

ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY CỦA KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỘT LIÊN HỢP THÉP - BÊ TÔNG CỐT THÉP TIẾT DIỆN TRÒN CÓ XÉT ĐẾN ẪN MÒN KIM LOẠI TRONG KHÔNG KHÍ

Nguyễn Trọng Hà ⁽¹⁾, Võ Thành Phúc ⁽²⁾, Nguyễn Hòa Hiệp ⁽³⁾, Lê Viết Đồng ⁽⁴⁾

¹ Khoa Xây dựng, Trường Đại học Vinh

² Công ty TNHH Xây dựng Hatecco, Vĩnh Long

³ Học viên cao học khóa 27 - Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Vinh

⁴ Trung tâm Thực hành thí nghiệm, Trường Đại học Vinh

Ngày nhận bài 10/9/2021, ngày nhận đăng 13/12/2021

Tóm tắt: Khả năng chịu lực của cột liên hợp thép - bê tông cốt thép (BTCT) phụ thuộc vào kích thước hình học, cấu tạo kết cấu và tính chất cơ học của vật liệu. Tuy nhiên, trong thực tế các yếu tố này lại mang tính ngẫu nhiên đặc biệt là khi xem xét đến sự ăn mòn kim loại trong môi trường không khí. Bài báo này trình bày kết quả phân tích độ tin cậy của cột liên hợp thép - BTCT tiết diện tròn có xét đến ăn mòn trong môi trường không khí. Mô hình ngẫu nhiên được xây dựng trên cơ sở kết hợp mô hình thiết kế tất định cột liên hợp thép - BTCT theo tiêu chuẩn Eurocode 4 (EC-4) với các tham số đầu vào và mô hình ăn mòn là ngẫu nhiên. Độ tin cậy được đánh giá bằng phương pháp mô phỏng Monte Carlo. Chương trình tính được xây dựng trên nền Matlab cho phép nhóm tác giả tiến hành các khảo sát số và từ đó rút ra các kết luận và kiến nghị.

Từ khóa: Cột liên hợp thép - BTCT; tiết diện tròn; phân tích độ tin cậy; phương pháp mô phỏng Monte Carlo.

1. Mở đầu

Kết cấu liên hợp thép - BTCT là loại kết cấu đang được sử dụng ngày càng nhiều ở Việt Nam đặc biệt là kết cấu nhà cao tầng. Trong khi đó, hiện nay ở Việt Nam chưa có tiêu chuẩn thiết kế dành cho loại kết cấu này. Các thiết kế được cho phép sử dụng tiêu chuẩn thay thế là EC-4 [1]. Điều này dẫn đến khi chuyển đổi các tham số thiết kế như tải trọng sử dụng, cường độ vật liệu và các điều kiện an toàn sẽ có sự sai lệch do nhiều nguyên nhân khác nhau. Mặt khác trong quá trình thiết kế người ta chưa xét đến sự suy giảm khả năng chịu lực trong quá trình sử dụng do yếu tố ăn mòn kim loại.

Nghiên cứu, áp dụng lý thuyết độ tin cậy để đánh giá độ tin cậy của kết cấu luôn là một đề tài thu hút sự quan tâm của rất nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước. Ở Việt Nam, năm 2003, tác giả Nguyễn Xuân Chính nghiên cứu đánh giá độ tin cậy của kết cấu BTCT với tham số ngẫu nhiên đầu vào là cường độ của bê tông được lấy từ kết quả thí nghiệm [2]. Năm 2010, tác giả Phạm Khắc Hùng đánh giá độ tin cậy của kết cấu công trình biên cố định bằng thép theo điều kiện bền mở rộng [3]. Nghiên cứu của tác giả Nguyễn Vi và cộng sự về độ tin cậy theo điều kiện ổn định chung của mái dốc và của tường chắn cứng được giới thiệu trong [4], [5]. Độ tin cậy của kết cấu với các tham số đầu vào là đại lượng mờ cũng được nhóm tác giả Lê Xuân Huỳnh và cộng sự quan tâm nghiên cứu trong [6]. Các nghiên cứu này chủ yếu sử dụng phương pháp chỉ số độ tin cậy β hay các phương pháp FORM, SORM.

Trong những năm gần đây phương pháp mô phỏng Monte Carlo đã được sử dụng trong đánh giá độ tin cậy của kết cấu công trình ở Việt Nam, năm 2012 tác giả Nguyễn Chí Hiếu nghiên cứu độ tin cậy của sàn ứng lực trước với số liệu đo đạc thu được từ thực nghiệm. Tác giả Đặng Xuân Hùng và Nguyễn Trọng Hà nghiên cứu bài toán độ tin cậy của khung phẳng theo điều kiện ổn định [7], [8].

Ăn mòn kim loại trong môi trường không khí là chủ đề mà nhiều nhà khoa học trong nước, ngoài nước quan tâm nghiên cứu, theo hiểu biết của các tác giả có rất nhiều mô hình ăn mòn được đề xuất. Trong số đó mô hình ăn mòn được M.E. Komp và cộng sự. [9] đề xuất là mô hình ăn mòn mang tính tổng quát và dễ tính toán, phù hợp với nhiều môi trường không khí khác nhau. Chính vì điều này mà mô hình ăn mòn do M.E. Komp đã được nhiều tác giả áp dụng cho các công trình nghiên cứu của họ. R. Landolfo và cộng sự đã công bố một báo cáo về mô hình hóa hư hỏng do ăn mòn cấu trúc kim loại [10]. Trong kho đó, M. Seccer và cộng sự đã sử dụng mô hình M.E. Komp để điều tra sự phá hủy do ăn mòn của khung thép có xét đến sự uốn cong bên [11]. Áp dụng mô hình ăn mòn của M.E. Komp cho kết cấu dầm liên hợp thép - BTCT xét đến sự suy giảm độ tin cậy sau 100 năm kết hợp phương pháp phân tích độ nhạy tổng thể đã được nhóm tác giả N.T Hà và cộng sự công bố trong [12]. Ngoài ra, các bài toán phân tích độ tin cậy có xét đến ảnh hưởng của ăn mòn được công bố trong [13-15].

