

NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH SỨC CHỊU NÉN VÀ MOMENT CHỊU UỐN GIỚI HẠN CỦA CHÂN CỘT THÉP DÙNG DIỆN TÍCH HỮU HIỆU

Bùi Phước Hảo^{1*}

REASERCH ON DETERMINATION FOR THE LIMITED COMPRESSIVE STRENGTH AND BENDING MOMENT OF THE STEEL COLUMN BASE USING EFFECTIVE AREA PANDEMIC

Bui Phuoc Hao^{1*}

Tóm tắt – Trong thiết kế chân cột thép, thông số sức chịu nén giới hạn N_{Rd} và moment chịu uốn giới hạn M_{Rd} là một trong những điều kiện không thể bỏ qua được quan tâm đúng mức, nếu không sẽ gây phá hoại khối móng bê tông dưới chân cột. Mục tiêu của bài báo là dùng phương pháp diện tích hữu hiệu trong tiêu chuẩn Eurocode 3 để xác định N_{Rd} và M_{Rd} của chân cột thép, sau đó thực hiện tính toán bằng số để kiểm tra kết quả tính toán. Kết quả cho thấy rằng N_{Rd} và M_{Rd} của chân cột thép phải chịu có xu hướng tăng dần khi tăng dần chiều dày bản đế và mác khối móng bê tông. Khi đó, ứng với từng chiều dày bản đế (từ $t = 18 \text{ mm}$ đến $t = 36 \text{ mm}$) và từng mác bê tông (từ C16/20 đến C50/60) sẽ cho kết quả tương ứng với từng N_{Rd} và M_{Rd} . Tuy nhiên, điều lưu ý là khả năng chịu lực nén và moment chịu uốn của chân cột sẽ bị giới hạn, không thể tăng mãi, chẳng hạn không thể vượt qua khả năng chịu lực nén $N_{pl,Rd} = 1596 \text{ kN}$ và độ bền chịu uốn giới hạn $M_{pl,Rd} = 131,3 \text{ kN.m}$ của khối móng bê tông dưới chân cột. Bài viết khuyến nghị sử dụng kết quả của nghiên cứu này đối với việc chọn chiều dày bản đế và mác của khối móng bê tông một cách hiệu quả, chính xác và kinh tế nhất.

Từ khóa: bản đế, chân cột thép, chịu nén giới hạn, chịu uốn giới hạn, diện tích hữu hiệu.

Abstract – In the design of steel column base, parameters of limited compressive strength N_{Rd} and limited bending moment M_{Rd} are the control conditions that need to be paid due attention, otherwise it will damage the concrete foundation block at the foot of the column. The objective of the article is to use the effective area method in Eurocode 3 standard to determine N_{Rd} and M_{Rd} of the steel column base, then perform numerical calculations to check the calculation results. The results show that the N_{Rd} and M_{Rd} of the steel column base tends to increase when increasing the thickness of the base plate and the grade of the concrete foundation block. Then, corresponding to each thickness of the base plate (from $t=18 \text{ mm}$ to $t=36 \text{ mm}$) and each concrete grade (from C16/20 to C50/60) will give corresponding results for each N_{Rd} and M_{Rd} . However, it is important to note that the compressive capacity and bending moment of the column base will be limited, can not increase forever, for example, can not overcome the compressive strength $N_{pl,Rd} = 1596 \text{ kN}$ and the limit bending strength $M_{pl,Rd} = 131.3 \text{ kN.m}$ of the concrete foundation block at the base of the column. The article recommends using the results of this study to choose the thickness of the base plate and the grade of the concrete foundation block in the most effective, accurate and economical way.

¹Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Trà Vinh
Ngày nhận bài: 21/10/2021; Ngày nhận kết quả bình
đuyệt: 06/02/2022; Ngày chấp nhận đăng: 04/3/2022
*Tác giả liên hệ: phuochao@tvu.edu.vn

¹School of Engineering & Technology, Tra Vinh University

Received date: 21st October 2021; Revised date: 06th February 2022; Accepted date: 04th March 2022

*Corresponding author: phuochao@tvu.edu.vn

Keywords: *base plate, effective area, limited bending moment, limited compressive strength, steel column base.*

I. MỞ ĐẦU

Trong kết cấu thép, cấu kiện cột thép được tạo thành từ các thanh thép liên kết với bản đế tại chân cột thông qua bản mặt bích, đặt lên khối móng bê tông được sử dụng rất phổ biến ở các công trình dân dụng và công nghiệp. Chân cột thép được thiết kế với nhiều quan điểm khác nhau và cùng hướng đến mục tiêu đơn giản hóa tính toán, phản ánh sự làm việc của cột thép sát với thực tế.

Hiện nay, nhiều quốc gia trên thế giới đã đưa ra các tiêu chuẩn, quy phạm thiết kế về liên kết chân cột thép như AISC (Mỹ), JIS (Nhật Bản), AS (Úc), BS (Anh), SP (Nga), Eurocode 3 (Liên minh châu Âu). Trong đó, việc tính toán các cấu kiện thép nói chung và chân cột thép nói riêng tại Việt Nam theo tiêu chuẩn hiện hành là TCVN 5575-2012 [1].

Một số quan điểm thiết kế chân cột thép chịu nén đúng tâm theo tiêu chuẩn Việt Nam và các nước cho rằng: (i) ứng suất dưới bản đế phân bố đàn hồi tuyến tính, (ii) chấp nhận móng bê tông chảy dẻo và phân phối lại ứng suất tương tự như tiết diện bê tông cốt thép. Tuy nhiên, bản đế chân cột luôn có độ mềm cao do bề dày hạn chế. Do đó, nếu thiết kế theo phương pháp trên thường có kết quả chiều dày bản đế lớn, như vậy sẽ gây ra việc lãng phí, ảnh hưởng đến chi phí xây dựng công trình. Bên cạnh đó, do phần tiết diện chân cột thép tiếp xúc với bản đế rất nhỏ dẫn đến ứng suất phân bố ngay dưới bản đế thường phân bố không đều và bị giới hạn trong một vùng nhất định xung quanh tiết diện cột nên không đảm bảo các yêu cầu thiết kế đặt ra. Mặt khác, trong thiết kế chân cột thép, thông số sức chịu nén và moment chịu uốn giới hạn là một trong những điều kiện khống chế cần được người thiết kế quan tâm đúng mức để giúp họ phân tích kết cấu đạt hiệu quả cao nhất.

Trong những năm gần đây, một số nghiên cứu trên thế giới được thực hiện nhằm tìm ra phương pháp phù hợp trong công tác thiết kế chân cột thép. Nghiên cứu về phương pháp thiết kế chân cột thép chịu độ lệch tâm lớn của Victoria-Elena

RoSca et al. năm 2013 [2] cho thấy độ bền của bê tông chịu nén phụ thuộc vào vật liệu chế tạo bản đế, trạng thái của lớp vữa và trạng thái ứng suất phức tạp trong vùng tiếp xúc giữa bản đế và bê tông. Một nghiên cứu khác của Wald et al. năm 2008 [3] đưa ra dự đoán rằng: thành phần liên kết, sức chịu nén giới hạn và độ cứng của liên kết tại chân cột thép với bản đế phụ thuộc vào phương pháp mô phỏng liên kết giữa chân cột thép và bản đế.

