

XÁC ĐỊNH HỆ SỐ ĐỘ TIN CẬY VỀ TẢI TRỌNG GIÓ TRONG TCVN 2737:2023 DETERMINATION OF RELIABILITY FACTOR FOR WIND LOADS IN TCVN 2737:2023

VŨ THÀNH TRUNG^{a,*}, ĐỖ VĂN MẠNH^a, NGUYỄN NGỌC HUY^a, TRƯƠNG QUANG VINH^b

^aViện Khoa học công nghệ xây dựng

^bTrường Đại học Phòng cháy chữa cháy

*Tác giả đại diện: Email: vuthanhtrung1975@gmail.com

Ngày nhận 03/03/2025, Ngày sửa 28/03/2025, Chấp nhận 30/03/2025

<https://doi.org/10.59382/ij-ibst.2025.vi.vol1-9>

Tóm tắt: TCVN 2737:2023 là tiêu chuẩn quan trọng trong hệ thống tiêu chuẩn thiết kế kết cấu xây dựng của Việt Nam, đóng vai trò cung cấp dữ liệu đầu vào về tải trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến chi phí xây dựng, mức độ an toàn của công trình, cũng như khả năng hội nhập với các tiêu chuẩn quốc tế. Tiêu chuẩn này được công bố vào tháng 6 năm 2023 với nhiều điểm mới so với TCVN 2737:1995, đặc biệt là việc xác định tải trọng gió. Các nội dung điều chỉnh đáng chú ý bao gồm: cập nhật phương pháp tính toán, hệ số độ tin cậy của tải trọng gió và hệ số khí động, nhằm nâng cao độ chính xác và khả năng áp dụng thực tiễn khi thiết kế kết cấu. Bài báo này tập trung phân tích cơ sở khoa học và phương pháp xác định hệ số độ tin cậy của tải trọng gió sử dụng trong TCVN 2737:2023, góp phần làm rõ vai trò của hệ số này trong thiết kế kết cấu xây dựng.

Từ khóa: Gió, hệ số độ tin cậy về tải trọng, chỉ số an toàn, xác suất.

Abstract: TCVN 2737:2023 is an important standard and input load for the design standards system of Vietnam and affects the construction costs, life safety and integration of the standards system of Vietnam with the world. The standard has been effective since June 2023 and has many new points compared to the standard TCVN 2737:1995. In particular, the wind load part has many changes in calculation method, reliability factor of wind load, pressure coefficient. This article presents the basis for determining the reliability factor of wind loads in TCVN 2737:2023.

Keywords: Wind load, reliability factor, safety index, probability

1. Đặt vấn đề

Trong hệ thống tiêu chuẩn thiết kế kết cấu xây dựng tại Việt Nam, tải trọng gió được xác định theo TCVN 2737:2023 [1], trong đó có nhiều cập nhật quan trọng so với phiên bản trước đó (TCVN

2737:1995 [2]). Đặc biệt, các nội dung liên quan đến tải trọng gió đã có những thay đổi đáng kể, bao gồm việc điều chỉnh phương pháp tính, hệ số độ tin cậy, hệ số khí động và các tham số liên quan. Hệ số độ tin cậy của tải trọng gió đóng vai trò quan trọng trong thiết kế, phản ánh mức độ an toàn yêu cầu đối với công trình. Việc lựa chọn giá trị hợp lý của hệ số này cần được cân nhắc giữa yêu cầu về độ an toàn kết cấu và các yếu tố kinh tế nhằm đảm bảo thiết kế tối ưu.

2. Thiết kế theo trạng thái giới hạn

Từ những năm 1970, cùng với sự phát triển của lý thuyết độ tin cậy kết cấu, các phương pháp xác suất đã được áp dụng rộng rãi trong thiết kế kết cấu, đặc biệt trong lĩnh vực tải trọng gió. Việc xác định tải trọng gió chỉ là một khía cạnh trong thiết kế kết cấu tổng thể, bên cạnh việc đánh giá các tải trọng khác cũng như khả năng chịu lực của kết cấu. Quá trình thiết kế cần đảm bảo rằng kết cấu có xác suất hư hỏng rất thấp, tương ứng với trạng thái giới hạn cực hạn (trạng thái giới hạn thứ nhất) (Ultimate Limit State - ULS), đồng thời vẫn đáp ứng các yêu cầu về điều kiện sử dụng, bao gồm: gia tốc, độ võng và chuyển vị..., được định nghĩa trong trạng thái giới hạn sử dụng (trạng thái giới hạn thứ hai) (Serviceability Limit State - SLS). Việc áp dụng phương pháp xác suất trong tính toán tải trọng gió không chỉ nâng cao tính an toàn mà còn tối ưu hóa thiết kế, giúp cân bằng giữa độ tin cậy kết cấu và hiệu quả kinh tế.

