

Đánh giá an toàn xác suất kết cấu dàn thép thiết kế theo tiêu chuẩn TCVN 5575:2012

Probabilistic safety assessment of truss members designed by TCVN 5575:2012

Trần Anh Tuấn¹, Đoàn Như Sơn^{2,*}

¹Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

²Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Tác giả liên hệ: vanson.ctt@vimaru.edu.vn

Ngày nhận bài: 4/3/2024; Ngày chấp nhận đăng: 15/3/2024

Tóm tắt:

Nghiên cứu này đánh giá an toàn xác suất của kết cấu dàn thép thiết kế theo tiêu chuẩn Việt Nam, TCVN 5575:2012. Kết cấu dàn phẳng được thiết kế theo các trạng thái giới hạn về cường độ (kéo, nén) bằng cách sử dụng các hệ số quy định trong tiêu chuẩn thiết kế. Sau đó, mô phỏng Monte Carlo được áp dụng để xác định xác suất mất an toàn của kết cấu đã được thiết kế theo TCVN 5575:2012. Kết quả phân tích xác suất nhằm đánh giá mức độ an toàn cũng như sự đồng đều của kết cấu dàn theo góc nhìn của lý thuyết độ tin cậy. Từ đó, đánh giá được mức độ an toàn theo xác suất với các tiêu chuẩn quốc tế. Kết quả nghiên cứu cho thấy, chỉ số độ tin cậy của các thanh chịu nén cao hơn so với các thanh kéo khoảng 20%. Thêm vào đó, chỉ số độ tin cậy của các thanh kéo thiết kế theo tiêu chuẩn Việt Nam nhỏ hơn so với chỉ số độ tin cậy mục tiêu trong tiêu chuẩn của Hoa Kỳ. Ngược lại, chỉ số độ tin cậy của thanh nén thiết kế theo tiêu chuẩn Việt Nam cao hơn đáng kể so với chỉ số độ tin cậy mục tiêu của tiêu chuẩn Hoa Kỳ.

Từ khóa: Phân tích độ tin cậy; Kết cấu dàn; Mô phỏng Monte Carlo; TCVN 5575:2012.

Abstract:

This study aims to evaluate the probabilistic safety levels of truss structures designed using the TCVN 5575:2012. A planar structure was designed according to the strength limit state (tension and compression) in the design code. Monte Carlo simulations were then executed to assess the failure probability of the design solutions designed following TCVN 5575:2012. The results help evaluate safety in terms of probability and uniformity. Accordingly, the probability safety levels are compared with those specified in international specifications. The results obtained in this study reveal that the reliability indices for compression bars are higher than those for tension members (approximately 20%). In addition, the reliability indices for the tension members were relatively close to the specified target in the American specification. In contrast, compression bars designed using the TCVN result in a higher reliability index than the target specified in the American code.

Keywords: Reliability analysis; Truss structure; Monte Carlo simulation; TCVN 5575:2012.

1. Giới thiệu

Ở Việt Nam, các hệ số điều kiện làm việc (γ) được quy định trong tiêu chuẩn TCVN 5575:2012 [1] khi thiết kế thanh dàn thép. Ví dụ, với thanh chịu kéo trong kết cấu dàn, hệ số điều kiện làm việc được quy định là 0.95. Với thanh chịu nén trong

dàn, hệ số này được lấy bằng 0.90. Việc kể đến hệ số điều kiện làm việc giúp chiết giảm một lượng sức kháng danh định, vốn được tính toán theo các mô hình xấp xỉ và có thể ẩn chứa những sai số nhất định. Sức kháng tính được khi kể đến hệ số điều kiện làm việc thường gọi là sức kháng tính toán.

Tuy nhiên, tiêu chuẩn không đưa ra mô hình bất định cũng như cơ sở để xác định các hệ số điều kiện làm việc này.

Gần đây, tiêu chuẩn về tải trọng và tác động (TCVN 2737:2023) [2] được cập nhật, bổ sung để thay thế cho phiên bản TCVN 2737:1995. Tiêu chuẩn về tải trọng và tác động nhằm đưa ra các tải trọng, tổ hợp tải trọng và các hệ số tải trọng tương ứng (thường gọi là các hệ số độ tin cậy về tải trọng hay hệ số vượt tải) để xác định những hiệu ứng do các tải trọng gây ra.

