

BI-MÔ MEN VÀ VẤN ĐỀ XẤP XỈ BI-MÔ MEN TRONG TCVN 5575:2024

Trương Quốc Khang¹, Lê Trọng Nhân²

¹Trường Đại học Xây dựng Miền Tây

²238 Lò Siêu, phường Bảy Hiền, TP. Hồ Chí Minh

Email: ¹truongquockhang@mtu.edu.vn, 0907028028; ²dafs.nhanle@hotmail.com, 0358577300

DOI: <https://doi.org/10.59382/hnkh17-ibst.2025.ses2-23>

TÓM TẮT: Bài viết trình bày lý thuyết tính toán theo phương pháp xấp xỉ giá trị bi-mô men do hiệu ứng vênh thông qua giải tích và mô phỏng. Dùng các phần mềm có tính toán đến bi-mô men như Consteel, nTCVN (được tác giả phát triển) để áp dụng cho các ví dụ cụ thể cho dầm công son chịu mô men xoắn. Các kết quả tính toán cho thấy việc kể đến bi-mô men vào thiết kế sẽ giúp đánh giá được toàn diện hơn về khả năng chịu lực của kết cấu, cũng như đánh giá được gần với tình trạng làm việc thực tế của kết cấu khi thiết kế, giúp cho công trình an toàn hơn.

TỪ KHÓA: Bi-mô men; xấp xỉ bi-mô men; kết cấu thép; TCVN 5575:2024; phần mềm phân tích 7 bậc tự do.

ABSTRACT: This paper presents a theoretical approach for calculating the bimoment value from warping effects, using both analytical and simulation methods. Software that calculates bi-moment like Consteel, nTCVN (developed by the author) are used for specific examples on cantilever beams subjected to torsional moments. The results indicate that incorporating the bimoment effect into structural design enhances the overall assessment of load-bearing capacity and provides a more realistic representation of structural behavior, thereby improving safety and reliability in engineering practice.

KEYWORDS: Bimoment; bimoment approximation; steel structures; TCVN 5575:2024; 7 degrees of freedom analysis software.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) 5575:2024 - Thiết kế kết cấu thép ra đời với nhiều cải tiến đáng kể so với tiêu chuẩn trước đây. Trong đó có nhiều lý thuyết mới được cập nhật theo xu thế kết cấu hiện tại trên thế giới, đặc biệt là ảnh hưởng của đại lượng bi-mô men đã được kể đến trong tiêu chuẩn.

Hiện tại đa số các phần mềm phân tích kết cấu trên thị trường đang lưu hành đều sử dụng lý thuyết 6 bậc tự do (bao gồm 3 chuyển vị tịnh tiến, và 3 chuyển vị xoay). Nhưng để đáp ứng được thiết kế kết cấu thép theo TCVN 5575:2024 thì cần một đại lượng là bi-mô men, một đại lượng ở bậc tự do thứ bảy phát sinh trong hiện tượng xoắn có xét đến hiệu ứng vênh (warping). Để đáp ứng được yêu cầu đó, cần phải tìm được giá trị này thông qua các phương pháp hiện có.

Trong bài báo này, sẽ trình bày về lý thuyết bi-mô men, ảnh hưởng của đại lượng này trong kết quả thiết kế kết cấu thép, đi kèm qua phương pháp giải tích để xấp xỉ ra giá trị bi-mô men, đồng thời tìm ra ưu và nhược điểm của phương pháp này.

Qua đó giới thiệu phần mềm nTCVN (được tác giả phát triển tại Việt Nam), phần mềm thiết kế chuyên dụng dành cho công tác thiết kế kết cấu thép, đã được phát triển để cập nhật các lý thuyết mới phù hợp với theo TCVN 5575:2024.

2. BI-MÔ MEN

2.1. Lý thuyết về tính toán bi-mô men

Bi-mô men là đại lượng nội lực thứ 7 (được tính toán từ biến dạng vênh ω của cấu kiện khi chịu mô men xoắn), ngoài 6 đại lượng nội lực mà chúng ta đã biết trước đó bao gồm 3 chuyển vị tịnh tiến và 3 chuyển vị xoay (thường được gọi là uốn trong mặt phẳng, uốn ngoài mặt phẳng và xoắn). Để tính được bi-mô men, trước tiên chúng ta xem xét phương trình năng lượng do Vlasov [1] đã đề xuất:

$$\theta^{(4)} - \psi^2 \theta^{(2)} = 0 \quad (1)$$

Trong đó:

θ : Phương trình góc xoắn (rad);

ψ : Hằng số phụ thuộc vào độ vênh, được tính theo công thức:

$$\psi = \sqrt{\frac{0.5J}{(1+\nu)C_w}} \quad (2)$$

Trong đó:

ν : Hệ số Poisson;

J : Hằng số xoắn;

C_w : Hằng số vênh.

