

Đánh giá độ tin cậy kết cấu dàn phẳng khi thiết kế theo tiêu chuẩn AISC 360-16

Reliability analysis of planar truss designed by AISC 360-16

Đoàn Như Sơn*, Nguyễn Thiện Thành, Nguyễn Phan Anh

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

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

Ngày nhận bài: 3/11/2023; Ngày chấp nhận đăng: 15/11/2023

Tóm tắt:

Các hệ số tải trọng và sức kháng quy định trong các tiêu chuẩn thiết kế theo trạng thái giới hạn được xác định thông qua những tính toán xác suất và sử dụng trực tiếp trong quá trình thiết kế không yêu cầu thêm tính toán xác suất. Tuy nhiên, vì thiếu các phân tích xác suất, sự đồng đều và thống nhất của các giải pháp thiết kế có thể không được đảm bảo. Nghiên cứu này sử dụng phương pháp xác suất để đánh giá mức độ an toàn của kết cấu dàn thép khi thiết kế theo tiêu chuẩn AISC 360-16. Một kết cấu dàn được thiết kế theo các hệ số trong tiêu chuẩn, sau đó, mô phỏng Monte Carlo được áp dụng để xác định xác suất mất an toàn của các giải pháp thiết kế. Mức độ an toàn theo xác suất được so sánh với các giá trị mục tiêu quy định trong tiêu chuẩn. Những kết quả này giúp đánh giá sự đồng đều và thống nhất của các giải pháp thiết kế theo AISC 360-16 cũng như xem xét sự phù hợp của các hệ số trong tiêu chuẩn.

Từ khóa: Phân tích độ tin cậy; Kết cấu dàn; Mô phỏng Monte Carlo; LRFD; AISC 360-16.

Abstract:

Reliability-based design codes specify the load and resistance factors established through a probabilistic framework, and no probabilistic calculation is performed in the design process. However, without probabilistic analyses, the uniformity and consistency of the design solutions may not be ensured. This study adopted a fully probabilistic analysis to assess the probabilistic safety levels of steel trusses designed by AISC 360-16. First, the truss structures were designed using the load and resistance factors as per the design code. Subsequently, Monte Carlo simulations were carried out to evaluate the probabilistic safety levels of the design solutions. The safety levels were then compared with those predefined in the design codes. These comparisons help assess the uniformity and consistency of the design solutions. In addition, the probabilistic results provide insight into the feasibility of the load and resistance factors in the design code.

Keywords: Reliability analysis; Truss structure; Monte Carlo simulation; LRFD; AISC 360-16.

1. Giới thiệu

Gần đây, phương pháp thiết kế theo hệ số tải trọng và hệ số sức kháng (Load and Resistance Factors Design- LRFD) được áp dụng phổ biến và hệ thống hóa trong các tiêu chuẩn thiết kế. Theo phương pháp này, các bộ phận kết cấu được thiết kế để thỏa mãn các trạng thái giới hạn gắn với những hệ số tải trọng và hệ số sức

kháng được quy định trong tiêu chuẩn. Mặc dù, sử dụng các hệ số tải trọng và hệ số sức kháng được xác định thông qua các tính toán xác suất, phương pháp LRFD thuộc nhóm phương pháp bán xác suất vì trong quá trình thiết kế không có tính toán xác suất hiện hữu. Đặc điểm này nhằm giúp cho quá trình thiết kế đơn giản và dễ thực thi đối với hầu hết các kỹ sư thiết kế.

Các hệ số tải trọng và hệ số sức kháng trong các tiêu chuẩn thiết kế theo LRFD được xác định thông qua các tính toán xác suất. Do đó, việc sử dụng các hệ số này góp phần cho thấy các yếu tố bất định một cách gián tiếp ngay từ trong bước thiết kế. Thông qua các phương pháp như phương pháp xấp xỉ bậc nhất của kỳ vọng và phương sai (The Mean-value First-order Second-moment Method - MVFOSM), hay phương pháp độ tin cậy bậc nhất (First-order Reliability method - FORM), các tham số bất định liên quan tới tải trọng và sức kháng được kể đến trong quá trình xác định hệ số tải trọng và hệ số sức kháng [1], [2], như vậy, giúp cho việc thiết kế sát với thực tế hơn.