Thiết kế theo trạng thái giới hạn là một phương pháp tiếp cận hợp lý trong thiết kế kết cấu, dựa trên việc đánh giá khả năng chịu lực và điều kiện sử dụng của công trình theo các trạng thái giới hạn cụ thể. Phương pháp này đã được nghiên cứu và áp dụng rộng rãi, dần trở thành phương pháp thiết kế phổ biến trên thế giới nhờ tính khoa học và hiệu quả trong việc đảm bảo an toàn kết cấu, cũng như đáp ứng yêu cầu về kinh tế. Phương pháp thiết kế theo trạng thái giới hạn đưa ra cách tiếp cận với hai trạng

thái giới hạn chính: trạng thái giới hạn cực hạn (trạng thái giới hạn thứ nhất) và trạng thái giới hạn sử dụng (trạng thái giới hạn thứ hai). Phương pháp này nâng cao mức độ an toàn kết cấu thông qua việc áp dụng các hệ số độ tin cậy, bao gồm hệ số độ tin cậy về tải trọng (γ) cho từng loại tải trọng và hệ số độ tin cậy về độ bền (φ) cho vật liệu, kết cấu. Mặc dù phương pháp thiết kế theo trạng thái giới hạn không phải là một mô hình xác suất, nhưng các hệ số độ tin cậy được xác định dựa trên phân tích xác suất nhằm đảm bảo mức độ an toàn phù hợp với các yêu cầu thiết kế công trình.

Mối quan hệ giữa khả năng chịu lực (độ bền) và hệ quả của tải trọng cho trạng thái giới hạn được xác định theo phương trình sau:

$$\varphi R \geq \gamma_{f,G} G + \gamma_{f,Q} \psi_Q Q + \gamma_{f,W} \psi_W W \quad (1)$$

trong đó:

φ là hệ số độ tin cậy về khả năng chịu lực (độ bền) của kết cấu;

R là khả năng chịu lực (độ bền) của kết cấu;

$\gamma_{f,G}$ là hệ số độ tin cậy của tải trọng thường xuyên;

G là hệ quả của tải trọng thường xuyên;

$\gamma_{f,Q}$ là hệ số độ tin cậy của tải trọng tạm thời;

ψ_Q là hệ số tổ hợp của tải trọng tạm thời;

Q là hệ quả của tải trọng tạm thời;

$\gamma_{f,W}$ là hệ số độ tin cậy của tải trọng gió;

ψ_W là hệ số tổ hợp của tải trọng gió;

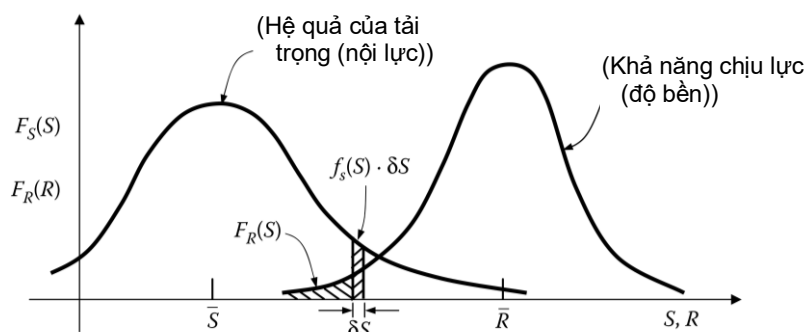
W là hệ quả của tải trọng gió.

Trong phương trình (1), các hệ số $\varphi, \gamma_{f,G}, \gamma_{f,Q}$ và $\gamma_{f,W}$ được điều chỉnh riêng biệt để phản ánh sự thay đổi và mức độ bất định tương ứng với khả năng chịu lực (độ bền), tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời và tải trọng gió. Các giá trị được sử dụng cũng phụ thuộc vào giá trị danh nghĩa được chọn. Thông thường, việc hiệu chỉnh cuối cùng trong phương pháp thiết kế được xác định dựa trên chỉ số an toàn (safety index) hoặc chỉ số độ tin cậy (reliability index), nhằm đảm bảo mức độ an toàn và độ tin cậy mong muốn của kết cấu.