Qua các nghiên cứu này, nhóm tác giả nhận thấy việc đánh giá độ tin cậy của cột liên hợp thép - BTCT có xét đến ảnh hưởng của ăn mòn kim loại là rất quan trọng. Tuy nhiên theo tìm hiểu của nhóm tác giả thì các nghiên cứu về vấn đề này còn tương đối hạn chế cả về mô hình tính toán và phương pháp đánh giá độ tin cậy. Vì vậy bài báo này hướng đến việc nghiên cứu đánh giá độ tin cậy của kết cấu cột liên hợp thép - BTCT tiết diện tròn theo tiêu chuẩn EC-4 bằng phương pháp mô phỏng Monte Carlo.

2. Xác định khả năng chịu lực của cột liên hợp thép - BTCT tiết diện tròn bằng phương pháp xây dựng biểu đồ tương tác N-M

Tiêu chuẩn EC-4 không cung cấp biểu thức có cột tiết diện tròn nhồi bê tông. Vì vậy, xây dựng biểu thức cho cột tiết diện tròn nhồi bê tông liên hợp đã có một số tác giả tiến hành xây dựng. Trong mục này bài báo tiết hành xây dựng biểu thức tính toán lý thuyết một cách đầy đủ, dễ sử dụng. Các biểu thức được xây dựng dựa vào nghiên cứu của Dujmovic và cộng sự trong [16].

2.1 Lý thuyết chung

Theo điều 6.7.3.5 (1) EC-4, việc xác minh cột chịu nén dọc trục có thể được thực hiện bằng cách sử dụng phân tích bậc hai có tính đến sự cấu tạo không chính xác. Theo điều 6.7.3.6, EN 1994-1-1, cần phải thỏa mãn điều kiện sau:

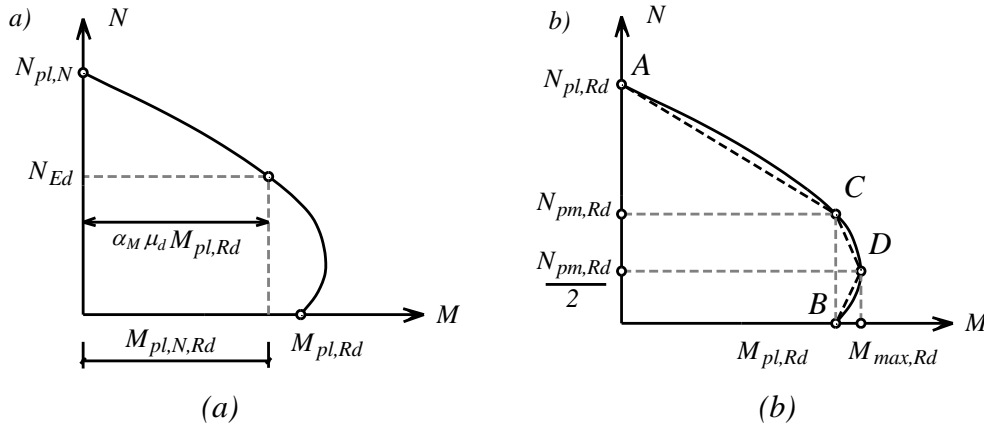
$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,N,Rd}} = \frac{M_{Ed}}{\mu_d M_{pl,Rd}} \leq \alpha_M \quad (1)$$

Trong biểu thức (1), M_{Ed} là mô men lớn nhất xuất hiện trong suốt chiều dài dọc cột và được tính toán theo điều 6.7.3.4, EC-4, bao gồm cả sự cấu tạo không chính xác (bảng 6.5, EC-4). Điều kiện này có thể được viết lại để phù hợp với Hình 1a.

$$M_{Ed} = M_{Rd} = \alpha_M \mu_d M_{pl,Rd} \tag{2}$$

Trong đó:

$M_{pl,N,Rd}$ là mô men dẻo có tính đến lực dọc trục N_{Ed} , được xác định theo $\mu_d M_{pl,Rd}$. α_M là hệ số uốn và được lấy bằng 0.9 cho các loại thép từ S235 đến S355.



Hình 1: Kiểm tra khả năng uốn và nén kết hợp

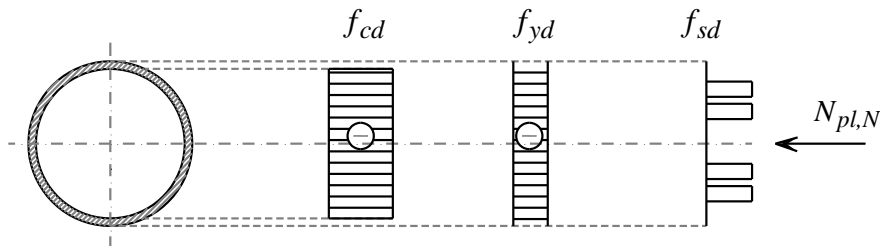
2.2. Sức kháng của tiết diện cột liên hợp thép - BTCT khi chịu uốn và nén dọc đồng thời, xây dựng biểu đồ tương tác N-M

Để xác định sức kháng của tiết diện khi chịu uốn và nén dọc đồng thời, trong mục này bài báo tiến hành xây dựng một đường cong tương tác lực nén dọc trục và mô men (đường cong tương tác N-M). Để đơn giản hóa, đường cong tương tác được thay thế bằng đa giác tương tác ACDB (Điều 6.7.3.2 (5), EC-4). Đa giác tương tác N - M, ACDB được thể hiện trong Hình 6.19, EC-4. Để phù hợp với bài toán cột tiết diện tròn nhồi bê tông đa giác tương tác ABCD được đề xuất như trong Hình 1b.

Điểm A. Chỉ xét đến khả năng chịu nén của tiết diện có xét đến biến dạng dẻo

$$N_{pl,Rd} = A_a f_{yd} + 0.85 A_c f_{cd} + A_s f_{sd} \tag{3}$$

Lưu ý: Đối với các cột rỗng đổ bê tông, hệ số 0.85 có thể được thay thế bằng giá trị 1.0 do điều kiện đóng rắn tốt hơn [16].



Hình 2: Biểu đồ phân bố ứng suất ứng với điểm A

Điểm D: Mô men uốn giới hạn lớn nhất có xét đến biến dạng dẻo.