Cùng với các hệ số tải trọng quy định trong tiêu chuẩn về tải trọng và tác động, các hệ số về điều kiện làm việc quy định các tiêu chuẩn thiết kế như tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép (TCVN 5575:2012) hay kết cấu bê tông cốt thép (TCVN 5574:2018 [3]), được sử dụng xuyên suốt quá trình thiết kế. Khác với tiêu chuẩn về tải trọng và tác động, tiêu chuẩn thiết kế nhằm xác định khả năng chịu lực của tiết diện, cấu kiện (sức kháng) để đảm bảo bộ phận kết cấu thỏa mãn các tổ hợp tải trọng. Nhìn chung, phương trình thiết kế có thể viết theo các giá trị tổ hợp hiệu ứng do tải trọng tính toán (S_{tt}) và sức kháng tính toán (R_{tt}) như phương trình (1) dưới đây. Các giá trị tính toán của nội lực được xác định theo các tổ hợp quy định trong tiêu chuẩn [2].

$$S_{tt} \leq R_{tt} \quad (1)$$

Giá trị tính toán của tải trọng có thể được viết theo phương trình (2). Trong đó, S_i , ψ_i , γ_i lần lượt là tải trọng tiêu chuẩn, hệ số tổ hợp, và hệ số độ tin cậy của tải trọng thứ i . Tương tự, sức kháng tính toán được tính thông qua sức kháng tiêu chuẩn (R_{tc}) có xét đến các hệ số về điều kiện làm việc (γ_c), và hệ số tin cậy về vật liệu γ_M như phương trình (3).

$$S_{tt} = \sum_i (\psi_i S_i) \gamma_i \quad (2)$$

$$R_{tt} = \sum_i \gamma_c \left(R \left(\frac{1}{\gamma_M} \right) \right)_j \quad (3)$$

Các giải pháp thiết kế phụ thuộc vào các hệ số tổ hợp, hệ số tin cậy của tải trọng, hệ số điều kiện làm việc và hệ số tin cậy về vật liệu được quy định

trong các tiêu chuẩn. Nói cách khác, các sản phẩm thiết kế sẽ khác nhau tùy theo tiêu chuẩn được sử dụng. Với các tiêu chuẩn Việt Nam, các hệ số này thường được quy định theo kinh nghiệm hoặc tham khảo các tiêu chuẩn nước ngoài [3]. Cần lưu ý rằng, không chỉ có mức độ an toàn của kết cấu, giá thành của công trình cũng phụ thuộc rất lớn vào các hệ số này. Chẳng hạn, khi sử dụng hệ số tin cậy của tải trọng (γ_i) nhỏ hơn so với thực tế, tiêu chuẩn đánh giá thiếu (về lượng) tác động từ tải trọng gây ra dẫn đến khả năng mất an toàn cao cho kết cấu. Ngược lại, khi sử dụng hệ số điều kiện làm việc (γ_c) quá nhỏ dẫn đến thiết kế dư thừa cho bộ phận kết cấu, gây ra lãng phí không cần thiết.

Trên thế giới, các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu hiện nay như các tiêu chuẩn châu Âu (Eurocode), tiêu chuẩn Hoa Kỳ (AISC, ACI) chủ yếu được xây dựng dựa trên lý thuyết độ tin cậy. Trong đó, các hệ số kể trên được xác định thông qua việc xem xét các tham số tải trọng và tham số sức kháng có chứa một mức độ bất định. Trên cơ sở các số liệu thống kê, khảo sát, các đặc trưng thống kê của các tham số tải trọng, tham số sức kháng được dự tính. Kết hợp với một chỉ số độ tin cậy mục tiêu, các hệ số liên quan tới tải trọng và sức kháng được xác định cho phù hợp.

Với bài toán thiết kế theo các phương trình (1), (2) và (3) không yêu cầu các tính toán xác suất trong quá trình thiết kế. Ngoài ra, các mô hình bất định của các tham số tải trọng cũng như sức kháng không được nhắc đến trong tiêu chuẩn Việt Nam. Do đó, mức độ an toàn của các phương án thiết kế căn cứ theo các quy định hiện hành cần được đánh giá. Ngoài ra, sự phù hợp của các hệ số độ tin cậy và hệ số điều kiện làm việc đang được quy định trong các tiêu chuẩn hiện hành cần được xem xét. Ví như, dựa trên các tính toán tất định, một nghiên cứu gần đây so sánh đánh giá mức độ khác nhau của các sức kháng cấu kiện chịu kéo và nén theo ba tiêu chuẩn khác nhau đã được thực hiện [4]. Kết quả nghiên cứu cho thấy sức kháng kéo và nén của cấu kiện thép hợp tính theo tiêu chuẩn Việt Nam luôn cho kết quả nhỏ nhất. Ngoài ra, một vài nghiên cứu về mức độ an toàn xác suất của các thanh dầm thiết kế theo tiêu chuẩn AISC 360-16