Trong bài báo này, tác giả sử dụng phương pháp diện tích hữu hiệu quy định trong tiêu chuẩn theo Eurocode 3 để phân tích ảnh hưởng của chiều dày bản đế và mác bê tông khối móng đến các thông số sức chịu nén giới hạn, moment chịu uốn giới hạn trong thiết kế chân cột thép chịu nén đúng tâm, chịu nén – uốn đồng thời. Qua đó, nghiên cứu này góp phần cung cấp cái nhìn tổng quát để thiết kế chân cột thép hiệu quả nhất, tối ưu nhất.

II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ CƠ SỞ TÍNH TOÁN

Để tính toán xác định sức chịu nén và moment chịu uốn giới hạn của chân cột thép, chúng ta sử dụng phương pháp diện tích hữu hiệu quy định trong Eurocode 3.

Trong ‘Thiết kế kết cấu liên kết theo Eurocode 3 – Câu hỏi thường gặp’ [4], phần kích thước mở rộng c quanh tiết diện cột xác định như sau:

$$c = t \times \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \times f_{jd} \times \gamma_{MO}}}$$

Trong đó: t – bề dày bản đế (mm); f_{yd} – giới hạn chảy của thép (N/mm^2); $\gamma_{MO} = 1,15$ – hệ số độ tin cậy vật liệu thép khi tính bền; f_{jd} – cường độ tính toán ép mặt của bê tông móng (N/mm^2).

Cường độ ép mặt cục bộ bê tông móng được xác định như sau:

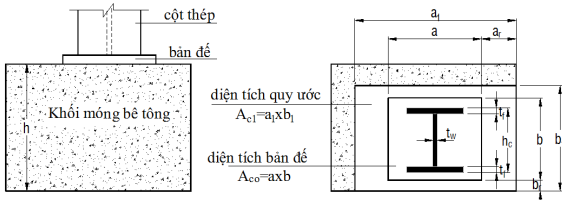
$$f_{jd} = \beta_j \times k_j \times f_{cd}$$

Trong đó: β_j – hệ số kể đến vật liệu làm móng, lấy $\beta_j = 2/3$; k_j – hệ số kể đến tỉ số giữa diện tích bản đế $A_{co} = a \times b$ và diện tích móng quy ước A_{c1} ; $K_j = \sqrt{A_{c1}/A_{co}}$ nhưng lấy $k_j \leq 3$; $f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c$ – cường độ tính toán của bê tông, với f_{cd}

– cường độ nén đặc trưng của mẫu bê tông hình trụ ở 28 ngày tuổi (N/mm^2), $\gamma_c = 1,5$ – hệ số tin cậy của vật liệu bê tông.

Vậy ta có:

$$f_{jd} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \times \frac{f_{ct}}{\gamma_c} \leq 2 \frac{f_{ct}}{\gamma_c}$$



Hình 1: Vùng diện tích quy ước và diện tích bản đế

Diện tích quy ước A_{c1} lấy như sau:

$$A_{c1} = a_1 \times b_1$$

Trong đó:

$$a_1 = \min(a+2a_r; 5a; a+h; 5b_1) \text{ và lấy } a_1 \geq a;$$

$$b_1 = \min(b+2b_r; 5b; b+h; 5a_1) \text{ và lấy } b_1 \geq b$$

Theo EN 1993-1-8:2005 [5], diện tích hữu hiệu A_{eff} bên dưới bản đế và chiều dài hữu hiệu b_{eff} của tiết diện T-stub cho bản đế với bu lông ở bên ngoài của bản cánh cột được xác định theo công thức sau:

$$A_{eff} = \min(b; b+2c) \times \min(a; h_c+2c) - \max[\min(b; b_c+2c) - t_w - 2c; 0] \times \max(h_c - 2t_f - 2c; 0)$$

$$l_{eff} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4 \times m_x + 1,25 \times e_x; \\ 4\pi \times m_x; \\ 0,5 \times b_p; \\ 0,5 \times w + 2 \times m_x + 0,625 \times e_x; \\ e + 2m_x + 0,625 \times e_x; \\ 2\pi \times m_x + 4e; \\ 2\pi \times m_x + 2p \end{array} \right.$$

Theo EN 1993-1-1:2005 [6], khi cột chịu nén đúng tâm với lực nén thiết kế N_{Ed} thì ứng suất dưới bản đế trong phạm vi diện tích hữu hiệu được xem là phân bố đều. Khả năng chịu nén ép mặt của bê tông móng: $N_{Rd} = A_{eff} \times f_{jd}$ (7)

Khi cột chịu nén lệch tâm, moment chịu uốn giới hạn của chân cột:

$$M_{Rd} = F_{T,3,Rd} \times r_t + A_{eff} \times f_{jd} \times r_c \quad (8)$$

Trong đó: r_c - cánh tay đòn của bê tông đến trục đối xứng của cột (mm); r_t - khoảng cách từ trọng tâm hàng bu lông đến trục đối xứng của cột (mm).

Cũng theo EN 1993-1-1:2005 [5], khả năng chịu lực nén và moment chịu uốn giới hạn của chân cột không được lớn hơn khả năng chịu lực nén và moment chịu uốn của khối móng bê tông dưới chân cột:

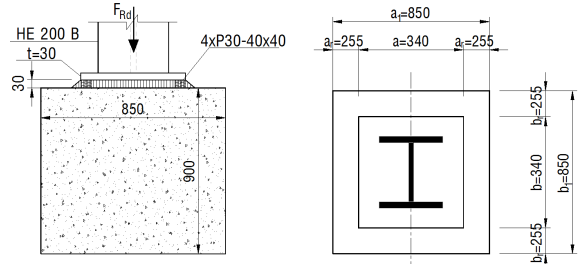
$$N_{Rd} < N_{pl,Rd} = (A_c \times f_y) / \gamma_{M0};$$

$$M_{Rd} < M_{pl,Rd} = (W_{pl,HBE} \times f_y) / \gamma_{M0} \quad (9)$$

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

A. Tính toán chân cột đơn giản chịu nén đúng tâm

Tính sức chịu tải của chân cột chịu nén đúng tâm được thể hiện như Hình 2. Cột dùng thép HE200B, bản đế có chiều dày $t = 30$ mm và khối móng bê tông có kích thước: $850 \times 850 \times 900$ mm. Thép mác S235. Hệ số an toàn vật liệu là $\gamma_{M0} = 1,15$ và $\gamma_c = 1,50$ [7].



Hình 2: Cấu tạo chi tiết chân cột

Tính các giá trị cực tiểu a_1 và b_1 :

$$a_1 = b_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} a + 2 \times a_r = 340 + 2 \times 255 = 850 \text{ mm} \\ 5 \times a = 5 \times 340 = 1700 \text{ mm} \\ a + h = 340 + 900 = 1240 \text{ mm} \\ 5 \times b_1 = 5 \times 580 = 4250 \text{ mm} \end{array} \right\} = 850 \text{ mm}$$

Và, từ điều kiện $b_1 = a_1 = 850 \text{ mm} > a = 340$ mm. Và vì thế: $k_j = \sqrt{\frac{a_1 \times b_1}{a \times b}} = \sqrt{\frac{850 \times 850}{340 \times 340}} = 2,5$

Trường hợp 1: Tác giả khảo sát chiều dày bản đế thay đổi từ $t = 18$ mm đến $t = 36$ mm, tính đại diện với bê tông mác C20/25 và bê tông mác C40/50, được kết quả như Bảng 1.