Vì có xét tới các yếu tố bất định, trong quá trình xây dựng các hệ số tải trọng và hệ số sức kháng, phương pháp LRFD vượt trội hơn phương pháp thiết kế theo ứng suất cho phép, thường được áp dụng (allowable stress design: ASD). Theo ASD, các bộ phận kết cấu được thiết kế với một hệ số an toàn quy định trong tiêu chuẩn. Thông thường các hệ số an toàn được quy định theo kinh nghiệm và thường lớn hơn 1. Ngược lại, phương pháp thiết kế theo LRFD phân nhóm các hệ số thành hai loại: Nhóm hệ số tải trọng và nhóm hệ số sức kháng. Các hệ số này được xây dựng riêng rẽ thông qua các mô hình xác suất của tải trọng và mô hình xác suất của các tham số liên quan tới sức kháng. Ngoài ra, các mức độ an toàn mục tiêu theo xác suất cũng được quy định trong quá trình xác định các hệ số này. Do đó, các mức độ bất định khác nhau của tải trọng và sức kháng gắn với cùng mức độ an toàn xác suất sẽ sử dụng giúp cho việc thiết kế được đồng đều và thống nhất hơn khi xét trong phạm vi một hệ thống kết cấu. Nhờ những ưu điểm này, các tiêu chuẩn thiết kế theo LRFD được xây dựng và áp dụng rất phổ biến trên thế giới, ví dụ như hệ thống các tiêu chuẩn của Mỹ ASCE/SEI 7-16 [3], AISC 360-16 [4], ACI 318-19 [5], AASHTO 2017 [6].

Các hệ số tải trọng và hệ số sức kháng được xây dựng thông qua các tính toán xác suất và quá trình thiết kế không yêu cầu bất cứ đánh giá xác suất. Do đó, việc các phương án thiết kế có hay không thỏa mãn những mức độ an toàn xác suất

mục tiêu (theo chỉ số độ tin cậy mục tiêu) chưa thể xác định. Ngoài ra, mức độ tương đồng của chỉ số độ tin cậy cho các bộ phận kết cấu và các phương án thiết kế cũng không được đánh giá. Nghiên cứu này sử dụng phương pháp xác suất đầy đủ (mô phỏng Monte Carlo) để đánh giá mức độ an toàn theo xác suất của kết cấu dàn được thiết kế theo các hệ số tải trọng và hệ số sức kháng đang được quy định trong ASCE/SEI 7-16 và AISC 360-16. Việc đánh giá mức độ an toàn xác suất, giúp có thêm hiểu biết về các phương án thiết kế cũng như mức độ phù hợp của các hệ số tải trọng và hệ số sức kháng đang được quy định trong tiêu chuẩn.

Mục 2 tóm tắt phương pháp LRFD cho kết cấu dàn thép, trong đó, trình bày về ứng xử kéo và ổn định khi nén (buckling) của thanh dàn. Mục 3 tóm tắt nội dung phương pháp mô phỏng Monte Carlo sử dụng để đánh giá xác suất mất an toàn cho các kết cấu dàn. Các tham số bất định liên quan cũng được trình bày trong mục này. Mục 4 trình bày ví dụ kết cấu dàn được xem xét trong nghiên cứu. Mục 5 trình bày kết quả thiết kế kết cấu dàn theo LRFD và kết quả an toàn xác suất của các phương án thiết kế dựa trên phương pháp này. Cuối cùng, các kết luận được tổng hợp trong mục 6.

2. Thiết kế thanh dàn theo LRFD

Thanh dàn là kết cấu chịu kéo hoặc nén, do đó, các điều kiện về sức kháng kéo và nén cần thiết phải được kiểm tra theo những quy định của tiêu chuẩn thiết kế. Theo LRFD, cấu kiện kết cấu được coi là thỏa mãn trạng thái giới hạn khi điều kiện trong phương trình trạng thái giới hạn (1) được đảm bảo.

$$P_u \leq P_r \quad (1)$$

Hay
$$\sum \gamma_i P_i \leq \phi P_n \quad (2)$$

Trong đó, P_u là tổng tác động trong bộ phận kết cấu; P_r là tổng sức kháng của bộ phận kết cấu đang xét; P_i và γ_i là tải trọng thứ i trong tổ hợp và hệ số tải trọng tương ứng; P_n và ϕ lần lượt là sức kháng danh định và hệ số sức kháng. Như đã trình bày ở trên, các hệ số tải trọng và hệ số sức kháng (γ_i , ϕ) được xác định thông qua các tính toán độ tin cậy, trong đó, các mô hình bất

định của tải trọng và sức kháng được xem xét. Ngoài ra, các hệ số này cũng gắn với chỉ số tin cậy mục tiêu. Dấu bằng trong phương trình (1) thể hiện trạng thái giới hạn.