được thực hiện [5], [6]. Tuy nhiên, các đánh giá về mức độ an toàn xác suất của các thanh dàn khi thiết kế theo tiêu chuẩn Việt Nam hiện chưa được nghiên cứu.

Nghiên cứu này nhằm đánh giá mức độ an toàn của các phương án thiết kế kết cấu dàn phẳng được thực hiện dựa trên các tiêu chuẩn Việt Nam theo lý thuyết độ tin cậy. Trước hết, các bước tính toán thiết kế thanh dàn chịu kéo và chịu nén được tóm tắt trong Mục 2. Mục 3 trình bày phương pháp giúp đánh giá xác suất mất an toàn cũng như chỉ số độ tin cậy (mô phỏng Monte Carlo). Mục 4 đề cập một kết cấu dàn được xem xét trong nghiên cứu này. Mục 5 cho thấy kết quả thiết kế thanh dàn theo tiêu chuẩn Việt Nam và các kết quả đánh giá xác suất mất an toàn của các phương án thiết kế. Cuối cùng, các kết luận được đưa ra trong Mục 6.

2. Thiết kế thanh dàn theo điều kiện bền

Theo TCVN 2737:2023 [2], các tải trọng tác dụng lên kết cấu bao gồm các tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời ngắn hạn hay dài hạn, và tải trọng đặc biệt. Để đơn giản, trong nghiên cứu này chỉ xét tổ hợp gồm một tải trọng thường xuyên G và một tải trọng tạm thời Q . Các hệ số độ tin cậy cho tải trọng thường xuyên phụ thuộc vào vật liệu kết cấu. Với kết cấu thép, hệ số độ tin cậy được lấy bằng 1.05. Các hệ số độ tin cậy cho tải trọng tạm thời ngắn hạn được lấy bằng 1.30. Do đó, phương trình (2) được viết như sau:

$$S_{tt} = 1.05G + 1.30Q \quad (4)$$

Khả năng chịu kéo và nén tính toán của thanh dàn được biểu diễn dưới dạng sức kháng tính toán như phương trình (5) và (6) [1].

$$R_{tt} = \gamma_c f A_g \quad (5)$$

$$R_{tt} = \gamma_c f (\varphi A_g) \quad (6)$$

Trong đó, A_g là diện tích mặt cắt nguyên, f là cường độ tính toán của thép được xác định thông qua hệ số độ tin cậy của vật liệu γ_M và giới hạn chảy của thép f_y như phương trình (7). Hệ số γ_M được lấy bằng 1.10 như quy định trong TCVN 5575:2012. Ngoài ra, hệ số điều kiện làm việc

được lấy bằng 0.95 khi thanh dàn chịu kéo và 0.90 khi thanh chịu nén.

$$f = f_y / \gamma_M \quad (7)$$

Trong phương trình (6), hệ số uốn dọc φ được xác định theo độ mảnh quy ước $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{f/E}$. Với độ mảnh λ được tính bằng tỷ số giữa chiều dài thanh chịu nén và bán kính quán tính của tiết diện. Theo đó, hệ số uốn dọc φ được xác định như sau:

Khi $\bar{\lambda} \leq 2.5$

$$\varphi = 1 - \left(0.073 - 5.53 \frac{f}{E} \right) \bar{\lambda} \sqrt{\bar{\lambda}} \quad (8)$$

Khi $2.5 < \bar{\lambda} \leq 4.5$

$$\varphi = 1.47 - 13 \frac{f}{E} - \left(0.371 - 27.3 \frac{f}{E} \right) \bar{\lambda} + \left(0.0275 - 5.53 \frac{f}{E} \right) \bar{\lambda}^2 \quad (9)$$

Khi $\bar{\lambda} \geq 4.5$

$$\varphi = \frac{332}{\bar{\lambda}^2 (51 - \bar{\lambda})} \quad (10)$$

Để xác định được nội lực trong thanh dàn, các phần mềm tính toán kết cấu có thể được sử dụng. Trong nghiên cứu này, nhóm sử dụng FEM-Truss là một chương trình lập trình bằng MATLAB được xây dựng và áp dụng trong một số nghiên cứu trước đây [6], [7]. Sau đó, các thanh dàn được thiết kế để thỏa mãn các điều kiện trong phương trình (1) với các sức kháng tính toán được tính theo biểu thức (5) và (6).