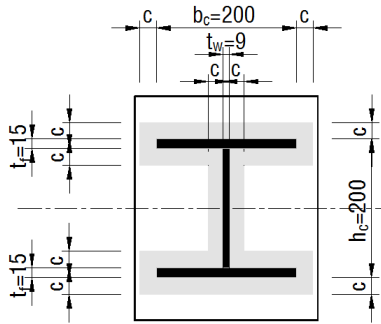
Tính đại diện với bê tông mác C20/25 và t = 30 mm

Khả năng chịu tải của bê tông bên dưới bản đế:

$$f_{jd} = \frac{\beta_j \times A_{co} \times f_{cd} \times \sqrt{A_{t1} / A_{co}}}{A_{co}} = \beta_j \times f_{cd} \times k_j = 0,67 \times \frac{20}{1,5} \times 2,5 = 22,3 \text{ N/mm}^2$$

Chiều rộng hữu hiệu c (Hình 3):

$$c = t \times \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \times f_{jd} \times \gamma_{MO}}} = 30 \times \sqrt{\frac{235}{3 \times 22,3 \times 1,15}} = 52,4 \text{ mm}$$



Hình 3: Vùng diện tích hữu hiệu bên dưới bản đế

Diện tích hữu hiệu dưới tấm đế của tiết diện chữ H được tính như sau:

$$A_{eff} = \min(b; b + 2c) \times \min(a; h_{ef} + 2c) - \max[\min(b; b_c + 2c) - t_w - 2c; 0] \times \max(h_c - 2t_f - 2c; 0) = (200 + 2 \times 52,4) \times (200 + 2 \times 52,4) - (200 + 2 \times 52,4 - 9 - 2 \times 52,4) \times (200 - 2 \times 15 - 2 \times 52,4) = 80449 \text{ mm}^2$$

Khả năng chịu lực nén của chân cột: $N_{Rd} = A_{eff} \times f_{jd} = 80449 \times 22,3 = 1794 \times 10^3 \text{ N}$

Tính đại diện với bê tông mác C40/50 và t = 30 mm

Khả năng chịu tải của bê tông bên dưới bản đế:

$$f_{jd} = \frac{\beta_j \times A_{co} \times f_{cd} \times \sqrt{A_{t1} / A_{co}}}{A_{co}} = \beta_j \times f_{cd} \times k_j = 0,67 \times \frac{40}{1,5} \times 2,5 = 44,7 \text{ N/mm}^2$$

Tấm cứng có chiều rộng hữu hiệu c (Hình 3), bao quanh cột có tiết diện H:

$$c = t \times \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \times f_{jd} \times \gamma_{MO}}} = 30 \times \sqrt{\frac{235}{3 \times 44,7 \times 1,15}} = 37,0 \text{ mm}$$

Diện tích hữu hiệu dưới tấm đế của tiết diện chữ H được tính như sau:

$$A_{eff} = \min(b; b + 2c) \times \min(a; h_{ef} + 2c) - \max[\min(b; b_c + 2c) - t_w - 2c; 0] \times \max(h_c - 2t_f - 2c; 0) = (200 + 2 \times 37) \times (200 + 2 \times 37) - (200 + 2 \times 37 - 9 - 2 \times 37) \times (200 - 2 \times 15 - 2 \times 37) = 56740 \text{ mm}^2$$

Khả năng chịu lực nén của chân cột: $N_{Rd} = A_{eff} \times f_{jd} = 80449 \times 22,3 = 1794 \times 10^3 \text{ N}$

Trường hợp 2: Tác giả khảo sát mác bê tông thay đổi từ C16/20 đến C50/60, tính đại diện với bản đế có chiều dày t = 30 mm và t = 18 mm, được kết quả như Bảng 2.

Tính đại diện với bản đế có chiều dày t = 30 mm với mác C50/60

Khả năng chịu tải của bê tông bên dưới bản đế:

$$f_{jd} = \frac{\beta_j \times A_{co} \times f_{cd} \times \sqrt{A_{t1} / A_{co}}}{A_{co}} = \beta_j \times f_{cd} \times k_j = 0,67 \times \frac{50}{1,5} \times 2,5 = 55,8 \text{ N/mm}^2$$

Tấm cứng có chiều rộng hữu hiệu c (Hình 3), bao quanh cột có tiết diện H:

$$c = t \times \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \times f_{jd} \times \gamma_{MO}}} = 30 \times \sqrt{\frac{235}{3 \times 55,8 \times 1,15}} = 33,1 \text{ mm}$$

Diện tích hữu hiệu dưới tấm đế của tiết diện hình chữ H được tính như sau:

$$A_{eff} = \min(b; b + 2c) \times \min(a; h_{ef} + 2c) - \max[\min(b; b_c + 2c) - t_w - 2c; 0] \times \max(h_c - 2t_f - 2c; 0) = (200 + 2 \times 33,1) \times (200 + 2 \times 33,1) - (200 + 2 \times 33,1 - 9 - 2 \times 33,1) \times (200 - 2 \times 15 - 2 \times 33,1) = 51037 \text{ mm}^2$$

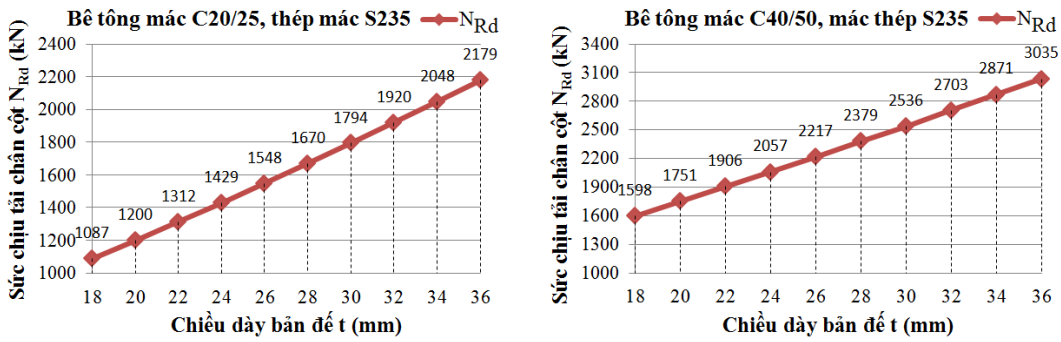
Khả năng chịu lực nén của chân cột: $N_{Rd} = A_{eff} \times f_{jd} = 51037 \times 55,8 = 2848 \times 10^3 \text{ N}$

Tính đại diện với bản đế có chiều dày t = 18 mm với mác C50/60

Khả năng chịu tải của bê tông bên dưới bản đế:

Bảng 1: Tổng hợp sức chịu nén giới hạn của chân cột N_{Rd}

Kích thước móng: 850x850x900 mm; cột thép HE200B; mức thép S235; hệ số $k_j = 2,5$									
Tính với mức bê tông C20/25					Tính với mức bê tông C40/50				
Bản đế t (mm)	Vùng c (mm)	A_{eff} (mm ²)	f_{jd} (N/mm ²)	N_{Rd} (kN)	Bản đế t (mm)	Vùng c (mm)	A_{eff} (mm ²)	f_{jd} (N/mm ²)	N_{Rd} (kN)
18	31,5	48732	22,3	1087	18	22,2	35742	44,7	1598
20	35,0	53800		1200	20	24,7	39166		1751
22	38,4	58817		1312	22	27,2	42640		1906
24	41,9	64078		1429	24	29,6	46022		2057
26	45,5	69437		1548	26	32,1	49594		2217
28	48,9	74895		1670	28	34,6	53216		2379
30	52,4	80450		1794	30	37,0	56740		2536
32	55,9	86103		1920	32	39,5	60460		2703
34	59,4	91854		2048	34	42,0	64230		2871
36	62,9	97703	2179	36	44,4	67896	3035		



Hình 4: Biểu đồ quan hệ giữa sức chịu nén giới hạn N_{Rd} với từng chiều dày bản đế

$$\begin{aligned}
 f_{jd} &= \frac{\beta_j \times A_{co} \times f_{cd} \times \sqrt{A_{c1} / A_{co}}}{A_{co}} \\
 &= \beta_j \times f_{cd} \times k_j \\
 &= 0,67 \times \frac{50}{1,5} \times 2,5 = 55,8 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Tấm cứng có chiều rộng hữu hiệu c (Hình 3), bao quanh cột có tiết diện H:

$$c = t \times \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \times f_{jd} \times \gamma_{MO}}} = 18 \times \sqrt{\frac{235}{3 \times 55,8 \times 1,15}} = 19,9 \text{ mm}$$

Diện tích hữu hiệu dưới tấm đế của tiết diện hình chữ H được tính như sau:

$$\begin{aligned}
 A_{eff} &= \min(b; b + 2c) \times \min(a; h_{ef} + 2c) \\
 &\quad - \max[\min(b; b_c + 2c) - t_w - 2c; 0] \\
 &\quad \times \max(h_c - 2t_f - 2c; 0) \\
 &= (200 + 2 \times 19,9) \times (200 + 2 \times 19,9) \\
 &\quad - (200 + 2 \times 19,9 - 9 - 2 \times 19,9) \\
 &\quad \times (200 - 2 \times 15 - 2 \times 19,9) \\
 &= 32636 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Khả năng chịu lực nén của chân cột:

$$N_{Rd} = A_{eff} \times f_{jd} = 32636 \times 55,8 = 1821 \times 10^3 \text{ N}$$

Trong Hình 4, ảnh hưởng của chiều dày bản

đế lên khả năng chịu lực của chân cột được khảo sát, khi chiều dày bản đế càng tăng thì khả năng chịu lực nén giới hạn của chân cột cũng tỉ lệ thuận tăng theo. Tuy nhiên, cần phải lưu ý rằng, khả năng chịu lực nén của chân cột sẽ bị giới hạn, không thể tăng mãi, chẳng hạn không thể vượt qua khả năng chịu lực nén của móng dưới chân cột. Khả năng chịu lực nén của móng dưới chân cột thép HE200B, S235:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_v}{\gamma_{MO}} = \frac{7808 \times 235}{1,15} = 1596 \times 10^3 \text{ N}$$

Khi tác giả khảo sát đối với bê tông mức C20/25 trong Hình 4, các bản đế có chiều dày từ $t = 18 \text{ mm}$ đến $t = 26 \text{ mm}$ là có $N_{Rd} < N_{pl,Rd} = 1596 \times 10^3 \text{ N}$. Vì thế, trong trường hợp chân cột thép mức S235 chịu nén đúng tâm đặt lên khối móng bê tông mức C20/25 có thể dùng bản đế có chiều dày từ $t = 18 \text{ mm}$ đến $t = 26 \text{ mm}$ để thiết kế cho chân cột là phù hợp. Còn đối với trường hợp bê tông mức C40/50 do sức chịu lực nén của chân

Bảng 2: Tổng hợp sức chịu nén giới hạn của chân cột N_{Rd}

Kích thước móng: 850x850x900 mm; cột thép HE200B; mác thép S235; hệ số $k_j = 2,5$									
Tính với chiều dày bản đế $t = 30$ mm					Tính với chiều dày bản đế $t = 18$ mm				
Mác bê tông	Vùng c (mm)	f_{jd} (N/mm ²)	A_{eff} (mm ²)	N_{Rd} (kN)	Mác bê tông	Vùng c (mm)	f_{jd} (N/mm ²)	A_{eff} (mm ²)	N_{Rd} (kN)
C16/20	58,5	17,9	90366	1618	C16/20	35,1	17,9	53946	966
C20/25	52,4	22,3	80450	1794	C20/25	31,5	22,3	48732	1087
C25/30	46,9	27,9	71764	2002	C25/30	28,1	27,9	43903	1225
C30/37	42,8	33,5	65447	2192	C30/37	25,7	33,5	40549	1358
C35/45	39,6	39,1	60610	2370	C35/45	23,8	39,1	37927	1483
C40/50	37,0	44,7	56740	2536	C40/50	22,2	44,7	35742	1598
C45/55	34,9	50,3	53654	2699	C45/55	20,9	50,3	33981	1709
C50/60	33,1	55,8	51037	2848	C50/60	19,9	55,8	32636	1821

cột $N_{Rd} > N_{pl,Rd} = 1596 \times 10^3$ N, do đó chỉ có thể thiết kế với bản đế có chiều dày $t < 18$ mm.

Trong Hình 5, tác giả tiến hành khảo sát sức chịu nén giới hạn của chân cột N_{Rd} theo từng mác khối móng bê tông, tính đại diện với bản đế có chiều dày $t = 18$ mm và $t = 30$ mm, khi mác bê tông càng tăng thì khả năng chịu lực nén giới hạn N_{Rd} của chân cột thép cũng tỉ lệ thuận tăng theo, nhận thấy ở trường hợp chiều dày bản đế $t = 18$ mm có thể chọn bê tông mác từ C16/20 đến C35/45 để thiết kế là phù hợp do có $N_{Rd} < N_{pl,Rd} = 1596 \times 10^3$ N. Còn ở trường hợp chiều dày bản đế $t = 30$ mm, từ mác bê tông C16/20 đến C50/60 có $N_{Rd} > N_{pl,Rd} = 1596 \times 10^3$ N, do đó chỉ có thể thiết kế với bản đế có chiều dày $t < 30$ mm.

B. Cột chịu nén – uốn đồng thời

Tính moment chịu uốn giới hạn mà chân cột chịu được khi cho trước lực nén $F_{Sd} = 500$ kN như Hình 6. Khối móng bê tông có kích thước 1660x1600x1000 mm. Bản đế có bề dày 30 mm, mác S235. Các hệ số an toàn $\gamma_{Mc} = 1,50$; $\gamma_{Ms} = 1,15$; $\gamma_{M0} = 1,15$ và $\gamma_{M2} = 1,25$. Giữa bản đế và bê tông được liên kết với nhau thông qua bốn đầu đinh có đường kính 22 mm và độ sâu đặt vào móng bê tông hiệu quả h_{eff} là 150 mm. Đường kính đầu đinh là 40 mm, gia cố thêm cho mỗi đầu đinh bao gồm hai chân, đường kính 12 mm cho mỗi bên của đinh [7].