Mô men uốn giới hạn lớn nhất có xét đến biến dạng dẻo được xác định như sau:

$$M_{\max Rd} = W_{pl,a} f_{yd} + W_{pl,c} f_{cd} + W_{pl,s} f_{sd} \quad (4)$$

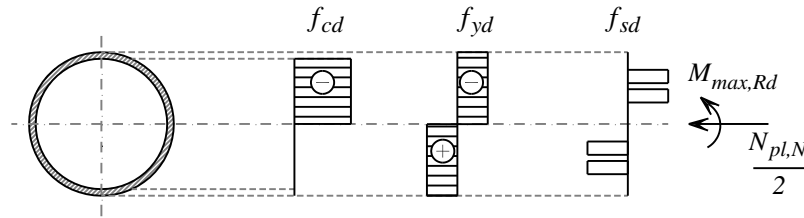
Sức kháng lớn nhất của mô men theo điều kiện dẻo được xác định theo biểu thức sau đây:

$$M_{\max Rd} = W_{pl,a} f_{yd} + 0.5W_{pl,c} f_{cd} + W_{pl,s} f_{sd} \quad (5)$$

Giá trị thiết kế về sức kháng chịu nén của bê tông, $N_{pm,Rd}$ là:

$$N_{pm,Rd} = \frac{\pi(d-2t)^2}{4} f_{cd} \quad (6)$$

Thiết kế lực nén dọc trục tương ứng với điểm mô men có giá trị lớn nhất tại $0.5N_{pm,Rd}$.

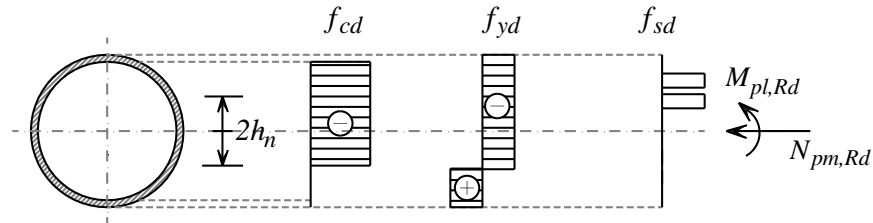


Hình 3: Biểu đồ phân bố ứng suất ứng với điểm D

Điểm C: Tương ứng với $N_{pm,Rd}$ và $M_{pl,Rd}$.

Xác định vị trí trục trung hòa h_n khi lực dọc tác dụng bằng không:

$$h_n = \frac{N_{pm,Rd} - A_{s,n}(2f_{sd} - f_{cd})}{2.d.f_{cd} - 4.t.(2f_{yd} - f_{cd})} \quad (7)$$



Hình 4: Biểu đồ phân bố ứng suất ứng với điểm C

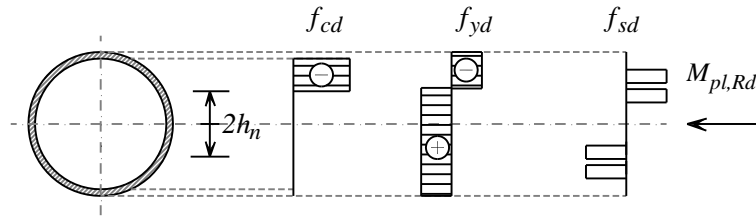
Sức kháng mô men thiết kế của tiết diện, $M_{pl,Rd}$ được tính toán theo biểu thức sau đây:

$$M_{pl,Rd} = M_{\max Rd} - M_{n,Rd} \quad (8)$$

Trong đó: $M_{n,Rd}$ được xác định theo biểu thức:

$$M_{n,Rd} = W_{pl,a,n} f_{yd} + W_{pl,s,n} f_{sd} + \frac{W_{pl,c,n} f_{cd}}{2} \quad (9)$$

Điểm B: Là điểm chỉ có mô men $M_{pl,Rd}$ như đã tính toán ở trên.



Hình 5: Biểu đồ phân bố ứng suất ứng với điểm B

Các giá trị được tính toán trên đây tại các điểm từ A đến D nên được vẽ biểu đồ để tạo ra đa giác tương tác N-M (Theo hình 6.19, EC-4) và được thể hiện như Hình 1b.

Từ đa giác ABCD, giá trị $M_{pl,N,Rd}$ tương ứng với N_{Ed} được xác định theo biểu thức sau:

$$M_{pl,N,Rd} = \frac{N_{pl,Rd} - N_{Ed}}{N_{pl,Rd} - N_{pm,Rd}} \tag{10}$$

3. Khảo sát ảnh hưởng ngẫu nhiên của các tham số đến khả năng chịu lực của cột liên hợp thép - BTCT tiết diện tròn có xét đến ăn mòn kim loại trong môi trường không khí

3.1. Mô hình ăn mòn kim loại trong không khí

Các mô hình ăn mòn kim loại trong các môi trường hóa chất khác nhau đã được nhiều công trình nghiên cứu đề xuất. Các mô hình ăn mòn đều được xây dựng trên kết quả thực nghiệm trong các môi trường ăn mòn khác nhau. Trong bài báo này mô hình ăn mòn kim loại, được nghiên cứu và đề xuất bởi M. E. Komp [9], đã được sử dụng. Đây là một mô hình tổng quát về ăn mòn cho thép carbon và thép hợp kim thông qua việc thực nghiệm nghiên cứu [9], trong đó M. E. Komp đã xem xét đầy đủ các môi trường như: nông thôn, thành thị và khu công nghiệp... và có chứa đầy đủ các thông số môi trường như nhiệt độ, độ ẩm, nồng độ ion... Từ kết quả nghiên cứu M.E. Komp và cộng sự đã mô hình hóa bằng một biểu thức toán học là hàm mũ với hai hằng số A, B giúp người dùng dễ dàng tiếp cận. Trong mô hình của M.E. Komp mòn kim loại được mô tả bởi độ sâu ăn mòn của hàm thời gian dưới dạng mô hình được biểu thị bởi công thức sau đây:

$$d(t) = At^B \tag{11}$$

Trong đó, $d(t)$ là độ sâu ăn mòn tính bằng $[\mu m, g / m^2]$, t là thời gian kim loại bị ăn mòn [năm], A là hệ số ăn mòn trong năm đầu tiên, B hệ số ăn mòn trong những năm tiếp theo. A và B là hệ số phụ thuộc vào môi trường, được tra ở Bảng 1.