3. Phương pháp đánh giá chỉ số độ tin cậy của các thanh dàn

Một số phương pháp dùng để đánh giá mức độ an toàn kết cấu dàn đã đề cập trong các nghiên cứu trước. Chẳng hạn, các phương pháp xấp xỉ như phương pháp ứng dụng chuỗi Taylor [8], hay phương pháp ước lượng điểm [9] để xác định chỉ số độ tin cậy kết cấu dàn. Các phương pháp xấp xỉ giúp đánh giá chỉ số độ tin cậy kết cấu dàn một cách nhanh chóng và tương đối chính xác. Trái lại, để có kết quả chính xác hơn, phương pháp mô

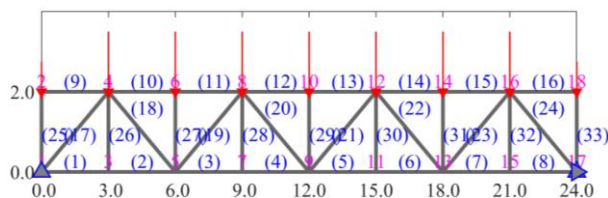
phỏng Monte Carlo với số lượng mẫu lớn thường được sử dụng [10], [11]. Phương pháp mô phỏng Monte Carlo áp dụng cho kết cấu dàn đã được trình bày trong một vài nghiên cứu trước [5], [6], [12]. Trong nghiên cứu này, mô phỏng Monte Carlo với một triệu mẫu thử được thực hiện. Một chu trình kết hợp mô phỏng Monte Carlo với chương trình FEM-Truss đã được trình bày trong các nghiên cứu như [6] và [7] được sử dụng ở đây.

Nội dung của phương pháp mô phỏng Monte Carlo được tham khảo trong tài liệu [13], và kết hợp với FEM-Truss được tóm tắt như sau. Trước hết, mô phỏng Monte Carlo nhằm tạo ra một triệu mẫu thử của các biến bất định sẽ thực hiện. Sau đó, lần lượt từng mẫu thử được đưa vào chương trình FEM-Truss để đánh giá ứng xử của kết cấu. Từ đó, số lượng mẫu mất an toàn trong tập hợp một triệu mẫu được xác định. Xác suất mất an toàn (P_f) được tính bằng tỷ số giữa số lượng mẫu gây mất an toàn với tổng số mẫu thử. Cuối cùng, chỉ số độ tin cậy β được xác định thông qua xác suất hư hỏng (P_f) như công thức (11), với Φ là hàm xác suất tích lũy của phân phối chuẩn [10], [13].

$$\beta = \Phi^{-1}(1 - P_f) \quad (11)$$

4. Ví dụ số

Trong nghiên cứu này, một kết cấu dàn phẳng được thiết kế theo tiêu chuẩn Việt Nam, thể hiện trong Hình 1. Kết cấu dàn gồm 33 thanh, chiều cao 2 m và vượt nhịp 24 m. Dàn được thiết kế để chịu tải trọng sau tổ hợp (theo phương trình (4)) tại các nút biên trên là 90 kN. Chú ý, hai nút đầu dàn chỉ chịu một nửa tải trọng so với các nút phía trong.



Hình 1. Sơ đồ kết cấu dàn.

Các thanh dàn được thiết kế theo TCVN 5575:2012 như đã trình bày trong Mục 2. Tiết diện vuông rỗng được lấy theo catalogue của SSAB

[14]. Giới hạn chảy f_y và mô đun đàn hồi E của thép lần lượt là 350 kPa và 200 GPa. Với kết cấu dàn như Hình 1, các thanh biên là các thanh chịu lực chính và được thiết kế. Trong đó, thanh biên trên chịu nén, các thanh biên dưới chịu kéo. Các thanh còn lại được chọn trước có mặt cắt tiết diện vuông rỗng 140×5.6 mm. Để đảm bảo thiết kế an toàn và không dư thừa, các mặt cắt được lựa chọn với tỷ số R_{tt}/S_{tt} nằm trong khoảng từ 1.0 đến 1.05. Nghĩa là, các thanh được thiết kế đảm bảo an toàn nhưng mức độ dự trữ không vượt quá 5%.