Thành phần bản đế chịu uốn, đầu đinh chịu kéo

Chiều dày đường hàn $a_{wf} = 6$ mm, tính được cánh tay đòn m :
 $M = 60 - 0,8\sqrt{2} \times a_{wf} = 60 - 0,8\sqrt{2} \times 6 = 53,2$ mm

Độ dài tối thiểu của T-stub trong bản đế mà ở đó lực căng trước được bỏ qua:

$$l_{eff,1} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4m + 1,25 \times e_a = 4 \times 53,2 + 1,25 \times 50 = 275,3 \text{ mm} \\ 2m + 0,625 \times e_a + 0,5p = 2 \times 53,2 + 0,625 \times 50 + 0,5 \times 240 = 257,7 \text{ mm} \\ 2p \times m = 2 \times 3,14 \times 53,2 = 334,3 \text{ mm} \\ 0,5 \times b = 0,5 \times 420 = 210 \text{ mm} \\ 2m + 0,625e_a + e_s = 2 \times 53,2 + 0,625 \times 50 + 90 = 227,7 \text{ mm} \\ 2p \times m + 4e_s = 2 \times 3,14 \times 53,2 + 4 \times 90 = 694,3 \text{ mm} \\ 2p \times m + 2p = 2 \times 3,14 \times 53,2 + 2 \times 240 = 814,3 \text{ mm} \end{array} \right\} = 210 \text{ mm}$$

Chiều dài hữu hiệu của đầu đinh:
 $L_b = \min(h_{eff}, 8d) + t_g + t + t_w/2 = 150 + 30 + 30 + 19/2 = 219,5$ mm

Sức kháng của T-stub cùng với hai đầu đinh là:

$$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2L_{eff,1} \times t^2 \times f_y}{4 \times m \times \gamma_{M0}} = \frac{2 \times 210 \times 30^2 \times 235}{4 \times 53,2 \times 1,15} = 417,4 \text{ kN}$$

Sức kháng bị giới hạn bởi lực kéo tới hạn của hai đầu đinh M22, diện tích lực kéo $A_s = 303$ mm:

$$F_{T,3,Rd} = 2 \times B_{t,Rd} = 2 \times \frac{0,9 \times f_{td} \times A_s}{\gamma_{M2}} = 2 \times \frac{0,9 \times 470 \times 303}{1,25} = 205,1 \text{ kN}$$

Thành phần bản đế chịu uốn, khối bê tông chịu nén

Tính các hệ số a_1 và b_1 :

$$a_1 = b_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} a + 2 \times a_s = 420 + 2 \times 415 = 1250 \text{ mm} \\ 5 \times a = 5 \times 420 = 2100 \text{ mm} \\ a + h = 420 + 1000 = 1420 \text{ mm} \\ 5 \times b_1 = 5 \times 1250 = 6250 \text{ mm} \end{array} \right\} = 1250 \text{ mm}$$

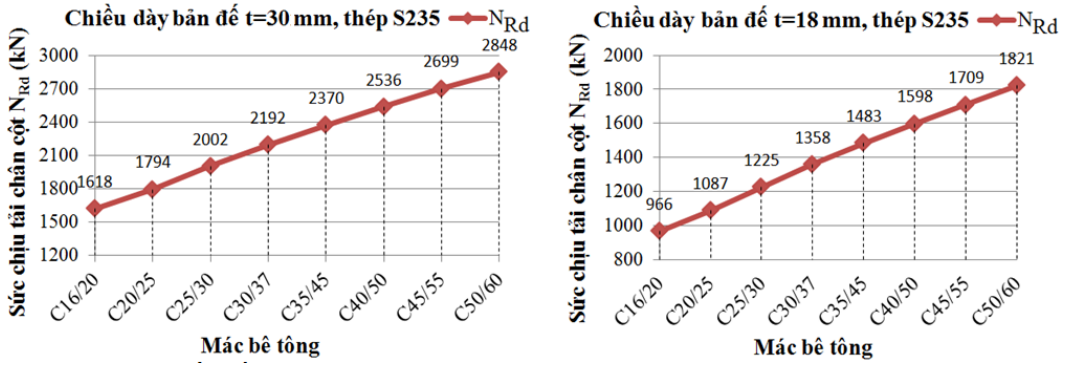
Từ điều kiện: $a_1 = b_1 = 1250$ mm $>$ $a = b = 420$ mm (thỏa),

và: $k_j = \sqrt{\frac{a_1 \times b_1}{a \times b}} = \sqrt{\frac{1250 \times 1250}{420 \times 420}} = 2,98$

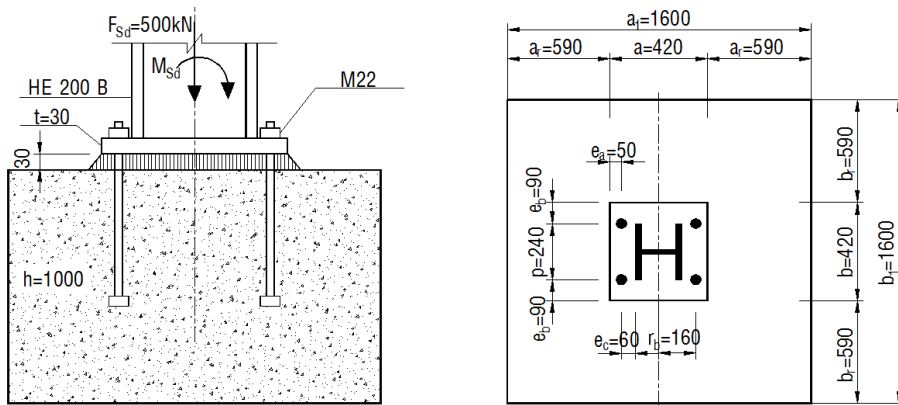
Vừa không ảnh hưởng đến sức chịu tải bê tông:
 $0,2 \times \min(420 \times 420) = 84 \text{ mm} > 30 \text{ mm} = t_g$

Trường hợp 1: Tác giả khảo sát chiều dày bản đế thay đổi từ $t = 18$ mm đến $t = 36$ mm, tính đại diện với bê tông mác C25/30 và bê tông mác C40/50, được kết quả như Bảng 3.