Bảng 1: Bảng xác định tham số A, B của thép carbon và thép hợp kim

Môi trường	Thép carbon		Thép hợp kim	
	A	B	A	B
Nông thôn	34.0	0.65	33.3	0.50
Đô thị	80.2	0.59	50.7	0.57
Khu công nghiệp	70.6	0.79	40.2	0.56

3.2. Phương pháp mô phỏng Monte Carlo

Phương pháp Monte Carlo là phương pháp dùng các số giả ngẫu nhiên để mô phỏng tính chất ngẫu nhiên của các biến và trực tiếp ước lượng độ tin cậy trên cơ sở luật số lớn. Nếu miền an toàn được định nghĩa bởi điều kiện $f(X) > 0$, xác suất không an toàn của hệ sẽ được xác định theo biểu thức (12) như sau.

$$P_f = \int_{f(x)<0} f_X(x) dx = E[I_{f(x)<0}] \quad (12)$$

trong đó:

$$I_{f(x)<0} = \begin{cases} 1 & \text{khi } f(X) < 0 \\ 0 & \text{khi } f(X) \geq 0 \end{cases} \quad (13)$$

Theo lý thuyết xác suất thống kê, nếu chúng ta có N các thể hiện của véc tơ ngẫu nhiên \mathbf{X} , chúng ta sẽ tính được một mẫu gồm N các giá trị của hàm $I_{f(x)<0}$. Khi đó kỳ vọng của $I_{f(x)<0}$ có thể được tính xấp xỉ bằng trung bình cộng của mẫu.

$$\hat{P}_f = E[I_{f(x)<0}] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_{f(x)<0}^i \quad (14)$$

Theo Lemaire trong [17] tác giả đã chỉ ra rằng, ước lượng (14) là hội tụ và khoảng tin cậy ở 95% của giá trị P_f được tính như sau:

$$\hat{P}_f \left(1 - 200 \sqrt{\frac{1 - \hat{P}_f}{N \hat{P}_f}} \right) \leq P_f \leq \hat{P}_f \left(1 + 200 \sqrt{\frac{1 - \hat{P}_f}{N \hat{P}_f}} \right) \quad (15)$$

3.3 Mô hình tất định và mô hình ngẫu nhiên

Mô hình tất định bài toán xác định khả năng chịu lực của cột liên hợp thép - BTCT tiết diện tròn với các giá trị đầu vào là thông số hình học bao gồm (L, L_e) các tham số của tính chất cơ học của vật liệu là mô đun đàn hồi $(f_{ck}, f_{cd}, E_{cm}, f_{yk}, f_{yd}, E_a, f_{sk}, f_{sd}, E_s)$ tham số tiết diện (D, t) , các tham số của mô hình ăn mòn A, B các tham số đầu vào của mô hình tất định có thể được viết dưới dạng $\mathbf{X} = [f_{ck}, f_{cd}, E_{cm}, f_{yk}, f_{yd}, E_a, f_{sk}, f_{sd}, E_s, L, L_e, D, t, A, B]$. Điều kiện an toàn đã thiết lập trong biểu thức.

$$P_{saf} = \mathfrak{Z}(\mathbf{X}) \quad (16)$$

Mô hình ngẫu nhiên được xây dựng trên cơ sở mô hình tất định khi các tham số đầu vào có một vài tham số ngẫu nhiên. Trong nghiên cứu này sử dụng hai véc tơ giá trị đầu vào, véc tơ thứ nhất bao gồm nhóm các đầu vào tất định $\mathbf{X}_1 = [f_{ck}, f_{cd}, E_{cm}, f_{yk}, f_{yd}, E_a, f_{sk}, f_{sd}, E_s, L, L_e, D, t]$ và véc tơ thứ hai bao gồm nhóm các giá trị đầu vào ngẫu nhiên $\mathbf{X}_2(\omega) = [A(\omega), B(\omega)]$ với ω đặc trưng cho giá trị ngẫu nhiên. Mô hình ngẫu nhiên có thể viết dưới dạng.

$$P_{saf} = \mathfrak{Z}(\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2(\omega)) \quad (17)$$

3.4. Tham số ngẫu nhiên của mô hình ăn mòn

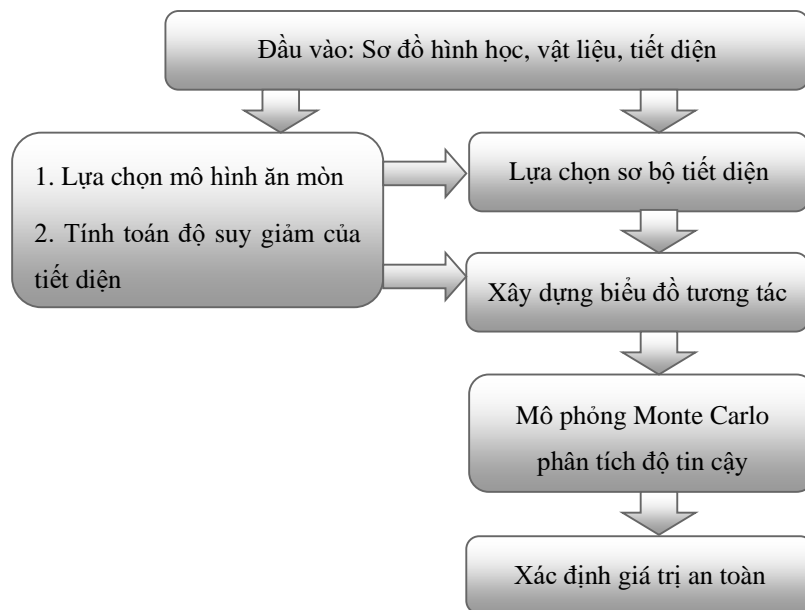
Từ mô hình ăn mòn kim loại M.E Komp đã được lựa chọn ở mục trên có thể thấy rằng quá trình xây dựng mô hình ăn mòn được tác giả đề xuất dựa vào số liệu thực nghiệm. Vì vậy, trong bài báo tiến hành mô hình hóa các giá trị thực nghiệm A, B của mô hình thành các đại lượng ngẫu nhiên chuẩn được trình bày trong Bảng 2. Tiến hành phân tích độ tin cậy của kết quả suy giảm khả năng chịu lực cột liên hợp thép - BTCT tiết diện tròn nhằm phục vụ cho người thiết kế và thi công lựa chọn phương pháp để đánh giá sức chịu tải của cột xét đến các yếu tố ngẫu nhiên của sự ăn mòn trong không khí.