Các tham số bất định trong kết cấu dàn bao gồm tham số liên quan tới sức kháng là mô đun đàn hồi E , giới hạn chảy f_y , và chiều dày thanh dàn (t). Các tải trọng G_i và Q_i ($i = 1-9$) đặt tại các nút dàn được xem xét là các biến bất định. Như vậy, bài toán phân tích độ tin cậy bao gồm 21 biến bất định. Các tham số thống kê của các biến bất định được đặc trưng bởi giá trị kỳ vọng (μ) và hệ số biến thiên (COV) của các hệ số lệch (bias factor) như tổng hợp trong Bảng 1 [6], [7].

Trong kết cấu dàn, các tham số bất định được xét gồm hai nhóm. Thứ nhất là nhóm các đặc trưng ảnh hưởng tới khả năng chịu lực như đặc trưng vật liệu (E , f_y), đặc trưng mặt cắt thanh (chiều dày thanh hay diện tích thanh). Các thanh tiết diện vuông được sử dụng trong nghiên cứu này, nên chiều dày thanh được xem xét như là biến bất định. Theo tổng hợp từ nghiên cứu [6] và [7], các phân phối chuẩn thường được sử dụng để mô phỏng những tham số bất định này. Nhóm tham số bất định thứ hai liên quan đến tải trọng và tác động. Ở đây, hai tải trọng phổ biến nhất là tĩnh tải và hoạt tải được xét đến. Các loại tải trọng khác như tải trọng gió, động đất chưa được kể đến. Tĩnh tải thường có xu hướng lớn hơn so với thiết kế ban đầu. Phân phối chuẩn được sử dụng để mô phỏng tính bất định của tĩnh tải do trọng lượng riêng của vật liệu tuân theo phân phối này. Với hoạt tải, mức độ bất định lớn hơn so với tĩnh tải và phân phối Gumbel thường được sử dụng [12] như thống kê trong Bảng 1. Kết quả tính toán thiết kế thanh dàn theo tiêu chuẩn TCVN 5575:2012 và các mức độ an toàn theo xác suất được trình bày ở Mục 5.

Bảng 1. Bảng tham số bất định ($i = 1-9$).

Tham số	μ	COV	Phân phối
t (mm)	0.964	0.04	Normal
E (GPa)	1.00	0.06	Normal
f_y (MPa)	1.10	0.10	Normal
G_i (kN)	1.05	0.10	Normal
Q_i (kN)	1.00	0.25	Gumbel

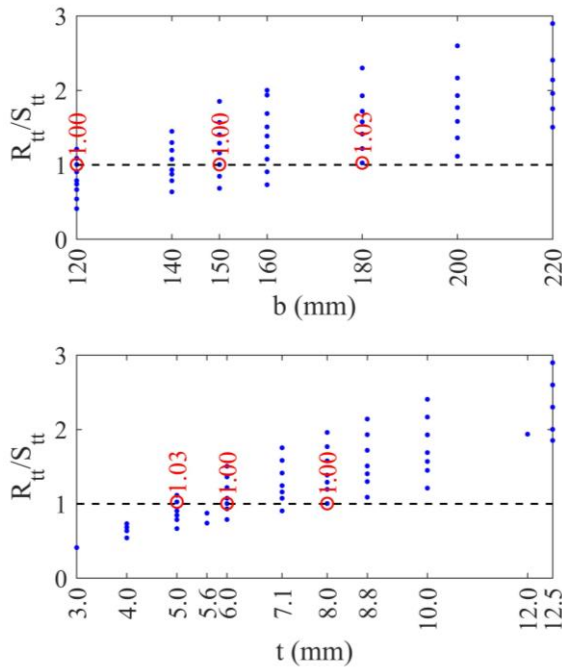
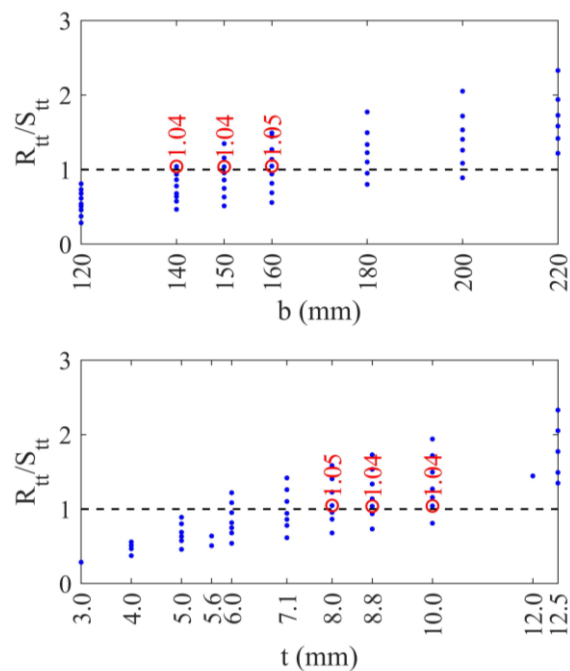
5. Kết quả và thảo luận

