24.
- [10] 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 (KHCNXD)-ĐHXD*, 11(1):11–18.
- [11] TCVN 5575:2012. *Kết cấu thép. Tiêu chuẩn thiết kế*. Bộ Khoa học và Công nghệ.
- [12] TCVN 5575:2012. *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép*. Bộ Khoa học và Công nghệ.
- [13] EN 1993-1-1 (2005). *Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings*. European Committee for Standardization.
- [14] TCVN 2737:1995. *Tải trọng và tác động. Tiêu chuẩn thiết kế*. Bộ Khoa học và Công nghệ.
- [15] EN 1990:2002 (2005). *Basis of structure design*. European Committee for Standardization.