Bảng 2: Tham số ngẫu nhiên và thông số đại diện của mô hình ăn mòn

Biến ngẫu nhiên	A		B	
Quy luật xác suất	Biến chuẩn (normal)		Biến chuẩn (normal)	
Thông số đại diện	μ_A	CV_A	μ_B	CV_B
	70.6	0.25	0.79	0.25

3.5. Sơ đồ khối của bài toán phân tích độ tin cậy có xét đến ăn mòn kim loại trong môi trường không khí

Hình 6 trình bày sơ đồ khối đánh giá độ tin cậy của khả năng chịu lực cột liên hợp thép - BTCT tiết diện tròn có xét đến sự ăn mòn kim loại theo thời gian. Bằng cách kết hợp phương pháp xây dựng biểu đồ tương tác với mô hình ăn mòn kim loại và phương pháp mô phỏng Monte Carlo. Mô hình sau đó được tác giả lập trình trên nền MATLAB và tiến hành đánh giá độ tin cậy của kết cấu với các biến đầu vào ngẫu nhiên xét đến sự ăn mòn sau 10 năm, 20 năm, 50 năm và 100 năm.

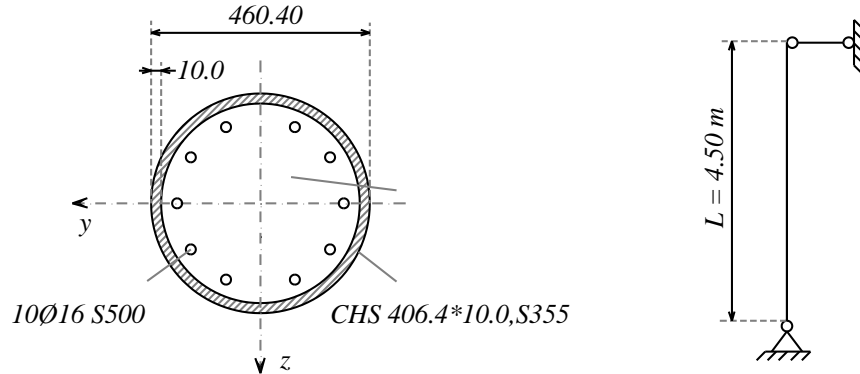


Hình 6: Sơ đồ khối phân tích độ tin cậy có xét đến sự ăn mòn kim loại

4. Kết quả số

4.1. Kiểm chứng chương trình xây dựng biểu đồ tương tác N-M

Tiến hành kiểm chứng sự chính xác của chương trình tính biểu đồ tương tác N-M được lập trên nền MATLAB, bài báo tiến hành phân tích lại công bố trong [16]. Sơ đồ tính toán và chi tiết mặt cắt ngang được thể hiện như Hình 7, số liệu tính toán được thể hiện trong Bảng 3. Kết quả tính toán của chương trình được so sánh với kết quả công bố trong [16] và được thể hiện trong Bảng 4 và biểu đồ tương tác trên Hình 8.



Hình 7: Sơ đồ tính toán và chi tiết mặt cắt ngang cột

Bảng 3: Bảng giá trị các tham số đầu vào [16]

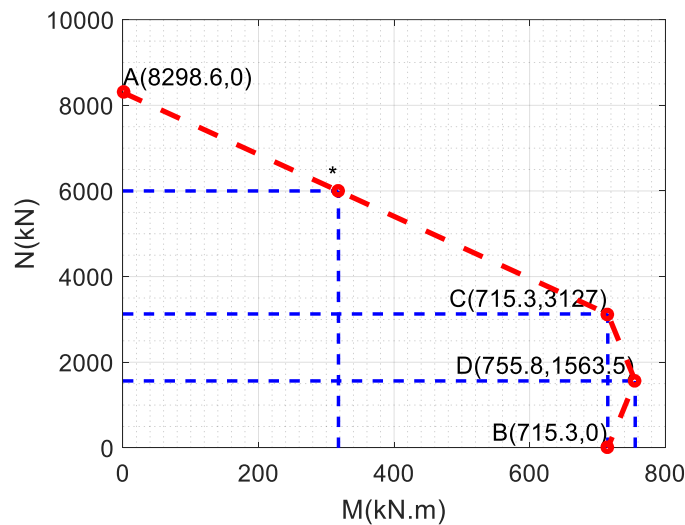
Vật liệu	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Cường độ bê tông: C40/50	f_{ck}	40.0	N/mm ²
	$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$	26.7	N/mm ²
	E_{cm}	35000	N/mm ²
Thép kết cấu: S355	f_{yk}	355.0	N/mm ²
	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M}$	355.0	N/mm ²
	E_a	210000	N/mm ²
Cốt thép	f_{sk}	460.0	N/mm ²
	$f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s}$	400.0	N/mm ²
	E_s	210000	N/mm ²
Tải trọng dài hạn*	N_G	3000.0	kN
Tải trọng ngắn hạn**	N_Q	1300.0	kN

* Tải trọng dài hạn được nhân với hệ số vượt tải là 1.35;

** Tải trọng ngắn hạn được nhân với hệ số vượt tải là 1.50.

Bảng 4: Kiểm chứng giá trị của đa giác tương tác N-M, ABCD

TT		Kết quả chương trình	Kết quả trong [16]	Sai số (%)
Điểm A	$N_{pl,Rd}$ (kN)	8298.5	8302.0	0.041
	M (kN.m)	-	-	-
Biểm B	N (kN)	-	-	-
	$M_{pl,Rd}$ (kN.m)	715.3	707.0	1.180
Điểm C	$N_{pm,Rd}$ (kN)	3127.0	3130.0	0.095
	$M_{pl,Rd}$ (kN.m)	715.3	707.0	1.180
Điểm D	$0.5N_{pm,Rd}$ (kN)	1563.5	1565.0	0.095
	$M_{max,Rd}$ (kN.m)	755.7	747.0	1.177