5.1. Kết quả thiết kế tất định

Kết quả thiết kế theo tiêu chuẩn TCVN 5575:2012 cho các thanh dàn chịu kéo và nén lần lượt được tổng hợp trên Hình 2 và Hình 3. Chú ý, chiều dày tiết diện hộp được chọn trong khoảng từ 3 đến 12.5 mm, bề rộng mặt cắt được chọn trong khoảng 120 đến 220 mm. Theo kết quả trên Hình 2, có 40 mặt cắt đảm bảo an toàn và 14 mặt cắt không đảm bảo an toàn theo thiết kế tất định. Trong đó, 03 mặt

cắt thỏa mãn an toàn và có mức độ dự trữ không quá 5%. 03 mặt cắt này được chọn cho các thanh kéo. Tương tự, 03 mặt cắt đủ khả năng chịu nén và có mức độ dư thừa không quá 5% trong số 26 mặt cắt đủ khả năng chịu nén được chọn cho các thanh nén như kết quả trên Hình 3.

Mức độ an toàn xác suất của các cấu kiện chịu kéo và nén sử dụng những mặt cắt đã chọn được trình bày trong Mục 5.2.

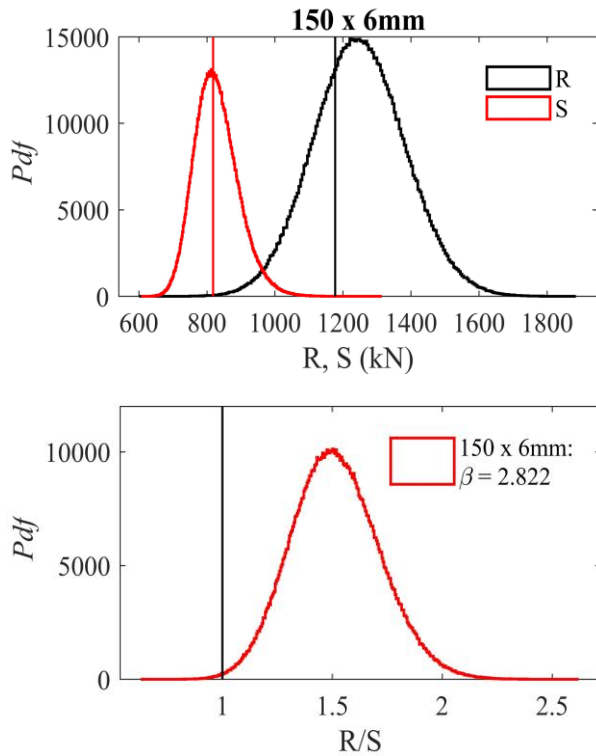
**Hình 2.** Kết quả thiết kế tất định cho thanh kéo.**Hình 3.** Kết quả thiết kế tất định cho thanh nén.