Tính đại diện với bê tông mác C25/30 với $t = 30$ mm



Hình 5: Biểu đồ quan hệ giữa sức chịu nén giới hạn N_{Rd} với từng loại mức bê tông



Hình 6: Cấu tạo chi tiết chân cột

Sức chịu tải của bê tông:

$$f_{jd} = \frac{\beta_j \times A_{co} \times f_{cd} \times \sqrt{A_{s1} / A_{co}}}{A_{co}} = \frac{2}{3} \times \frac{25}{1,5} \times 2,98 = 33,1 \text{ N/mm}^2$$

Diện tích bê tông vùng nén A_{eff}:

$$A_{eff} = \frac{F_{Sd} + F_{T,3,Rd}}{f_{jd}} = \frac{500 \times 10^3 + 205,1 \times 10^3}{33,1} = 21302 \text{ mm}^2$$

Bề rộng của vùng c quanh mặt cắt ngang của cột (Hình 7), được tính từ công thức:

$$c = t \times \sqrt{\frac{f_{jd}}{3 \times f_{jd} \times \gamma_{MO}}} = 30 \times \sqrt{\frac{235}{3 \times 33,1 \times 1,15}} = 43 \text{ mm}$$

Thiết kế moment kháng uốn

Chiều rộng hiệu dụng:

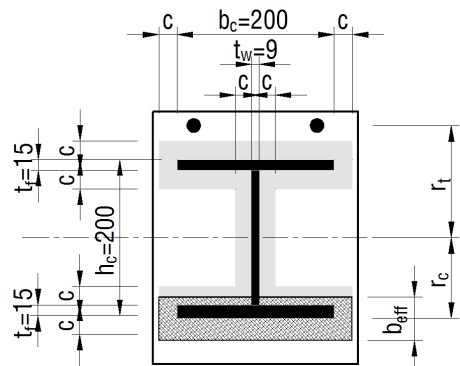
$$b_{eff} = \frac{A_{eff}}{b_c + 2c} = \frac{21302}{200 + 2 \times 43} = 74,5 \text{ mm} < t_f + 2c$$

$$= 15 + 2 \times 43 = 101 \text{ mm}$$

Khoảng cách từ tâm bu lông đến trục đối xứng của cột:

$$r_t = \frac{h_c}{2} + e_c = \frac{200}{2} + 60 = 160 \text{ mm}$$

Cánh tay đòn của bê tông đến trục đối xứng



Hình 7: Vùng diện tích hữu hiệu bên dưới bản đế

của cột:

$$r_c = \frac{h_c}{2} + c - \frac{b_{eff}}{2} = \frac{200}{2} + 43,0 - \frac{74,5}{2} = 105,75 \text{ mm}$$

Moment chịu uốn giới hạn của chân cột:

$$M_{Rd} = F_{T,3,Rd} \times r_t + A_{eff} \times f_{jd} \times r_c = 205,1 \times 10^3 \times 160 + 21302 \times 33,1 \times 105,75 = 107,4 \text{ kN.m}$$

Vậy dưới tác dụng của lực $F_{Sd} = 500$ kN, thiết kế với móng bê tông mác C25/30 với chiều dày bản đế $t = 30$ mm, mác thép S235, moment kháng uốn của chân cột là $M_{Rd} = 107,4$ kN.m.

Tính đại diện với bê tông mác C40/50 với t = 30 mm

Sức chịu tải của bê tông:

$$f_{jd} = \frac{\beta_j \times A_{co} \times f_{cd} \times \sqrt{A_{c1} / A_{co}}}{A_{co}} = \frac{2}{3} \times \frac{40}{1,5} \times 2,98 = 53,2 \text{ N/mm}^2$$

Diện tích bê tông vùng nén A_{eff} :

$$A_{eff} = \frac{F_{Sd} + F_{T3,Rd}}{f_{jd}} = \frac{500 \times 10^3 + 205,1 \times 10^3}{53,2} = 13254 \text{ mm}^2$$

Bề rộng của vùng c quanh mặt cắt ngang của cột, được tính từ công thức:

$$c = t \times \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \times f_{jd} \times \gamma_{MO}}} = 30 \times \sqrt{\frac{235}{3 \times 53,2 \times 1,15}} = 33,9 \text{ mm}$$

Thiết kế moment kháng uốn

Chiều rộng hiệu dụng b_{eff} được tính như sau:

$$b_{eff} = \frac{A_{eff}}{b_c + 2c} = \frac{13254}{200 + 2 \times 33,9} = 49,5 \text{ mm} < t_f + 2c = 15 + 2 \times 33,9 = 82,8 \text{ mm}$$

Khoảng cách từ tâm bu lông đến trục đối xứng

của cột: $r_t = \frac{h_c}{2} + e_c = \frac{200}{2} + 60 = 160 \text{ mm}$

Cánh tay đòn của bê tông đến trục đối xứng

của cột: $r_c = \frac{h_c}{2} + c - \frac{b_{eff}}{2} = \frac{200}{2} + 33,9 - \frac{49,5}{2} = 109,2 \text{ mm}$

Moment giới hạn của chân cột:

$$M_{Rd} = F_{T3,Rd} \times r_t + A_{eff} \times f_{jd} \times r_c = 205,1 \times 10^3 \times 160 + 13254 \times 53,2 \times 109,2 = 109,8 \text{ kN.m}$$

Vậy dưới tác dụng của lực $F_{Sd} = 500$ kN, thiết kế với móng bê tông mác C40/50 với chiều dày bản đế $t = 30$ mm, mác thép S235, moment kháng uốn của chân cột là $M_{Rd} = 109,8$ kN.m.

Trường hợp 2: Tác giả khảo sát mác bê tông thay đổi từ C16/20 đến C50/60, tính đại diện với bản đế có chiều dày $t = 30$ mm và $t = 18$ mm, được kết quả như Bảng 4.

Tính đại diện với bản đế có chiều dày t = 30 mm với mác C50/60

$$f_{jd} = \frac{\beta_j \times F_{Rd,u}}{b_{eff} \times l_{eff}} = 0,67 \times \frac{k_j \times f_{tk}}{\gamma_{MC}} = 0,67 \times \frac{2,98 \times 50}{1,5} = 66,6 \text{ N/mm}^2$$

Từ điều kiện cân bằng lực theo phương thẳng đứng $F_{Sd} = A_{eff} \times f_{jd} - F_{t,Rd}$, diện tích bê tông vùng nén A_{eff} trong trường hợp chịu toàn bộ lực kéo tới hạn được tính như sau:

$$A_{eff} = \frac{F_{Sd} + F_{T3,Rd}}{f_{jd}} = \frac{500 \times 10^3 + 205,1 \times 10^3}{66,6} = 10587 \text{ mm}^2$$

Bề rộng của vùng c quanh mặt cắt ngang của cột:

$$c = t \times \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \times f_{jd} \times \gamma_{MO}}} = 30 \times \sqrt{\frac{235}{3 \times 66,6 \times 1,15}} = 30,3 \text{ mm}$$

Chiều rộng hiệu dụng b_{eff} được tính như sau:

$$b_{eff} = \frac{A_{eff}}{b_c + 2c} = \frac{10587}{200 + 2 \times 30,3} = 40,6 \text{ mm} < t_f + 2c = 15 + 2 \times 30,3 = 75,6 \text{ mm}$$

Khoảng cách từ tâm bu lông đến trục đối xứng

của cột: $r_t = \frac{h_c}{2} + e_c = \frac{200}{2} + 60 = 160 \text{ mm}$

Cánh tay đòn của bê tông đến trục đối xứng

của cột: $r_c = \frac{h_c}{2} + c - \frac{b_{eff}}{2} = \frac{200}{2} + 30,3 - \frac{40,6}{2} = 110 \text{ mm}$

Moment chịu uốn giới hạn của chân cột:

$$M_{Rd} = F_{T3,Rd} \times r_t + A_{eff} \times f_{jd} \times r_c = 205,1 \times 10^3 \times 160 + 10587 \times 66,6 \times 110 = 110,4 \text{ kN.m}$$

Vậy dưới tác dụng của lực $F_{Sd} = 500$ kN, thiết kế với chiều dày bản đế $t = 30$ mm với móng bê tông mác C50/60, mác thép S235, moment kháng uốn của chân cột là $M_{Rd} = 110,4$ kN.m.