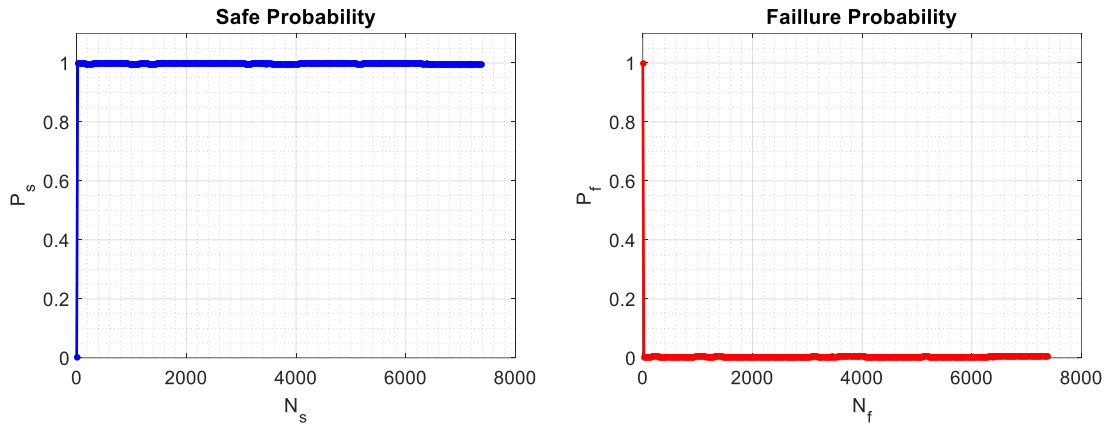
Hình 8: Biểu đồ tương tác N-M bài toán kiểm chứng

Bảng 4 cho thấy rằng kết quả của chương trình tính toán và kết quả trong [16] có sai số lớn nhất là 1.18%, điều này chỉ ra rằng chương trình tính toán là đáng tin cậy. Có thể được sử dụng cho các nghiên cứu ở các mục tiếp theo.

4.2. Độ tin cậy của khả năng chịu lực của cột liên hợp thép - BTCT tiết diện tròn sau 10 năm

Độ tin cậy của khả năng chịu lực của cột liên hợp thép - BTCT tiết diện tròn với số liệu đầu vào cho ở trên sau 10 năm bị ăn mòn xét các tham số A, B của mô hình là biến ngẫu nhiên chuẩn với tỷ số của độ lệch chuẩn/kỳ vọng là $CV = 0.25$. Hình 9 thể hiện sự hội tụ của giá trị xác suất an toàn P_s (phải) và xác suất phá hoại (trái) sau 7400 mô phỏng Monte Carlo với tiêu chuẩn hội tụ là 2.0%. Xác suất an toàn hội tụ tại giá trị 0,9963 tương ứng với giá trị độ tin cậy của kết cấu là 99,63%. Thời gian cho một lần đánh giá độ tin cậy

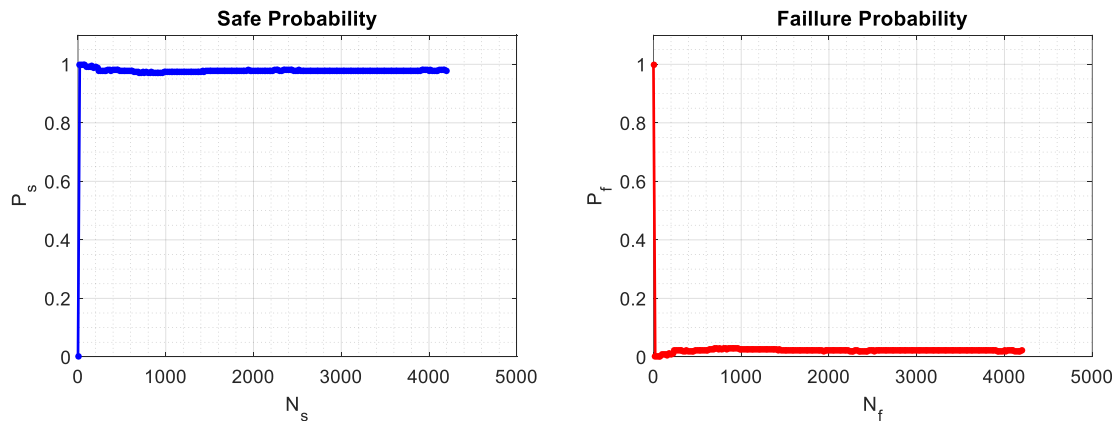
là 3,40 phút. Tiêu chuẩn hội tụ 2,0% chứng minh sự tin cậy của giá trị xác suất an toàn ước lượng được.



Hình 9: Sự hội tụ của mô phỏng Monte-Carlo sau $t = 10$ năm

4.3. Độ tin cậy của khả năng chịu lực của cột liên hợp thép - BTCT tiết diện tròn sau 20 năm

Tiến hành mô phỏng độ tin cậy của khả năng chịu lực của cột liên hợp thép - BTCT tiết diện tròn với số liệu đầu vào cho ở trên sau 20 năm bị ăn mòn xét các tham số A, B của mô hình là biến ngẫu nhiên chuẩn với tỷ số của độ lệch chuẩn/ kỳ vọng là $CV = 0.25$. Hình 10 thể hiện sự hội tụ của giá trị xác suất an toàn P_s (phải) và xác suất phá hoại (trái) sau 4220 mô phỏng Monte Carlo với tiêu chuẩn hội tụ là 2.0%. Xác suất an toàn hội tụ tại giá trị 0,9793 tương ứng với giá trị độ tin cậy của kết cấu là 97,93%. Thời gian cho một lần đánh giá độ tin cậy là 1.50 phút. Tiêu chuẩn hội tụ 2,0% chứng minh sự tin cậy của giá trị xác suất an toàn ước lượng được.

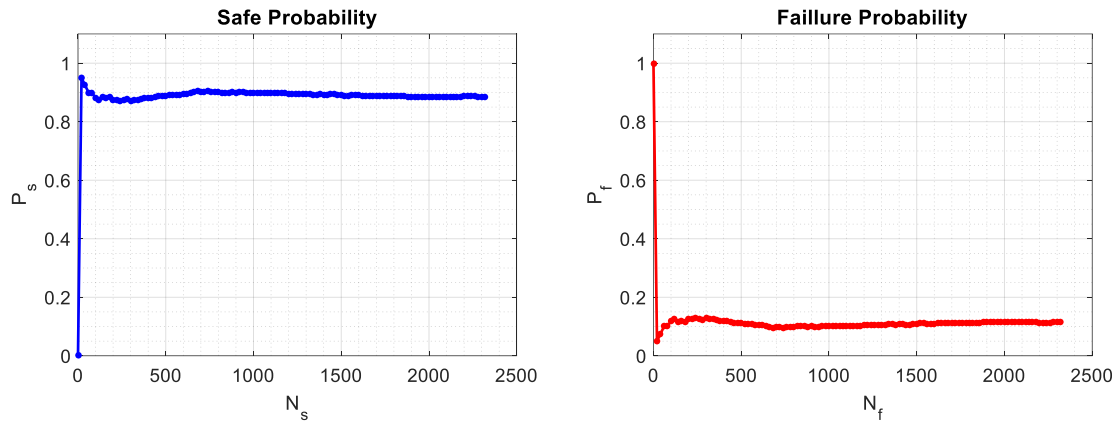


Hình 10: Sự hội tụ của mô phỏng Monte-Carlo sau $t = 20$ năm

4.4. Độ tin cậy của khả năng chịu lực của cột liên hợp thép - BTCT tiết diện tròn sau 50 năm