5.2. Kết quả phân tích an toàn xác suất

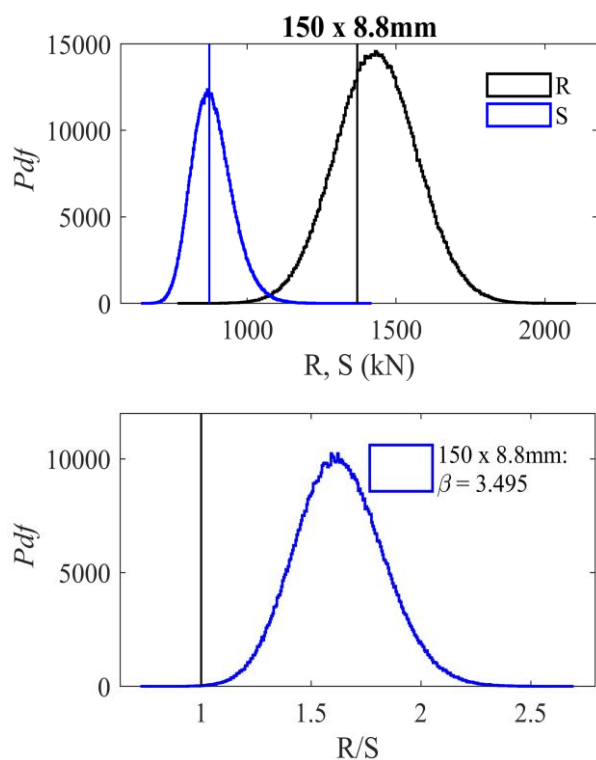
Kết quả mô phỏng Monte Carlo cho ba phương án thiết kế thanh chịu kéo và ba phương án thiết kế thanh chịu nén được trình bày trong mục này.

Hình 4 thể hiện kết quả mô phỏng cho một triệu mẫu khi chọn thanh kéo có kích thước 150×6.0 mm. Tương tự, Hình 5 trình bày kết quả mô phỏng cho thanh nén kích thước 150×8.8 mm. Trong các Hình 4 và 5, biểu đồ phía trên so sánh sức

kháng và tải trọng xác định được trong một triệu mô phỏng. Biểu đồ phía dưới trình bày tần suất của tỷ số R/S . Kết quả các chỉ số độ tin cậy được ghi lại trên Hình 4 và 5 cho hai mặt cắt được xem xét. Pdf (probability density function) là hàm mật độ xác suất. Kết quả của các phương án còn lại được tổng hợp trong Bảng 2.



Hình 4. Kết quả phân tích độ tin cậy thanh kéo.



Hình 5. Kết quả phân tích độ tin cậy thanh nén.

Bảng 2. Kết quả tính toán tất định và tính toán xác suất cho các phương án thiết kế.

Ứng xử	Mặt cắt	R_u/S_u	Trọng lượng (kg/m)	β
Kéo	120 × 8.0	1.00	26.40	2.8238
Kéo	150 × 6.0	1.00	26.40	2.8223
Kéo	180 × 5.0	1.03	27.00	2.9582
Nén	140 × 10.0	1.04	38.10	3.5375
Nén	150 × 8.8	1.04	36.90	3.4950
Nén	160 × 8.0	1.05	36.50	3.5272

Kết quả trong Bảng 2 cho thấy, chỉ số độ tin cậy cho các thanh kéo trong khoảng từ 2.8238 đến 2.9582. Với các thanh nén, chỉ số độ tin cậy nằm trong khoảng 3.4950 đến 3.5375. Như vậy, chỉ số độ tin cậy cho các phương án khác nhau của thanh kéo và thanh nén là khá tương đồng khi xét riêng từng ứng xử. Mặt khác, tất cả các phương án đều được thiết kế với mức độ dư thừa tương đương nhau (không quá 5%), nhưng chỉ số độ tin cậy của thanh nén lớn hơn đáng kể so với chỉ số độ tin cậy của các thanh kéo (trên 20%). Kết quả này cho thấy các cấu kiện (chịu kéo và nén) đều được thiết kế ở trạng thái giới hạn như quy định trong TCVN 5575:2012, nhưng xác suất mất an toàn của các thanh là không đồng đều.

Kết quả phân tích độ tin cậy tổng hợp trong Bảng 2 cho thấy mức độ an toàn của các thanh kéo nhỏ hơn so với chỉ số độ tin cậy 3.0 được quy định trong tiêu chuẩn Hoa Kỳ. Tuy nhiên, với các thanh nén, kết quả thiết kế theo tiêu chuẩn Việt Nam cho chỉ số độ tin cậy cao hơn so với chỉ số độ tin cậy mục tiêu quy định trong tiêu chuẩn Hoa Kỳ.