2.1 Xác suất phá hủy và chỉ số an toàn

Chỉ số an toàn hoặc chỉ số độ tin cậy là thước đo định lượng về mức độ an toàn của kết cấu, được sử dụng trong các tiêu chuẩn thiết kế trên thế giới để hiệu chỉnh và cải tiến các phương pháp thiết kế hiện tại cũng như định hướng cho các phương pháp thiết kế trong tương lai. Các chỉ số này có mối quan hệ một-một với xác suất hư hỏng của kết cấu, được xác định dựa trên khả năng hệ quả của tải trọng tác dụng vượt quá khả năng chịu lực (độ bền) thiết kế, nhưng không bao gồm các hư hỏng do lỗi của con người hoặc các nguyên nhân sự cố khác.

Quá trình thiết kế kết cấu có thể được thể hiện ở dạng tổng quát như trong Hình 1. Quá trình này liên quan đến việc so sánh giữa hệ quả của tải trọng hay nội lực (S) với khả năng chịu lực (độ bền) tương ứng của kết cấu (R). Khi xét đến các trạng thái giới hạn cực hạn hoặc sự sụp đổ của kết cấu, S có thể là lực dọc trục, mô men uốn hoặc ứng suất trong các bộ phận kết cấu. Đối với trạng thái giới hạn sử dụng, S và R có thể là độ võng, chuyển vị, gia tốc hoặc bề rộng vết nứt.



Hình 1. Mật độ xác suất của hệ quả tải trọng (nội lực) S và khả năng chịu lực (độ bền) R

Các hàm mật độ xác suất $f_S(S)$ và $f_R(R)$ tương ứng với hệ quả của tải trọng (nội lực) S và khả năng chịu lực (độ bền) R (cả hai đại lượng được biểu diễn

dưới cùng một đơn vị) được thể hiện trên Hình 1. $F_R(R)$ là phân bố xác suất tích lũy của R . Độ phân tán hay "chiều rộng" của các phân bố xác suất của S

và R phản ánh mức độ không chắc chắn của các đại lượng này.

Sự hư hỏng (hoặc không thể sử dụng được) của kết cấu xảy ra khi khả năng chịu lực (độ bền) của kết cấu nhỏ hơn hệ quả của tải trọng. Khi giả thiết rằng S và R là hai biến độc lập về mặt thống kê, xác suất phá hủy của kết cấu có thể được xác định theo phương trình sau:

$$[p_f(S)\delta S] = [f_S(S)\delta S] \times F_R(S) \quad (2)$$

trong đó:

$[p_f(S)\delta S]$ là xác suất phá hủy xảy ra khả năng hệ quả của tải trọng (nội lực) nằm trong khoảng giữa S và $(S + \delta S)$;

$[f_S(S)\delta S]$ là xác suất xảy ra khả năng hệ quả của tải trọng (nội lực) nằm trong khoảng giữa S và $(S + \delta S)$;

$$p_f = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^S f_S(S) \cdot F_R(R) \cdot dR \cdot dS = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^S f(S, R) \cdot dR \cdot dS \quad (5)$$

trong đó:

$f(S, R)$ là mật độ xác suất chung của S và R .

Các giá trị xác suất phá hủy được tính toán từ phương trình (5) thường rất nhỏ, khoảng từ 1×10^{-2} đến 1×10^{-5} .

Chỉ số an toàn (chỉ số độ tin cậy) được xác định theo phương trình (6) và thường trong khoảng từ 2 đến 5.

$F_R(S)$ là xác suất xảy ra khả năng chịu lực (độ bền) R nhỏ hơn hệ quả của tải trọng (nội lực) S và được xác định theo phương trình sau:

$$F_R(S) = \int_{-\infty}^S f_R(R) dR \quad (3)$$

$[f_S(S)\delta S]$ và $F_R(S)$ trong phương trình (2) là diện tích các phần gạch chéo tương ứng biểu thị trong Hình 1.