Tính đại diện với bản đế có chiều dày $t = 18$ mm với mác C50/60

$$f_{jd} = \frac{\beta_j \times F_{Rd,u}}{b_{eff} \times l_{eff}} = 0,67 \times \frac{k_j \times f_{tk}}{\gamma_{MC}} = 0,67 \times \frac{2,98 \times 50}{1,5} = 66,6 \text{ N/mm}^2$$

Từ điều kiện cân bằng lực theo phương thẳng đứng $F_{Sd} = A_{eff} \times f_{jd} - F_{t,Rd}$, diện tích bê tông vùng nén A_{eff} trong trường hợp chịu toàn bộ lực kéo tới hạn được tính như sau:

$$A_{eff} = \frac{F_{Sd} + F_{T3,Rd}}{f_{jd}} = \frac{500 \times 10^3 + 205,1 \times 10^3}{66,6} = 10587 \text{ mm}^2$$

Bề rộng của vùng c quanh mặt cắt ngang của

cột: $c = t \times \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \times f_{jd} \times \gamma_{MO}}} = 18 \times \sqrt{\frac{235}{3 \times 66,6 \times 1,15}} = 18,2 \text{ mm}$

Chiều rộng hiệu dụng b_{eff} được tính như sau:

$$b_{eff} = \frac{A_{eff}}{b_c + 2c} = \frac{10587}{200 + 2 \times 18,2} = 44,8 \text{ mm} < t_f + 2c = 15 + 2 \times 18,2 = 51,4 \text{ mm}$$

Khoảng cách từ tâm bu lông đến trục đối xứng

của cột: $r_t = \frac{h_c}{2} + e_c = \frac{200}{2} + 60 = 160 \text{ mm}$

Cánh tay đòn của bê tông đến trục đối xứng

của cột: $r_c = \frac{h_c}{2} + c - \frac{b_{eff}}{2} = \frac{200}{2} + 18,2 - \frac{44,8}{2} = 95,8 \text{ mm}$

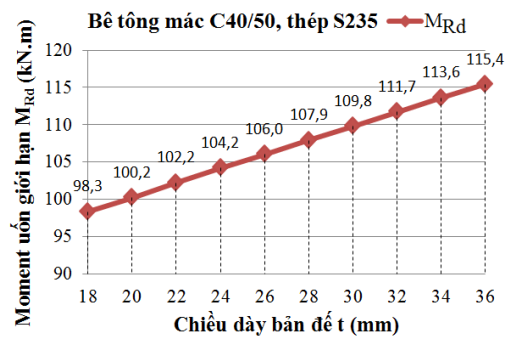
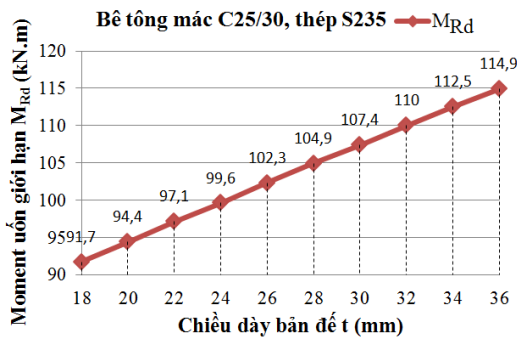
Moment chịu uốn giới hạn của chân cột:

$$M_{Rd} = F_{T3,Rd} \times r_t + A_{eff} \times f_{jd} \times r_c = 205,1 \times 10^3 \times 160 + 10587 \times 66,6 \times 95,8 = 100,4 \text{ kN.m}$$

Vậy dưới tác dụng của lực $F_{Sd} = 500$ kN, thiết

Bảng 3: Tổng hợp moment chịu uốn giới hạn của chân cột M_{Rd}

Tính với mác bê tông C25/30; $f_{td}=33,1$ (N/mm ²) Diện tích hữu hiệu: $A_{eff}=21302$ (mm ²)					Tính với mác bê tông C40/50; $f_{td}=53,2$ (N/mm ²) Diện tích hữu hiệu: $A_{eff}=13254$ (mm ²)				
Bề dày bản đế t (mm)	Vùng c (mm)	b_{eff} (mm)	r_c (mm)	M_{Rd} (kN.m)	Bề dày bản đế t (mm)	Vùng c (mm)	b_{eff} (mm)	r_c (mm)	M_{Rd} (kN.m)
18	25,8	84,7	83,5	91,7	18	20,4	55,0	92,9	98,3
20	28,7	82,8	87,3	94,4	20	22,6	54,1	95,6	100,2
22	31,6	80,9	91,1	97,1	22	24,9	53,1	98,4	102,2
24	34,4	79,2	94,8	99,6	24	27,2	52,1	101,2	104,2
26	37,3	77,6	98,5	102,3	26	29,4	51,2	103,8	106,0
28	40,2	76,0	102,2	104,9	28	31,7	50,3	106,5	107,9
30	43,0	74,5	105,8	107,4	30	33,9	49,5	109,2	109,8
32	45,9	73,0	109,4	110,0	32	36,2	48,7	111,9	111,7
34	48,8	71,6	113,0	112,5	34	38,5	47,8	114,6	113,6
36	51,6	70,3	116,5	114,9	36	40,7	47,1	117,1	115,4



Hình 8: Biểu đồ quan hệ giữa moment chịu uốn giới hạn M_{Rd} với từng chiều dày bản đế

kế với chiều dày bản đế $t = 18$ mm với móng bê tông mác C50/60, mác thép S235, moment kháng uốn của chân cột là $M_{Rd} = 100,4$ kN.m

Trong Hình 8, khi chiều dày bản đế càng tăng, moment chịu uốn giới hạn của chân cột cũng tỉ lệ thuận tăng theo. Tuy nhiên, cần lưu ý là khả năng chịu uốn giới hạn M_{Rd} của chân cột sẽ bị giới hạn, không thể tăng mãi, chẳng hạn không thể vượt qua độ bền giới hạn chịu uốn của móng dưới chân cột. Độ bền giới hạn chịu uốn của móng dưới chân cột thép HE200B, S235:

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,HBE} \times f_{yk}}{\gamma_{MO}} = \frac{642,5 \times 10^3 \times 235}{1,15} = 131,3 \text{ kN.m}$$

Trong Hình 9, khi mác bê tông càng tăng thì moment chịu uốn giới hạn M_{Rd} của chân cột thép cũng tăng theo. Trường hợp tính đại diện với chiều dày bản đế $t = 18$ mm thì mác bê tông từ C16/20 đến C50/60 có $M_{Rd} < M_{pl,Rd} = 131,3$ kN.m, còn trường hợp chiều dày bản đế $t = 30$