6. Kết luận

Trong nghiên cứu này, mức độ an toàn theo xác suất của các thanh dầm khi thiết kế theo tiêu chuẩn Việt Nam được nghiên cứu. Trước hết, các thanh dầm được thiết kế để đảm bảo an toàn theo tiêu chuẩn thiết kế (TCVN 5575:2012). Các phương

án có mức độ dư thừa nhỏ (không quá 5%) được lựa chọn nhằm đảm bảo các phương án được thiết kế ở trạng thái giới hạn. Sau đó, phương pháp mô phỏng Monte Carlo được thực hiện để đánh giá xác suất mất an toàn, chỉ số độ tin cậy theo điều kiện bền của cả thanh kéo và thanh nén. Dựa trên kết quả thu được, các kết luận được rút ra như sau: Chỉ số độ tin cậy cho từng ứng xử (kéo hoặc nén) là tương đồng khi các thanh dàn được thiết kế đảm bảo an toàn và mức độ dư thừa không quá 5%. Mặc dù, được thiết kế với mức dư thừa như nhau nhưng chỉ số độ tin cậy của các thanh kéo nhỏ hơn đáng kể so với các thanh nén (trên 20%). Kết quả này cho thấy thanh nén được thiết kế an toàn hơn so với thanh kéo khi xét theo quan điểm xác suất.

Tài liệu tham khảo

- [1] *Kết cấu thép*, TCVN 5575:2012, Bộ Khoa học và Công nghệ, Hà Nội, Việt Nam, 2012.
- [2] *Tải trọng và tác động*, TCVN 2737:2023, Bộ Khoa học và Công nghệ, Hà Nội, Việt Nam, 2023.
- [3] *Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép*, TCVN 5574:2018, Bộ Khoa học và Công nghệ, Hà Nội, Việt Nam, 2018.
- [4] Đ. N. Sơn, “So sánh sức kháng kéo, nén của thanh thép tiết diện hộp theo tiêu chuẩn AISC 360-16, EC 3, và TCVN 5575:2012,” *TC KHCN HH*, số 77, tr. 49-55, 1. 2024.
- [5] Đ. N. Sơn, N. T. Thành, và N. P. Anh, “Đánh giá độ tin cậy kết cấu dàn phẳng khi thiết kế theo tiêu chuẩn AISC 360-16,” *TC KHCN GTVT*, tập 12, số 6, tr. 38-45, 11. 2023, doi: 10.55228/JTST.12(6).38-45.
- [6] N. S. Doan, “A study on the probabilistic safety assessment of the truss structure designed by the LRFD code,” *J. Sci. Technol. Civ. Eng.*, vol. 17, no. 1, pp. 111–124, 2023, doi: 10.31814/stce.nuce2023-17(1)-09.
- [7] Đ. N. Sơn, “Phân tích đánh giá an toàn kết cấu dàn phẳng theo lý thuyết độ tin cậy,” đề tài NCKH cấp trường, DT.22-23.73, trường ĐH HH VN, HP, VN, 2023.
- [8] T. A. Tuấn, “Ứng dụng chuỗi Taylor trong tính toán độ tin cậy kết cấu dàn,” *TC KHCN HH*, số 74, tr. 76-80, 4. 2023.
- [9] Đ. N. Sơn, T. A. Tuấn, “Ứng dụng phương pháp ước lượng điểm phân tích độ tin cậy kết cấu dàn,” *TC KHCN HH*, số 76, tr. 44-49, 11. 2023.
- [10] N. S. Doan, J. Huh, V. H. Mac, D. H. Kim, and K. Kwak, “Calibration of load and resistance factors for breakwater foundations under the earthquake loading,” *Sustainability*, vol. 13, no. 4, 2021, Art. no. 1730, doi: 10.3390/su13041730.
- [11] N. S. Doan, J. Huh, V. H. Mac, D. Kim, and K. Kwak, “Probabilistic risk evaluation for overall stability of composite caisson breakwaters in Korea,” *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 8, no. 3, 2020, Art. no. 148, doi: 10.3390/jmse8030148.
- [12] H. B. Blum, “Reliability-based design of truss structures by advanced analysis,” Univ. Sydney, Camperdown, NWS, Australia, Rep. R936, May 2013.
- [13] A. Haldar , S. Mahadevan, *Probability, reliability and statistical methods in engineering design*. Hoboken, NY, USA: JWS, 2000.
- [14] *Structural hollow section - Dimensions and cross-sectional properties*, SSAB, Stockholm, Sweden, 2019.