Tổng xác suất phá hủy được xác định bằng tổng hoặc tích phân phương trình (2) trên tất cả các giá trị có thể có của S (giữa $-\infty$ và $+\infty$), cụ thể được xác định theo phương trình sau:

$$p_f = \int_{-\infty}^{\infty} f_S(S) \cdot F_R(S) dS \quad (4)$$

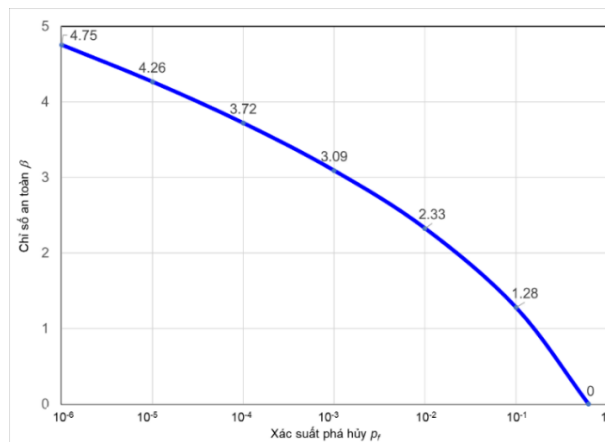
Thay thế $F_R(S)$ từ phương trình (3) vào phương trình (4), ta có:

$$\beta = -\Phi^{-1}(p_f) \quad (6)$$

trong đó:

$\Phi^{-1}()$ là phân bố xác suất tích lũy nghịch đảo của một phân bố chuẩn đơn vị (phân bố Gaussian), với một biến chuẩn có giá trị trung bình bằng 0 và độ lệch chuẩn bằng 1.

Hình 2 thể hiện mối quan hệ giữa chỉ số an toàn β và xác suất phá hủy p_f theo phương trình (6).



Hình 2. Quan hệ giữa chỉ số an toàn β và xác suất phá hủy p_f

Các phương trình (5) và (6) có thể được đánh giá chính xác khi giả định rằng S và R tuân theo phân bố xác suất Gaussian (phân bố chuẩn) hoặc phân bố

loga chuẩn. Tuy nhiên, trong các trường hợp khác, đặc biệt là khi xét đến tải trọng gió, cần sử dụng phương pháp số trong tính toán. Ngoài ra, các

phương pháp số cũng được sử dụng khi S và R không phải là các biến ngẫu nhiên đơn lẻ mà là sự kết hợp (tổng hoặc tích) của nhiều biến ngẫu nhiên riêng biệt, mỗi biến có đặc trưng xác suất khác nhau.

Các nghiên cứu chi tiết về lý thuyết và ứng dụng thực tiễn của vấn đề này có thể xem trong các tài liệu [3-5].

2.2 Chu kỳ lặp

Chu kỳ lặp R_t được xác định theo phương trình sau:

$$R_t = \frac{1}{\text{Xác suất vượt}} = \frac{1}{1 - F_V(V)} \quad (7)$$

trong đó:

$F_V(V)$ là hàm phân phối xác suất tích lũy của vận tốc gió V .

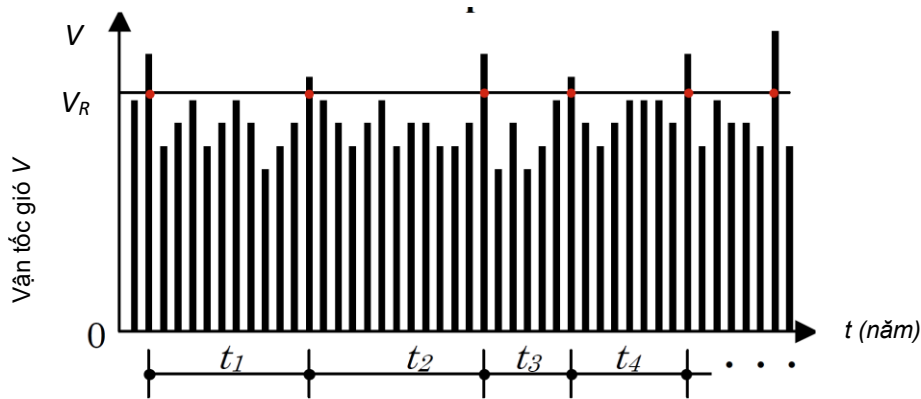
Chu kỳ lặp R_t cũng có thể được xác định theo phương trình sau:

$$R_t = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \quad (8)$$

trong đó: N là tổng số khoảng thời gian mà vận tốc gió vượt quá một giá trị vận tốc gió xác định;

t_i là khoảng thời gian thứ i giữa các lần vận tốc gió vượt quá một giá trị vận tốc gió xác định (xem minh họa trong Hình 3).