Giải phương trình vi phân trên, thu được đại lượng bi-mô men và mô men xoắn theo công thức bên dưới:

$$B = -GJ(C_3 e^{\psi z} + C_4 e^{-\psi z}) \quad (3)$$

$$T(z) = GJC_2 \quad (4)$$

Trong đó:

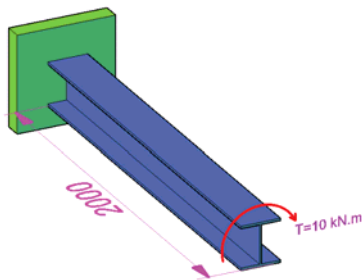
C_2, C_3, C_4 : Hệ số phụ thuộc vào điều kiện biên;

G : Mô đun trượt có công thức $G = E / (2(1+\nu))$.

2.2. Ví dụ tính toán

Một thanh công son (cantilever) chịu một mô men xoắn tại đầu tự do với giá trị $T = 10 \text{ kN.m}$ (có chiều tác dụng như hình dưới), đầu tự do không ngăn cản vênh, các thông số hình học của thanh công son như (Hình 1) như sau: chiều dài: $L = 2 \text{ m}$; tiết diện: H $200 \times 200 \times 10 \times 12$ (Chiều cao lọt lòng bụng: 200 mm, bề rộng cánh: 200 mm, chiều dày bụng: 10 mm, chiều dày cánh: 12 mm) có các đặc trưng [2] như bên dưới:

- Hằng số xoắn: $J = 301\,066.67 \text{ mm}^4$;
- Hằng số vênh: $C_w = 179\,776\,000\,000 \text{ mm}^6$;
- Vật liệu: Thép, có mô đun đàn hồi $E = 200 \text{ GPa}$, hệ số Poisson lấy bằng 0.3.

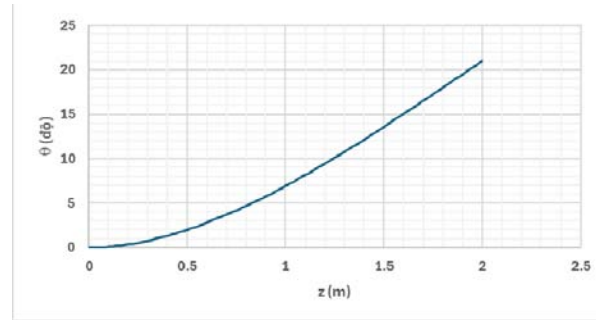


Hình 1: Thanh thép công son chịu mô men xoắn tại đầu tự do

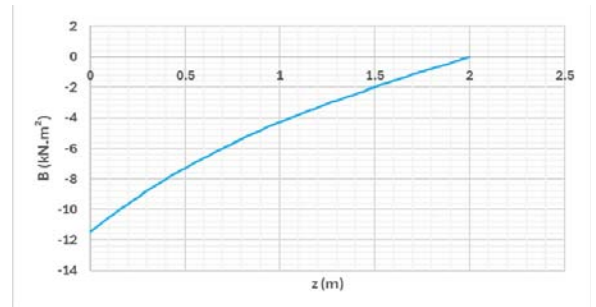
2.2.1. Tính toán bằng công thức giải tích

Áp dụng phương trình (3) và (4) và các điều kiện biên cho bài toán, với đầu tự do thì mô men xoắn tại $z = L$ sẽ bằng 10 kN.m và bi-mô men tại đầu tự do này bằng 0 do không được “kiềm chế” vênh tại đây.

Kết quả về hàm góc xoắn và bi-mô men sẽ được biểu diễn ở dạng biểu đồ như (Hình 2):



a) Hàm góc xoắn θ

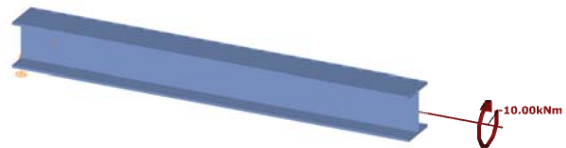


b) Bi-mô men

Hình 2: Biểu đồ hàm góc xoắn và bi-mô men

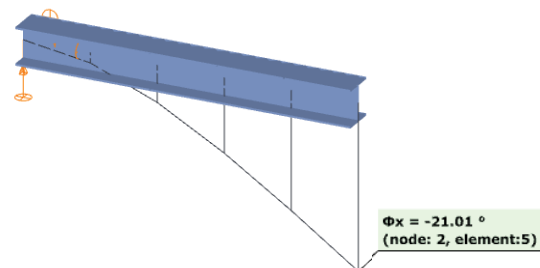
2.2.2. Mô phỏng bằng phần mềm Consteel

Dùng phần mềm Consteel [3] mô phỏng lại bài toán ví dụ trên:

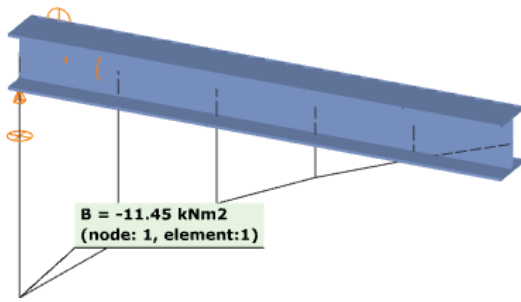


Hình 3: Thanh thép công son chịu mô men xoắn tại đầu tự do mô phỏng bằng Consteel

Kết quả tính toán:



Hình 4: Giá trị góc xoắn



Hình 5: Giá trị bi-mô men

Nhận xét: Kết quả tính toán là giống nhau về mặt giá trị giữa phương pháp số được mô phỏng bằng phần mềm Consteel và phương pháp giải tích (Tính tay).

3. ẢNH HƯỞNG CỦA BI-MÔ MEN TRONG THIẾT KẾ

3.1. Lý thuyết

Kiểm tra ứng suất tại mỗi mặt cắt sẽ có dạng: [4]

$$\frac{M_x}{I_{xn} f_{yd} \gamma_c} y + \frac{M_y}{I_{yn} f_{yd} \gamma_c} x + \frac{B}{I_{\omega n} f_{yd} \gamma_c} \omega \leq 1 \quad (5)$$

Viết lại phương trình trên:

$$\frac{M_x}{I_{xn}} y + \frac{M_y}{I_{yn}} x + \frac{B}{I_{\omega n}} \omega \leq f_{yd} \gamma_c \quad (6)$$

Trong đó:

M_x : Mô men tác dụng quay quanh trục Ox của tiết diện đang xét (Thường kí hiệu là $M3$);

M_y : Mô men tác dụng quay quanh trục Oy của tiết diện đang xét (Thường kí hiệu là $M2$);

I_{xn} : Mô men quán tính lấy đối với trục Ox ;

y : Khoảng cách từ trục trung hòa tới vị trí xa nhất của thớ chịu nén theo phương trục Oy ;

I_{yn} : Mô men quán tính lấy đối với trục Oy ;

x : Khoảng cách từ trục trung hòa tới vị trí xa nhất của thớ chịu nén theo phương trục Ox ;

ω : Đại lượng độ vênh dưới tác dụng của bi-mô men;

B : Bi-mô men;

$I_{\omega n}$: Hằng số vênh (cũng có thể kí hiệu C_w);

f_{yd} : Giới hạn chảy thiết kế;

γ_c : Hệ số làm việc của kết cấu thép.

Trở lại với bài toán trên, ta sẽ xem xét hai trường hợp:

a) Trường hợp không xem xét đại lượng vênh (bi-mô men)

Đối với hàm góc xoắn khi không xem xét đại lượng vênh (C_w) vào, thì phương trình vi phân sẽ trở thành: $GJ\theta^{(2)} = 0$.

Giải ra, ta có được hàm góc xoắn theo tọa độ z cho bài toán trên là: $\theta(z) = \frac{Tz}{GJ}$.

Nếu tại đầu tự do, ta có góc xoắn đạt tối đa sẽ là: $\theta(z=L) = \frac{Tz}{GJ} = 49.5^\circ$, và góc xoắn này có giá

trị lệch rất lớn so với khi không xem xét đến hiệu ứng vênh (-21.01°). Từ đó cho thấy được là nếu không xem xét hiệu ứng vênh trong kết cấu thép khi có xoắn sẽ dễ dẫn đến kết luận không chính xác về mặt chuyển vị.

Giá trị -21.01° và 49.5° là hai giá trị được so sánh để kết luận về sự ảnh hưởng của đại lượng bi-mô men gây ra.

b) Trường hợp có xem xét đại lượng vênh (bi-mô men)

Về mặt giá trị ứng suất: nếu xem xét phương trình (7), khi kể đến hiệu ứng bi-mô men, thì giá trị ứng suất pháp sẽ tăng lên một đại lượng $\frac{B}{I_{\omega n}} \omega$, đối

với bài toán trên, con số tính ra được là:

Tọa độ quạt:

$$\omega = \frac{b_f h_0}{4} = \frac{200 \times 212}{4} = 10600 \text{ mm}^2$$

(Với h_0 là khoảng cách giữa trọng tâm hai cánh tiết diện I)

$$\frac{B}{I_{\omega n}} \omega = \frac{11.45 (\text{kN.m}^2) \times 10600 (\text{mm}^2)}{179776 \times 10^6 (\text{mm}^6)} = 675 \text{ MPa}$$

Nhận xét: Từ đây ta thấy rằng, nếu không kể đến hiệu ứng bi-mô men, dầm đã bị vượt ứng suất cho phép rất nhiều, do đó số là thép sử dụng trong kết cấu thép sẽ có giới hạn chảy $f_y \leq 440 \text{ MPa}$.