Theo AISC 360-16, sức kháng kéo danh định và sức kháng kéo tính toán trong thanh dàn được xác định thông qua biểu thức (3) và (4).

$$P_n = F_y A_g \quad (3)$$

$$P_r = \phi_t P_n \quad (4)$$

Với, ϕ_t là hệ số sức kháng kéo; F_y là giới hạn chảy của thép kết cấu; A_g là diện tích tiết diện nguyên của mặt cắt.

Tương tự, sức kháng nén trong thanh dàn được xác định thông qua biểu thức (5) và (6), xét tới điều kiện ổn định khi chịu nén.

$$P_{cr} = F_{cr} A_g \quad (5)$$

$$P_r = \phi_c P_{cr} \quad (6)$$

Trong biểu thức (5), P_{cr} là sức kháng nén danh định xét tới điều kiện ổn định khi nén. F_{cr} là ứng suất tới hạn thiết kế. Sức kháng nén tính toán được tính thông qua hệ số sức kháng nén ϕ_c như biểu thức (6). Theo quy định của AISC 360-16, hệ số sức kháng kéo và nén đều được lấy bằng 0.9 [4].

Trong giai đoạn đàn hồi, ứng suất tới hạn thiết kế F_{cr} là ứng suất Euler F_e có kể đến hệ số an toàn 0.877 như phương trình (7). Khi làm việc ngoài giới hạn đàn hồi, ứng suất tới hạn thiết kế F_{cr} tỷ lệ với giới hạn chảy của thép F_y như phương trình (8) [7].

$$F_{cr} = 0.877 F_e \quad (7)$$

$$F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e} \right) F_y \quad (8)$$

Ranh giới xác định miền đàn hồi và miền chảy là $0.5F_y$ và có kể đến hệ số 0.877 như phương trình (9) [4], [7].

$$F_{cr} = 0.877 * 0.5F_y = 0.44F_y \quad (9)$$

Với ứng suất Euler F_e được xác định như công thức (10). Trong công thức (9), E là mô đun đàn hồi của vật liệu. L_e là chiều dài thanh dàn, r là bán kính quán tính của tiết diện. K là hệ số phụ

thuộc vào liên kết hai đầu thanh, thường lấy bằng 0.9 với thanh dàn sử dụng mặt cắt hộp rỗng [8].

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL_e/r)^2} \quad (10)$$

Ngoài các điều kiện về cường độ ở trên, những tiết diện thanh dàn cần được thiết kế để đảm bảo những điều kiện ổn định tổng thể và cục bộ giúp cho sức kháng của thanh dàn đạt tới các giá trị tới hạn. Điều kiện ổn định tổng thể được xác định thông qua độ mảnh λ tính theo công thức (11) dưới đây. Độ mảnh tối đa được quy định lần lượt là 300 cho thanh kéo và 200 đối với thanh nén.

$$\lambda = KL_e/r \quad (11)$$

Điều kiện ổn định cục bộ cho thanh chịu nén đảm bảo thông qua tỷ số giữa bề rộng (b) và chiều dày (t) của mặt cắt để đảm bảo mặt cắt đặc chắc và được quy định trong Bảng B4.1a thuộc tiêu chuẩn [4]. Với thanh dàn sử dụng mặt cắt ngang tiết diện rỗng, tỷ số bề rộng và chiều dày giới hạn như trong phương trình (12).

$$b/t \leq 1.12 \sqrt{E/F_y} \quad (12)$$

Để tính toán nội lực (lực kéo, lực nén) cũng như sức kháng của phần tử thanh dàn, chương trình FEM-Truss xây dựng trên phần mềm MATLAB và áp dụng trong một số nghiên cứu [9]–[11], được sử dụng trong nghiên cứu này.