Do đó, chu kỳ lặp R_t thực chất là thời gian trung bình giữa các lần kết cấu bị phá hoại do vận tốc gió vượt quá giá trị vận tốc gió xác định (vận tốc gió thiết kế). Đại lượng này tương ứng với khái niệm Mean Time Between Failure (MTBF), được sử dụng để đánh giá tần suất hư hỏng của kết cấu dưới tác động của tải trọng gió.



Hình 3. Quan hệ giữa chỉ số an toàn β và xác suất phá hủy p_f

Chu kỳ lặp của vận tốc gió thiết kế danh định có sự khác biệt giữa các tiêu chuẩn về tải trọng gió trên thế giới, với lựa chọn phổ biến nhất là 50 năm. Cần phân biệt rõ giữa chu kỳ lặp R_t và thời hạn sử dụng theo thiết kế của kết cấu (L). Chu kỳ lặp là một cách biểu diễn xác suất rủi ro vượt quá hàng năm. Cụ thể, một vận tốc gió có chu kỳ lặp 50 năm đồng nghĩa với việc vận tốc này có xác suất vượt quá 0,02 (1/50) mỗi năm. Tuy nhiên, xác suất r để vận tốc gió vượt quá giá trị thiết kế trong toàn bộ thời gian tồn tại của kết cấu có thể được xác định bằng cách giả định rằng mỗi năm là độc lập về mặt thống kê. Xác suất này được tính theo phương trình sau [1]:

$$r = 1 - \left[1 - \left(\frac{1}{R_t} \right) \right]^L \quad (9)$$

Với R_t và L bằng 50 năm, theo phương trình (9), giá trị r là 0,636. Điều này cho thấy có gần 64% khả năng vận tốc gió có chu kỳ lặp R_t bằng 50 năm sẽ bị vượt quá ít nhất một lần trong suốt thời hạn sử dụng theo thiết kế của kết cấu (L bằng 50 năm). Do đó, tải trọng gió với mức rủi ro này cần được xem xét khi thiết kế theo trạng thái giới hạn cực hạn (trạng thái giới hạn thứ nhất) để đảm bảo độ an toàn kết cấu. Hệ số độ tin cậy của tải trọng gió $\gamma_{f,W}$ là hệ số kể đến các sai lệch bất lợi có thể có của tải trọng gió, thông thường hệ số này nằm trong khoảng từ 1,4 đến 1,6 [6, 7, 8, 9, 10].

Ngoài ra, việc sử dụng chu kỳ lặp của vận tốc gió thiết kế danh nghĩa cao hơn đáng kể so với 50 năm

có thể giúp giảm sự cần thiết phải áp dụng các hệ số tải trọng gió khác nhau cho từng khu vực

2.3 Hệ số độ tin cậy của tải trọng gió

Trong phần trước, hệ số độ tin cậy của tải trọng gió $\gamma_{f,w}$ thường nằm trong khoảng từ 1,4 đến 1,6, tương ứng với vận tốc gió có chu kỳ lặp R_t bằng 50 năm.

Hệ số độ tin cậy của tải trọng gió được xác định dựa trên hai giả thiết chính [11]:

(1) Tải trọng gió tỷ lệ với bình phương vận tốc gió. Giả thiết này phù hợp với các kết cấu có tần số dao động riêng cao, chẳng hạn như công trình thấp. Tuy nhiên, đối với các công trình cao, giả thiết này là không còn phù hợp do ảnh hưởng của hiệu ứng cộng hưởng, dẫn đến tải trọng gió hiệu dụng thay đổi với năng lượng cao hơn của vận tốc gió. Cụ thể, năng lượng này có thể tăng lên đến 2,5 lần đối với phản ứng dọc luồng gió và lên đến 3 lần đối với phản ứng ngang luồng gió.

(2) Hệ số độ tin cậy của tải trọng gió được xác định từ tải trọng gió các vùng không bị ảnh hưởng của bão. Còn đối với các vùng bị ảnh hưởng của bão thì chu kỳ lặp R_t của vận tốc gió thường tương đối thấp.