Tiến hành mô phỏng độ tin cậy của khả năng chịu lực của cột liên hợp thép - BTCT tiết diện tròn với số liệu đầu vào cho ở trên sau 50 năm bị ăn mòn xét các tham số A, B

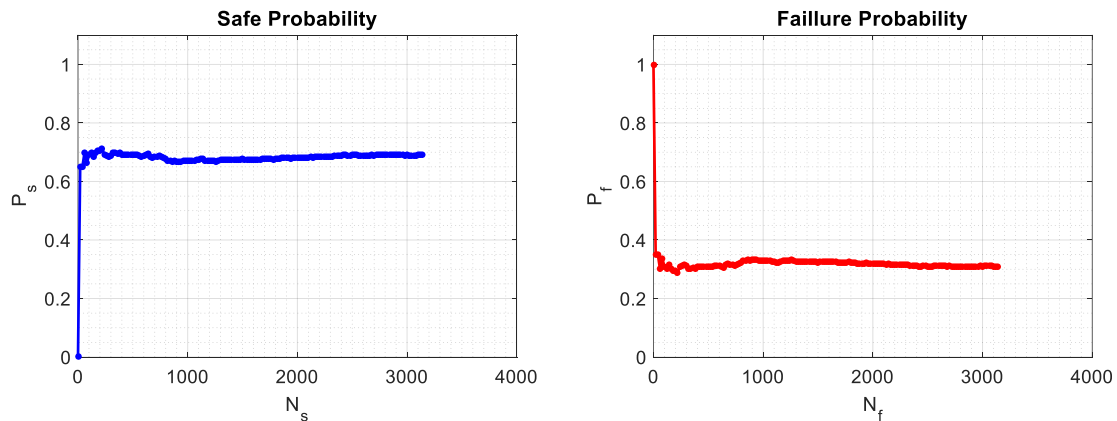
của mô hình là biến ngẫu nhiên chuẩn với tỷ số của độ lệch chuẩn/ kỳ vọng là $CV = 0.25$. Hình 11 thể hiện sự hội tụ của giá trị xác suất an toàn P_s (phải) và xác suất phá hoại (trái) sau 2340 mô phỏng Monte Carlo với tiêu chuẩn hội tụ là 2.0%. Xác suất an toàn hội tụ tại giá trị 0.8853 tương ứng với giá trị độ tin cậy của kết cấu là 88.53%. Thời gian cho một lần đánh giá độ tin cậy là 8.32 phút. Tiêu chuẩn hội tụ 2.0% chứng minh sự tin cậy của giá trị xác suất an toàn ước lượng được.



Hình 11: Sự hội tụ của mô phỏng Monte-Carlo sau $t = 50$ năm

4.5. Độ tin cậy của khả năng chịu lực của cột liên hợp thép - BTCT tiết diện tròn sau 100 năm

Khả năng chịu lực của cột liên hợp thép - BTCT tiết diện tròn với số liệu đầu vào cho ở trên sau 100 năm bị ăn mòn xét các tham số A, B của mô hình là biến ngẫu nhiên chuẩn với tỷ số của độ lệch chuẩn/ kỳ vọng là $CV = 0.25$. Hình 12 thể hiện sự hội tụ của giá trị xác suất an toàn P_s (phải) và xác suất phá hoại (trái) sau 3160 mô phỏng Monte Carlo với tiêu chuẩn hội tụ là 2.0%. Xác suất an toàn hội tụ tại giá trị 0.6901 tương ứng với giá trị độ tin cậy của kết cấu là 69.01%. Thời gian cho một lần đánh giá độ tin cậy là 9.84 phút. Tiêu chuẩn hội tụ 2.0% chứng minh sự tin cậy của giá trị xác suất an toàn ước lượng được.



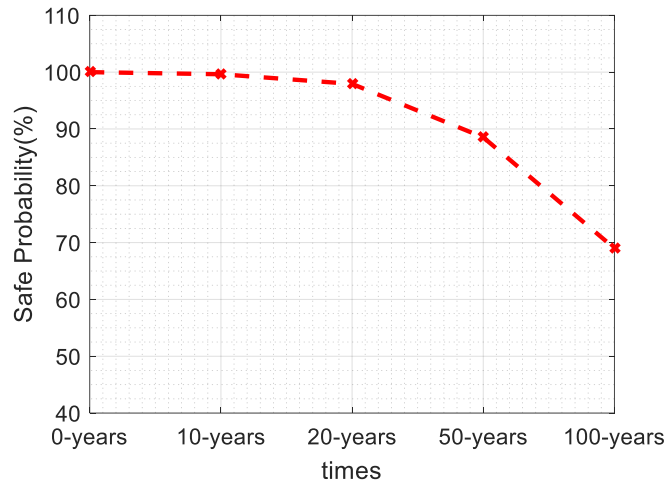
Hình 12: Sự hội tụ của mô phỏng Monte-Carlo sau $t = 100$ năm

4.6. Sự suy giảm khả năng chịu lực của cột bị ăn mòn

Từ kết quả mô phỏng Monte Carlo khả năng chịu lực của cột liên hợp thép - BTCT tiết diện tròn sau 10 năm, 20 năm, 50 năm và 100 năm. Kết quả được tập hợp trong Hình 13 và Bảng 5. Có thể thấy rằng sau 100 năm khả năng chịu lực của cột giảm 41.99% so với ban đầu. kết quả nghiên cứu nhằm khuyến cáo cho người thiết kế và thi công cũng như người sử dụng có biện pháp bảo trì hợp lý.