3. Phương pháp đánh giá an toàn xác suất

Phương pháp mô phỏng Monte Carlo là phương pháp chính xác giúp đánh giá xác suất mất an toàn kết cấu. Mô phỏng Monte Carlo đòi hỏi khối lượng tính toán lớn và chu trình tính toán được lặp đi lặp lại. Tuy nhiên, cùng với sự phát triển mạnh mẽ của phần mềm và phần cứng máy tính, các mô phỏng Monte Carlo có thể được thực hiện dễ dàng hơn.

Monte Carlo giúp xây dựng tập hợp các biến bất định và lần lượt đưa vào chương trình tính toán tất định. Số lượng biến cố mất an toàn được tổng hợp để xác định xác suất mất an toàn. Phương pháp mô phỏng Monte Carlo đã được trình bày và áp dụng trong nghiên cứu [9], [12].

Phương pháp này được tóm tắt như sau:

- Bước 1: Định nghĩa bài toán, xác định các biến tất định, biến bất định và các tham số thống kê của chúng.

- Bước 2: Phát sinh tập hợp biến gồm N mẫu thử cho các biến ngẫu nhiên. Kích thước mô phỏng Monte Carlo đã được trình bày tại các nghiên cứu [12]–[14]. Nếu chọn N quá lớn thì cần thực hiện khối lượng tính toán lớn. Ngược lại, nếu chọn N nhỏ thì dẫn đến kết quả tính toán không chính xác. Để xác định kích thước mô phỏng hợp lý, thường chọn N sao cho hệ số biến thiên (Coefficient of Variation - COV) của xác suất mất an toàn tính được không lớn hơn 30%. Với kết cấu dàn, một triệu mô phỏng được khuyến nghị là phù hợp (với giả định hệ số độ tin cậy khoảng 4.0) vì cho kết quả hệ số biến phân của xác suất mất an toàn nhỏ hơn 18% [9] và được sử dụng trong nghiên cứu này.

- Bước 3: Sử dụng chương trình FEM-Truss để xác định nội lực (Q) và sức kháng (R) trong thanh dàn tương ứng với từng mẫu thử. Giá trị của hàm trạng thái (g) cho từng mẫu thử được xác định thông qua hệ số an toàn (FS) như phương trình (13) dưới đây cho cả ứng xử kéo, nén. Phương trình hàm ý rằng, kết cấu dàn thỏa mãn điều kiện bền (gọi là an toàn) nếu sức kháng của thanh dàn không nhỏ hơn lực dọc trong thanh dàn, hay $R \geq Q$ (tức là $FS \geq 1$ hay $g \geq 0$) và ngược lại. Cần chú ý rằng các giá trị của R và Q sẽ thay đổi tùy theo giá trị của các biến phát sinh ở bước 2.

$$g = FS - 1 = R/Q - 1 \quad (13)$$

- Bước 4: Thống kê các mẫu thử cho kết quả xuất hiện biến cố mất an toàn (là các mẫu thử cho kết quả $g < 0$), N_I .

- Bước 5: Xác định xác suất mất an toàn (P_f) theo công thức (14) dưới đây.

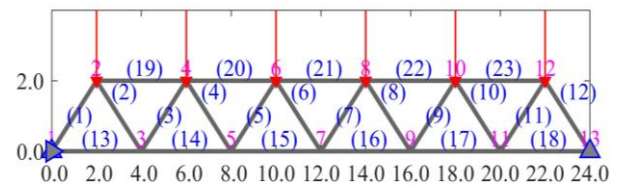
$$P_f = N_I/N \quad (14)$$

- Bước 6: Xác định chỉ số độ tin cậy β thông qua công thức (15), trong đó, Φ là hàm phân phối chuẩn.

$$\beta = \Phi^{-1}(1 - P_f) \quad (15)$$

4. Ví dụ số

Kết cấu dàn giản đơn gồm 23 thanh dàn liên kết với nhau tại 13 nút như Hình 1 được tính toán. Tải trọng tác dụng gồm tĩnh tải D_i và hoạt tải L_i ($i = 1-6$) đặt tại các nút biên trên của dàn. Nghiên cứu này sử dụng tổ hợp 1.2D + 1.6L như khuyến nghị của ASCE/SEI 7-16 để thiết kế. Giá trị tải trọng sau tổ hợp là 120 kN tương ứng với giá trị danh định của tĩnh tải và hoạt tải lần lượt là 20 kN và 60 kN.