Đối với các kết cấu có phản ứng động đáng kể với gió, chẳng hạn như nhà cao tầng, tải trọng gió và các hiệu ứng thay đổi theo vận tốc gió được tăng lên cấp số mũ lớn hơn 2. Tuy nhiên, mức độ an toàn gần như không đổi (không nhạy cảm với các hiệu ứng của phản ứng động) do sử dụng vận tốc gió thiết kế có chu kỳ lặp cao hơn với hệ số độ tin cậy của tải trọng gió bằng 1,0.

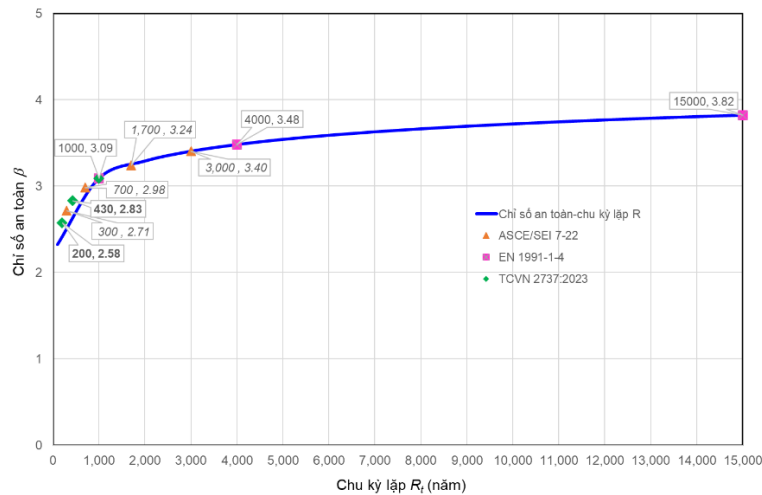
Ngoài ra, hệ số độ tin cậy của tải trọng gió cần được nâng cao hơn tại các vùng bị ảnh hưởng bởi bão.

Tùy thuộc vào tiêu chuẩn thiết kế và các vùng gió khác nhau, hệ số độ tin cậy của tải trọng gió được xác định trong khoảng từ 1,4 đến 1,6 (tương ứng với vận tốc gió có chu kỳ lặp R_t bằng 50 năm) có thể tương đương với chu kỳ lặp R_t từ 500 năm đến 1000 năm [12].

Bảng 1. Chỉ số an toàn theo các tiêu chuẩn khác nhau

Tiêu chuẩn	Cấp rủi ro/ Cấp hậu quả	Chỉ số an toàn hàng năm, β_1	Xác suất phá hủy hàng năm, $p_{f,1}$	Chu kỳ lặp, R_t (năm)	Xác suất phá hủy (tương ứng với $L = 50$ năm), $p_{f,50}$	Chỉ số an toàn (tương ứng với $L = 50$ năm), β_{50}
ASCE/SEI 7-22	Cấp rủi ro I	2,71	$3,33 \cdot 10^{-3}$	300	$1,54 \cdot 10^{-1}$	1,02
	Cấp rủi ro II	3	$1,43 \cdot 10^{-3}$	700	$6,9 \cdot 10^{-2}$	1,48
	Cấp rủi ro III	3,25	$5,88 \cdot 10^{-4}$	1700	$2,9 \cdot 10^{-2}$	1,90
	Cấp rủi ro IV	3,4	$3,33 \cdot 10^{-4}$	3000	$1,65 \cdot 10^{-2}$	2,13
BS EN 1991-1-4:2005	CC1	3,09	$1 \cdot 10^{-3}$	1000	$2,37 \cdot 10^{-1}$	1,98
	CC2	3,49	$2,44 \cdot 10^{-4}$	4100	$3,59 \cdot 10^{-2}$	2,69
	CC3	3,84	$6,25 \cdot 10^{-5}$	16000	$4,3 \cdot 10^{-2}$	3,33
TCVN 2737:2023	C1	2,58	$5 \cdot 10^{-3}$	200	$2,22 \cdot 10^{-1}$	0,77
	C2	2,83	$2,33 \cdot 10^{-3}$	430	$1,1 \cdot 10^{-1}$	1,23
	C3	3,09	$1 \cdot 10^{-3}$	1000	$1,66 \cdot 10^{-2}$	1,66

Từ Bảng 1 và Hình 4, cho thấy chỉ số an toàn β và chu kỳ lặp R_t của TCVN 2737:2023 nhỏ hơn so với ASCE/SEI 7-22 và BS EN 1991-1-4:2005.