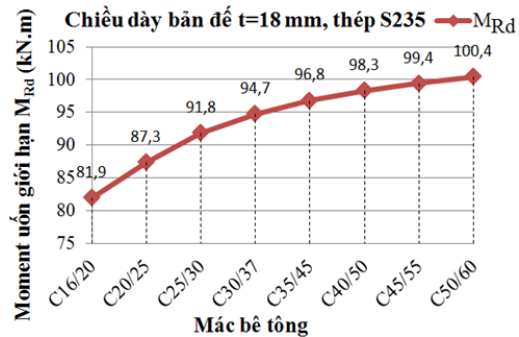
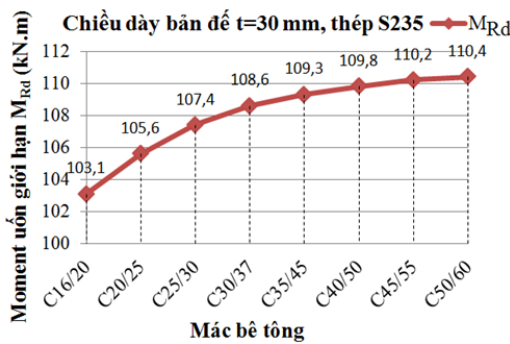
mm từ mác C16/20 đến C50/60 cũng có $M_{Rd} < M_{pl,Rd} = 131,3$ kN.m. Vì thế, trong ví dụ chân cột chịu lực nén đúng tâm, cột chịu nén – uốn đồng thời, bài viết đã trình bày được: (i) cách xác định vùng diện tích hữu hiệu quanh tiết diện cột H thông qua lí thuyết; (ii) xác định được sức chịu nén giới hạn N_{Rd} trong trường hợp chân cột thép mác S235 chịu nén đúng tâm đặt lên khối móng kích thước 850x850x900 mm luôn tăng dần khi tăng chiều dày bản đế và mác bê tông nhưng N_{Rd} không được vượt qua giá trị $N_{pl,Rd} = 1596$ kN

IV. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Trên cơ sở khảo sát và tính toán hai trường hợp cột chịu nén đúng tâm, cột chịu nén – uốn đồng thời, bài viết đã trình bày được: (i) cách xác định vùng diện tích hữu hiệu quanh tiết diện cột H thông qua lí thuyết; (ii) xác định được sức chịu nén giới hạn N_{Rd} trong trường hợp chân cột thép mác S235 chịu nén đúng tâm đặt lên khối móng kích thước 850x850x900 mm luôn tăng dần khi tăng chiều dày bản đế và mác bê tông nhưng N_{Rd} không được vượt qua giá trị $N_{pl,Rd} = 1596$ kN

Bảng 4: Tổng hợp moment chịu uốn giới hạn của chân cột M_{Rd}

Kích thước móng: 1600x1600x1000 mm; cột thép HE200B; mác thép S235 hệ số $k_j = 2,98$; giá trị $a_1 = b_1 = 1250$ mm												
Tính với chiều dày bản đế $t = 30$ mm							Tính với chiều dày bản đế $t = 18$ mm					
Mác bê tông	Vùng c (mm)	A_{eff} (mm ²)	b_{eff} (mm)	f_{jd} (MPa)	r_c (mm)	M_{Rd} (kN.m)	Vùng c (mm)	A_{eff} (mm ²)	b_{eff} (mm)	f_{jd} (MPa)	r_c (mm)	M_{Rd} (kN.m)
C16/20	53,6	33103	108	21,3	99,7	103,1	32,2	33103	125,2	21,3	69,6	81,9
C20/25	48,0	26508	89,6	26,6	103,2	105,6	28,8	26508	102,9	26,6	77,3	87,3
C25/30	43,0	21302	74,5	33,1	105,8	107,4	25,7	21174	84,2	33,1	83,6	91,8
C30/37	39,2	17672	63,5	39,9	107,5	108,6	23,5	17672	71,5	39,9	87,7	94,7
C35/45	36,3	15131	55,5	46,6	108,5	109,3	21,8	15131	62,1	46,6	90,7	96,8
C40/50	33,9	13254	49,5	53,2	109,2	109,8	20,4	13254	55,0	53,2	92,9	98,3
C45/55	32,0	11771	44,6	59,9	109,7	110,2	19,2	11771	49,4	59,9	94,5	99,4
C50/60	30,3	10587	40,6	66,6	110,0	110,4	18,2	10587	44,8	66,6	95,8	100,4



Hình 9: Biểu đồ quan hệ giữa moment chịu uốn giới hạn M_{Rd} với từng loại mác bê tông

($N_{Rd} < N_{pl,Rd}$); (iii) xác định được moment chịu uốn giới hạn M_{Rd} trong trường hợp chân cột thép mác S235 chịu lực nén $F_{Sd} = 500$ kN đặt lên khối móng kích thước 1600x1600x1000 mm luôn tăng dần khi tăng chiều dày bản đế và mác bê tông nhưng M_{Rd} không được vượt qua giá trị $M_{pl,Rd} = 131,3$ kN.m ($M_{Rd} < M_{pl,Rd}$); (iv) bên cạnh đó, bài báo cũng xác định được chiều dày bản đế và loại mác bê tông thông qua sức chịu nén giới hạn N_{Rd} và moment chịu uốn giới hạn M_{Rd} của chân cột thép.

Mục đích chính của kết quả nghiên cứu này là xác định N_{Rd} không vượt qua $N_{pl,Rd}$ và M_{Rd} không vượt qua $M_{pl,Rd}$ để tránh phá vỡ khối bê tông móng bên dưới chân cột. Tuy nhiên, bài báo chưa thực hiện khảo sát việc thay đổi mác thép và kích cỡ của khối móng bê tông ảnh hưởng như thế nào đến sức chịu nén và moment chịu uốn giới hạn của chân cột thép. Bên cạnh đó, nghiên cứu tiếp theo cũng cần khảo sát chiều dày của

bản đế ảnh hưởng như thế nào đến miền chịu nén của bê tông.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ Khoa học và Công nghệ. *Tiêu chuẩn quốc gia: TCVN 5575:2012, kết cấu thép - tiêu chuẩn thiết kế*. Hà Nội; 2012.
- [2] Victoria-Elena RoSca, Elena-Carmen Teleman, Elean Axinte, Georgeta Băetu. *Design of steel column base connections for large eccentricities*. Gheorghe Asachi Technical University of Iași Faculty of Civil Engineering and Building Services; 2013.
- [3] Wald F, Jaspart J. P, Brown D. Base plate in bending and anchor bolts in tension – third. *Journal of Constructional Steel Research*. 2000.
- [4] Moore D.B, Walf F. *Design of structural connections to Eurocode 3 frequently asked questions*. Prague, Czech: Publishing House of Czech Technical University; 2003.
- [5] The European Union. *EN 1993-1-8, Eurocode 3: Design of steel structures–Part 1-8: Design of joints*; 2005.

- [6] The European Union. *EN 1993-1-1, Eurocode 3: Design of steel structures–Part 1-1: General rules and rules for buildings*; 2005.
- [7] Kuhlmann U, Wald F, Hofmann J. Design of Steel-to-Concrete Joints Design Manual II. In *7th European Conference on Steel and Composite Structures*. Naples, Italy. 2014.