Hình 1. Kết cấu dàn.

Trước hết, thanh dàn được thiết kế theo phương pháp LRFD như đã trình bày trong Mục 2. Thanh thép hộp vuông rỗng của nhà cung cấp SSAB [15] được sử dụng để thiết kế thanh dàn. Nhằm giảm khối lượng tính toán, các thanh dàn được chia thành hai nhóm, trong đó các thanh biên trên (thanh 19 – 23) là các thanh chịu nén được tính toán thiết kế. Nhóm các thanh biên dưới (thanh 13 – 18) thiết kế cho ứng xử kéo. Các thanh còn lại (các thanh xiên) thiết kế trước có kích thước là 140×5.6 mm. Mô đun đàn hồi của thép (E), và giới hạn chảy của thép (F_y) lần lượt bằng 200 GPa và 350 kPa. Để đảm bảo thỏa mãn thiết kế ở trạng thái giới hạn, các mặt cắt được lựa chọn sao cho dấu “bằng” trong phương trình (1) thỏa mãn. Tuy nhiên, trong thực tế, các mặt thanh thường định hình sẵn hoặc có kích thước chẵn nên các tiết diện thanh được chọn sao cho mức độ dư thừa không quá 5%. Sau đó, phương pháp mô phỏng Monte Carlo trình bày trong Mục 3 được sử dụng để xác định xác suất mất an toàn và chỉ số độ tin cậy của từng phương án thiết kế ở trên. Các biến bất định trong kết cấu dàn thép bao gồm chiều dày thanh t , mô đun đàn hồi E , giới hạn chảy F_y của thép kết cấu và các tải trọng D, L . Các tham

số thống kê của các biến bất định được thể hiện thông qua hệ số độ lệch (bias factor) và đã trình bày trong các nghiên cứu [8], [9], [11]. Các tham số thống kê được tổng hợp trong Bảng 1, với μ là kỳ vọng của hệ số độ lệch, COV là hệ số biến phân của hệ số độ lệch. Việc hệ số độ lệch giúp mô phỏng thuận tiện hơn do có thể loại bỏ đơn vị khác nhau cho các biến khác nhau.

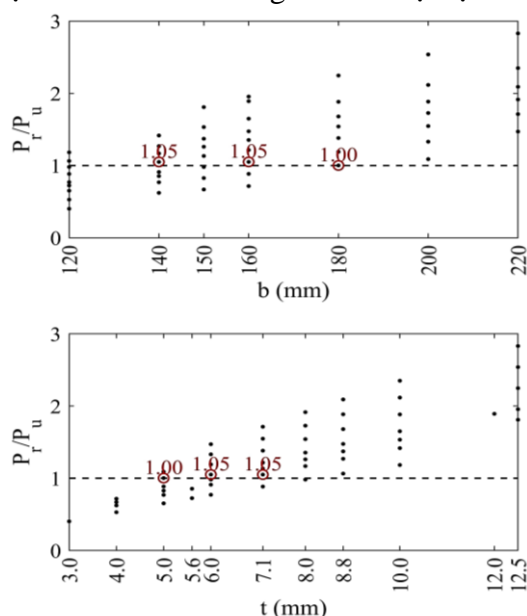
Bảng 1. Bảng tham số bất định ($i = 1-6$).

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
D_i (kN)	1.05	0.10	Normal
L_i (kN)	1.00	0.25	Gumbel

5. Kết quả và thảo luận

5.1. Kết quả thiết kế theo LRFD

Sử dụng chương trình FEM-Truss cho tính toán tĩnh. Với kết cấu dàn giản đơn chịu lực thẳng