Hình 4. Chỉ số an toàn β và chu kỳ lặp R_t theo các tiêu chuẩn khác nhau

Tại mục 10.1.6 của TCVN 2737:2023, hệ số độ tin cậy về tải trọng gió $\gamma_{f,W}$ được lấy bằng 2,1 (áp lực gió 3 s ứng với chu kỳ lặp R_t bằng 10 năm).

Hệ số này dùng để chuyển đổi $W_{3s,10}$ (áp lực gió 3 s ứng với chu kỳ lặp R_t bằng 10 năm) về $W_{3s,430}$ (áp lực gió 3 s ứng với chu kỳ lặp R_t bằng 430 năm) và được xác định theo phương trình sau:

$$\gamma_{f,W} = \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3 \quad (10)$$

trong đó:

γ_1 là hệ số chuyển đổi $W_{3s,10}$ (áp lực gió 3 s ứng với chu kỳ lặp R_t bằng 10 năm) về $W_{3s,20}$ (áp lực gió 3 s ứng với chu kỳ lặp R_t bằng 20 năm), $\gamma_1 = \frac{1}{0,852}$ (theo Bảng 5.2 của [13]);

γ_2 là hệ số chuyển đổi $W_{3s,20}$ (áp lực gió 3 s ứng với chu kỳ lặp R_t bằng 20 năm) về $W_{3s,50}$ (áp lực gió 3 s ứng với chu kỳ lặp R_t bằng 50 năm), $\gamma_2 = 1,2$ (theo Bảng 5.2 của [13]);

γ_3 là hệ số chuyển đổi $W_{3s,50}$ (áp lực gió 3 s ứng với chu kỳ lặp R_t bằng 50 năm) về $W_{3s,430}$ (áp lực gió 3 s ứng với chu kỳ lặp R_t bằng 430 năm), $\gamma_3 = 1,5$ (cũng tương ứng với các tiêu chuẩn khác trên thế giới, hệ số này thường chọn từ 1,4 đến 1,6).

Thay các giá trị trên vào phương trình (10), ta có

$$\gamma_{f,W} = \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3 = \frac{1}{0,852} \cdot 1,2 \cdot 1,5 = 2,1.$$

3. Kết luận

Bài báo này trình bày cơ sở để xác định hệ số độ tin cậy về tải trọng gió dựa trên lý thuyết độ tin cậy của kết cấu, các tài liệu nghiên cứu trong lĩnh vực gió và các tiêu chuẩn gió trên thế giới. Giá trị hệ số độ tin

cậy về tải trọng gió $\gamma_{f,W}$ trong TCVN 2737:2023 được lấy bằng 2,1 là hợp lý, phù hợp với phương pháp tính toán tải trọng gió mới, mức độ an toàn và điều kiện kinh tế của Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] TCVN 2737:2023. Tải trọng và tác động.
- [2] TCVN 2737:1995. Tải trọng và tác động – Tiêu chuẩn thiết kế.
- [3] Ang, A.H. and Tang, W. (1990). *Probability Concepts in Engineering Planning and Design*. Vol. II. Decision, Risk and Reliability.
- [4] Blockley, D. (1980). *The Nature of Structural Design and Safety*. Ellis Horwood, Chichester, England, UK.
- [5] Melchers, R. (1987). *Structural Reliability – Analysis and Prediction*. Ellis Horwood, Chichester, England, UK.
- [6] ASCE/SEI 7-22. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures.
- [7] Architectural Institute of Japan (AIJ). (2015). *Recommendation for Loads on Buildings*.
- [8] AS/NZS 1170.2:2021. Australian/New Zealand Standard, Structural design actions - Part 2: Wind actions.
- [9] BS EN 1991-1-4:2005. Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions.
- [10] GB 50009-2012. China National Standard, Load code for the design of building structures.
- [11] Holmes, J.D. (2015). *Wind Loading of Structures – 3rd Edition*. CRC Press.
- [12] Boggs and Dragovich. (2008). *The Nature of Wind Loads & Dynamic Responses*.
- [13] QCVN 02:2022/BXD, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về Số liệu điều kiện tự nhiên dùng trong xây dựng.