Bảng 5: Xác suất an toàn của cột liên hợp thép - BTCT tiết diện tròn sau 10 năm, 20 năm, 50 năm và 100 năm

	10-năm	20-năm	50-năm	100-năm
P_s (%)	99.63	97.93	88.53	69.01



Hình 13: Sự suy giảm xác suất an toàn sau $t = 100$ năm

5. Kết luận

Bài báo này đã nghiên cứu và xây dựng được chương trình tính toán khả năng chịu lực của cột liên hợp thép - BTCT tiết diện tròn theo tiêu chuẩn EC-4, từ đó xây dựng mô hình ngẫu nhiên trên cơ sở kết hợp giữa chương trình tính toán khả năng chịu lực của tiết diện cột liên hợp thép - BTCT tiết diện tròn theo tiêu chuẩn EC-4 tất định và kết hợp mô hình ăn mòn theo đề xuất của M.E. Komp. Kết quả tính toán tất định so với kết quả trong [16] và cho sai số 1.18%. Từ đó khảo sát độ tin cậy theo khả năng của tiết diện có xét đến ăn mòn kim loại sau 10 năm, 20 năm, 50 năm và 100 năm. Kết quả nghiên cứu bước đầu khả quan này là tiền đề để nhóm tác giả tiếp tục phát triển mở rộng bài toán cho các dạng kết cấu khác và xét đến các yếu tố ngẫu nhiên khác nhau.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được hỗ trợ bởi đề tài có mã số B2020-TDV-05 cấp Bộ Giáo dục và Đào tạo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S. Park, “EN 1994-Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures,” 1992.
- [2] X. C. Nguyễn, “Xác định xác suất hư hỏng và chỉ số tin cậy một số công trình xây dựng,” *Tuyển tập báo cáo khoa học - Hội nghị Khoa học toàn quốc lần thứ hai về sự cố và hư hỏng công trình xây dựng*, 2003.
- [3] K. H. Phạm, “Xây dựng điều kiện bền mở rộng để xác định độ tin cậy tổng thể đánh giá an toàn của kết cấu công trình biển cố định bằng thép, áp dụng cho điều kiện biển nước sâu Việt Nam,” *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, Vol. 3, pp. 1-7, 2010.
- [4] V. Nguyễn, “Xác định độ tin cậy của tường chắn cứng,” *Tạp chí Hàng hải Việt Nam*, Vol. 7, 2010.
- [5] V. Nguyễn, “Độ tin cậy về ổn định chung của mái dúc,” *Tạp chí Giao thông vận tải*, Vol. 9, 2010.
- [6] L. C. D. Lê Xuân Huỳnh, “Một phương pháp đánh giá độ tin cậy mờ của kết cấu khung,” *Tạp chí Xây dựng*, 2006.
- [7] T. Ha, “Reliability assessment of frame steel considering semi-rigid connections,” *Journal of Materials and Engineering Structures «JMES»*, Vol. 6, No. 1, pp. 119-126, 2019.
- [8] N. T. Ha and D. X. Hung, “Sensitivity analysis of the design portal frames of steel industrial buildings,” in *MATEC Web of Conferences*, Vol. 193, p. 04025: EDP Sciences, 2018.
- [9] M. Komp, “Atmospheric corrosion ratings of weathering steels-calculation and significance,” *Materials performance*, Vol. 26, No. 7, pp. 42-44, 1987.
- [10] R. Landolfo, L. Cascini, and F. Portioli, “Modeling of metal structure corrosion damage: A state of the art report,” *Sustainability*, Vol. 2, No. 7, pp. 2163-2175, 2010.
- [11] M. Secer and E. T. Uzun, “Corrosion damage analysis of steel frames considering lateral torsional buckling,” *Procedia engineering*, Vol. 171, pp. 1234-1241, 2017.
- [12] T.-H. Nguyen and D.-D. Nguyen, “Reliability Assessment of Steel-Concrete Composite Beams considering Metal Corrosion Effects,” *Advances in Civil Engineering*, Vol. 2020, 2020.
- [13] N.-L. Tran and T.-H. Nguyen, “Effect of Metal Corrosion on the Structural Reliability of the 3D Steel Frames,” in *Proceedings of the 3rd International Conference on Sustainability in Civil Engineering*, 2021, pp. 39-44: Springer.
- [14] T. Ngoc-Long and T. Ha, “The effect of metal corrosion on the structural reliability of the Pre-Engineered steel frame,” *Journal of Materials and Engineering Structures «JMES»*, Vol. 7, No. 2, pp. 155-165, 2020.
- [15] N. T. Ha, “Reliability assessment of frame steel considering semi-rigid connections,” *Journal of Materials and Engineering Structures*, Vol. 6, No. 1, pp. 119-126, 2019.
- [16] D. Dujmovic, B. Androic, and I. Lukacevic, *Composite Structures According to Eurocode 4: Worked Examples*. John Wiley & Sons, 2015.
- [17] M. Lemaire, A. Chateaufneuf, and J.-C. Mitteau, “Fiabilité des structures,” 2005.

SUMMARY

RELIABILITY ASSESSMENT OF STRENGTH RESISTANCE OF CIRCULAR STEEL - REINFORCE CONCRETE CONJUGATE COLUMN CONSIDERING METAL ATMOSPHERIC CORROSION

Nguyen Trong Ha ⁽¹⁾, Vo Thanh Phuc ⁽²⁾, Nguyen Hoa Hiep ⁽³⁾, Le Viet Dong ⁽⁴⁾

¹ *Civil Engineering Department, Vinh University*

² *Hatecco Construction Company Limited, Vinh Long Province*

³ *Graduate student of Course 27 - Civil Engineering, Vinh University*

⁴ *Center of Experimental Practice, Vinh University*

Received on 10/9/2021, accepted for publication on 13/12/2021

The bearing capacity of steel - reinforced concrete composite column depends on the geometrical dimensions, structural composition and mechanical properties of the material. In fact, these factors are random, especially when considering the atmospheric corrosion of metals. This paper presents the reliability assessment of strength resistance of circular steel - reinforced concrete composite column considering metal atmospheric corrosion. An uncertainty model is constructed based on the combination of deterministic design model according to Eurocode-4 with the input parameters and the corrosion model being random. The reliability of the column was assessed using Monte Carlo simulation method. The calculation program is built on Matlab platform allows the authors to conduct numerical surveys and draws conclusions and recommendations from the calculations results.

Key words: Steel-reinforced concrete conjugate column; reliability assessment; Monte Carlo simulation; Composite column; variable random.