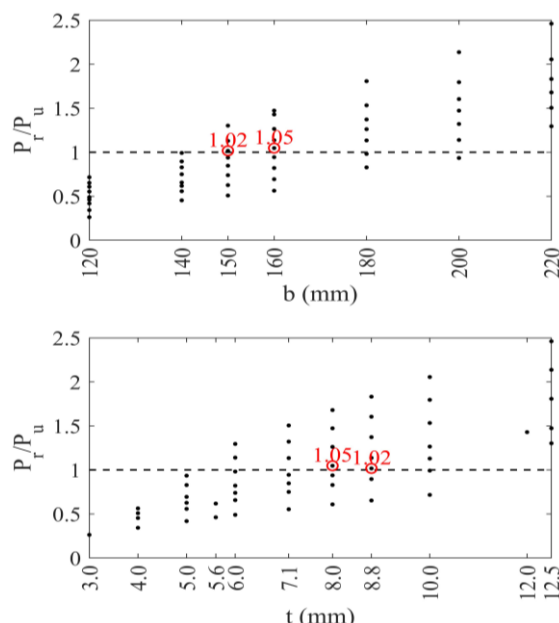
Hình 2. Kết quả thiết kế thanh kéo theo LRFD.

5.2. Kết quả phân tích độ tin cậy

Dựa trên kết quả thiết kế theo LRFD như trong Mục 5.1, có 03 mặt cắt phù hợp cho các thanh kéo và 02 mặt cắt phù hợp cho các thanh nén. Với kết cấu dàn tĩnh định, chỉ có sức kháng phụ thuộc vào tham số mặt cắt, còn nội lực trong thanh dàn

đứng như trên Hình 1, các thanh biên trên là các thanh chịu nén, các thanh biên dưới là các thanh chịu kéo. Lực nén lớn nhất trong thanh 21 và lực kéo lớn nhất trong thanh 15 cho kết quả là 1080 kN. Ngoài các thanh giằng được chọn trước, các thanh biên dàn tĩnh toán thiết kế theo thanh 21 và thanh 15.

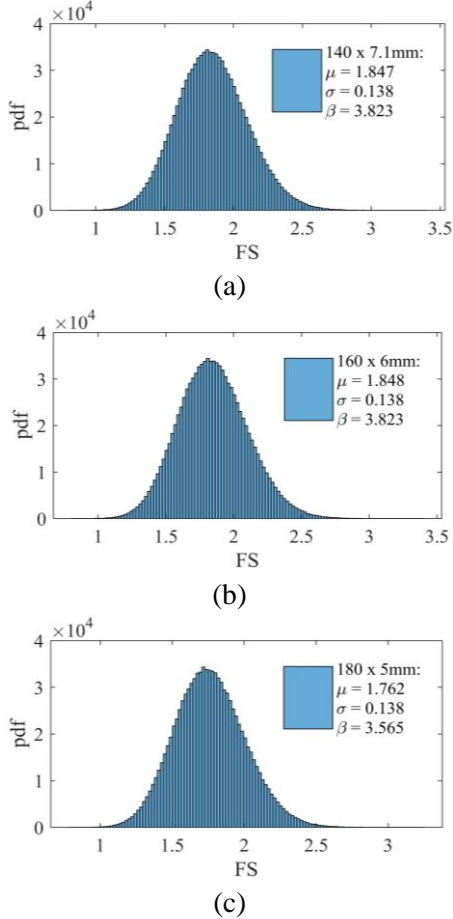
Sử dụng trình tự thiết kế theo LRFD như đã trình bày ở Mục 2, kết quả thiết kế được tổng hợp trong Hình 2 và Hình 3 cho các thanh chịu kéo và chịu nén. Chú ý là các phương án thiết kế được chọn đảm bảo tỷ số P_r/P_u lớn hơn 1 nhưng không vượt quá 1.05 nhằm đảm bảo mức độ dư thừa không quá 5% như đã trình bày ở trên. Theo đó, các mặt cắt 140×7.1 mm, 160×6.0 mm, và 180×5.0 mm là phù hợp cho các thanh kéo, và hai mặt cắt 150×8.8 mm và 160×8.0 mm được sử dụng cho thanh nén. Các thanh được lựa chọn thỏa mãn các điều kiện về ổn định tổng thể và ổn định cục bộ như đã trình bày ở Mục 2.



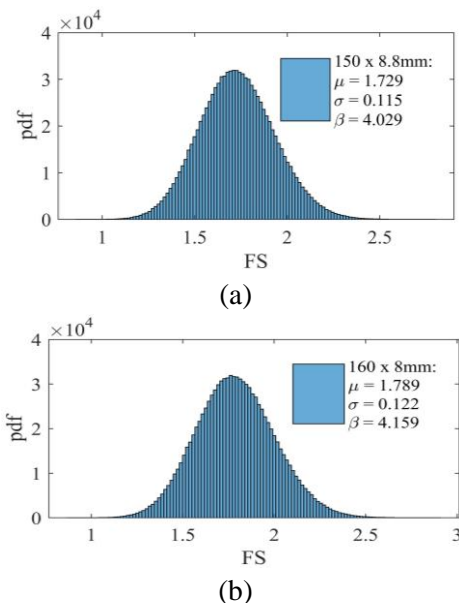
Hình 3. Kết quả thiết kế thanh nén theo LRFD.

không phụ thuộc vào cách tổ hợp mặt cắt. Kết quả tính toán chỉ số độ tin cậy được thể hiện trên Hình 4 và Hình 5 cho các phương án mặt cắt thiết kế với ứng xử kéo và nén. Kết quả thiết kế theo LRFD và kết quả phân tích độ tin cậy được tổng hợp tại Bảng 2 cho 03 phương án thiết kế thanh kéo và 02

phương án thiết kế thanh nén. Trong các Hình 4 và 5, μ , σ lần lượt là giá trị kỳ vọng và độ lệch chuẩn của hệ số an toàn đang xét (kéo, nén), β là chỉ số độ tin cậy tính theo phương trình (15) cho các ứng xử được xét, còn pdf (probability density function) thể hiện hàm mật độ xác suất.



Hình 4. Kết quả mô phỏng Monte Carlo cho thanh kéo.



Hình 5. Kết quả mô phỏng Monte Carlo cho thanh nén.

Theo kết quả trong Bảng 2, chỉ số độ tin cậy cho thanh kéo được xác định từ 3.566 đến 3.823, chỉ số độ tin cậy cho thanh nén từ 4.029 đến 4.159. Có thể thấy rằng, kết quả tính toán theo xác suất khá tương đồng cho từng ứng xử của thanh dầm (kéo hay nén). Tuy nhiên, dễ thấy kết quả tính toán chỉ số độ tin cậy cho các thanh kéo là nhỏ hơn so với các phương án thanh nén, mặc dù, các thanh đều được thiết kế ở trạng thái giới hạn (thể hiện bằng tỷ số P_r/P_u). Ngoài ra, nội lực lớn nhất trong các thanh kéo và thanh nén là như nhau (1,080 kN), nhưng mặt cắt tính toán theo LRFD cho các thanh nén lớn hơn so với các thanh kéo.

Bảng 2. Kết quả tính toán theo LRFD và tính toán xác suất.

Ứng xử	Mặt cắt (mm)	P_r/P_u	Trọng lượng (kg/m)	β
Kéo	140 x 7.1	1.05	36.01	3.823
Kéo	160 x 6.0	1.05	36.03	3.823
Kéo	180 x 5.0	1.00	34.36	3.565
Nén	150 x 8.8	1.02	47.04	4.029
Nén	160 x 8.0	1.05	46.44	4.159

Chỉ số độ tin cậy mục tiêu quy định trong AISC 360-16 là 3.0 cho trạng thái giới hạn cường độ. Do đó, kết quả trong Bảng 2 cho thấy rằng các thanh dầm thiết kế theo LRFD đều vượt qua chỉ số mục tiêu này. Tuy nhiên, mức độ dư thừa là tương đối lớn khi xét theo quan điểm xác suất, đặc biệt với các thanh nén. Vì vậy, có thể kết luận rằng sử dụng các hệ số sức kháng trong AISC 360-16 dẫn đến kết quả thiên về an toàn.

6. Kết luận

Nghiên cứu này nhằm đánh giá mức độ an toàn xác suất của kết cấu dầm được thiết kế theo tiêu chuẩn AISC 360-16. Trước hết, trình tự tính toán theo AISC 360-16 và nội dung phương pháp mô phỏng Monte Carlo được trình bày. Sau đó, một kết cấu dầm phẳng được thiết kế để thỏa mãn trạng thái giới hạn cường độ như quy định của AISC 360-16. Kết quả thiết kế cho

thấy 03 mặt cắt phù hợp với các thanh chịu kéo và 02 mặt cắt phù hợp với thanh chịu nén. Mức độ an toàn xác suất của các phương án thiết kế này được đánh giá thông qua mô phỏng Monte Carlo. Một số kết luận được rút ra từ kết quả nghiên cứu như dưới đây:

Chỉ số độ tin cậy khá tương đồng cho các ứng xử kéo hoặc nén khi các thanh dàn được thiết kế tại trạng thái giới hạn. Các chỉ số độ tin cậy tính được lớn hơn đáng kể so với chỉ số độ tin cậy mục tiêu được quy định trong AISC 360-16. Kết quả này hàm ý rằng AISC 360-16 đang quy định các hệ số sức kháng thiên về an toàn cho kết cấu dàn được xét.

Kết quả thiết kế theo AISC 360-16 cho thấy các thanh chịu nén cần tiết diện lớn hơn so với các thanh chịu kéo, mặc dù, giá trị nội lực (lực kéo, nén) trong các thanh dàn là như nhau. Kết quả phân tích xác suất cho thấy chỉ số độ tin cậy của các thanh kéo là nhỏ hơn so với các thanh nén. Điều này hàm ý rằng AISC 360-16 chưa đạt được mục tiêu đồng đều về an toàn xác suất cho kết cấu dàn được xem xét. Nói khác đi, hệ số sức kháng cho thanh nén đang được quy định thiên về an toàn hơn so với thanh kéo.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam thông qua đề tài mã số DT23-24.81.

Tài liệu tham khảo

- [1] T. M. Allen, A. S. Nowak, and R. J. Bathurst, "Calibration to Determine Load and Resistance Factors for Geotechnical and Structural Design," *Transp. Res. Board*, WA, D.C., USA, Sep. 2005. doi: 10.17226/21978.
- [2] A. S. Nowak and K. R. Collins, *Reliability of structures*, 2nd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2012.
- [3] *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. ASCE/SEI 7-16, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, USA, 2017.
- [4] *Specification for Structural Steel Buildings* AISC 360-16, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, USA, Jul. 2016.
- [5] *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, ACI 318-19, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA, Jun. 2019.
- [6] *LRFD Bridge Design Specifications*, 8th ed, AASHTO, WA, D.C., USA, 2017.
- [7] Đ. Đ. Kiến, *Thiết kế kết cấu thép theo quy phạm Hoa Kỳ AISC 360-10*, tái bản lần 2, HN, VN: NXB Xây dựng, 2020.
- [8] H. B. Blum, "Reliability-based design of truss structures by advanced analysis," Univ. of Sydney, Sydney, Australia, Res. Rep. R936, May 2013.
- [9] N. S. Doan, "A study on the probabilistic safety assessment of the truss structure designed by the LRFD code," *J. Sci. Technol. Civ. Eng. - HUCE*, vol. 17, no. 1, pp. 111–124, Mar. 2023, doi: 10.31814/stce.nuce2023-17(1)-09.
- [10] Đ. N. Sơn, N. P. Anh, P. T. Ly, "Phân tích độ nhạy của các biến ngẫu nhiên đến độ võng kết cấu dàn," *TC KHCN HH*, số 72, tr.80-84, 11. 2022.
- [11] Đ. N. Sơn, "Phân tích đánh giá an toàn kết cấu dàn phẳng theo lý thuyết độ tin cậy," đề tài KHCN cấp trường, trường Đại học Hàng hải Việt Nam, DT22-23.73, 7. 2023.
- [12] 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, Feb. 2021, Art. no. 1730, doi: 10.3390/su13041730.
- [13] N. S. Doan, "Reliability analysis and uncertainty quantification of clay and sand slopes stability evaluated by Fellenius and Bishop's simplified methods," *Int. J. Geo-Engineering*, vol. 14, 2023 Art. no. 22, doi: 10.1186/s40703-023-00200-2.

- [14] N. S. Doan, P. Van Dang, J. Huh, V. H. Mac, and A. Haldar, “Efficient approach for calibration of load and resistance factors in the limit state design of a breakwater foundation,” *Ocean Eng.*, vol. 251, May 2022, Art. no. 111170 doi: 10.1016/j.oceaneng.2022.111170.
- [15] SSAB, *Structural Hollow Section, Dimensions and Cross-Sectional Properties*, Stockholm, Sweden 2019. [Online]. Available: <https://www.calameo.com/read/000214229a0dee1fcc975>.