3.2. Các phương pháp xấp xỉ bi-mô men

3.2.1. Phương pháp sử dụng phương trình giải tích

Dựa trên các quan hệ giữa mô men xoắn phân bố, hàm góc xoắn và vị trí để tìm ra giá trị bi-mô men. Và phương trình thường được dùng để lập bảng tính Excel có dạng như bên dưới :

$$B = -\frac{m}{k^2} \left(1 - \frac{\cosh[k(0.5L - z)]}{\cosh(0.5kL)} \right) \quad (7)$$

Trong đó:

m : Mô men xoắn phân bố;

$$k : \text{Hệ số } k = \sqrt{\frac{GI_t}{EI_\omega}};$$

L : Chiều dài thanh;

z : Vị trí đang xét.

Với phương pháp giải tích, sẽ có ưu và nhược điểm như sau:

a) Ưu điểm

Có công thức rõ ràng, tường minh.

Có thể áp dụng cho cấu kiện đơn chịu lực đơn giản.

b) Nhược điểm

Khi áp dụng cho công trình rất khó để xác định giá trị mô men xoắn phân bố m. Và hiện tại chưa có lý thuyết để xấp xỉ vấn đề này trừ khi chúng ta biết trước giá trị mô men xoắn phân bố trực tiếp.

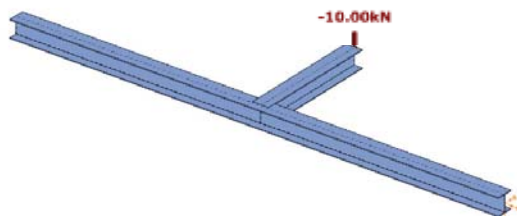
Không phù hợp cho dầm liên tục bị chia nhỏ nhiều đoạn, sẽ dẫn đến kết quả sai số đáng kể.

3.2.2. Sử dụng phần mềm nTCVN

Các phần mềm phân tích kết cấu hiện tại trên thị trường như: SAP2000, ETABS, Robot Structural đều chỉ có khả năng phân tích 6 bậc tự do (DOF), vì thế sẽ không đáp ứng được yêu cầu của TCVN hiện tại.

Do đó phần mềm nTCVN [5] ra đời nhằm giải quyết vấn đề này. Phần mềm nTCVN là phần mềm được phát triển bởi NCal Solution của Việt Nam, có khả năng xấp xỉ lại các giá trị bi-mô men dựa trên phương pháp phần tử mở rộng (Extend Methods), trong đó, bậc thứ 7 sẽ được xấp xỉ lại từ các nội lực của các phần mềm phân tích kết cấu nêu trên. Trong nội dung bài báo sẽ sử dụng phần mềm SAP2000.

3.3. Ví dụ đánh giá độ chính xác bằng phương pháp xấp xỉ bi-mô men



Hình 6: Ví dụ tính toán

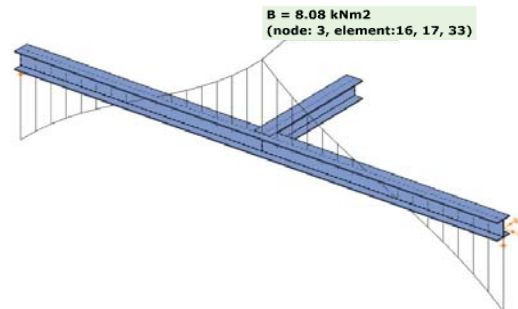
Xét một đoạn dầm dài 6m, chịu một tải tập trung $P = 10 \text{ kN}$ hướng xuống đặt cách dầm 1.5m như hình bên dưới, dầm có tiết diện $H200 \times 200 \times 10 \times 12$ (chiều cao bụng lợt lòng $H = 200 \text{ mm}$, chiều dày bụng 10 mm, bề rộng cánh 200 mm,

chiều dày cánh 12 mm), vật liệu sử dụng Q345B có mô đun đàn hồi $E = 200 \text{ GPa}$.

Ta xét hai trường hợp là dầm nối lại thành 1 thanh duy nhất và dầm được chia ra thành hai dầm riêng biệt.

3.3.2. Kết quả chạy phân tích trên phần mềm Consteel

ConSteel là phần mềm phần tử hữu hạn 7 bậc tự do, thế nên việc chia hay không chia dầm thì kết quả của hai bài toán này như nhau. Và sẽ có sự chênh lệch không đáng kể do kích thước phần tử được chia nhỏ. Kết quả như (Hình 7):



Hình 7: Giá trị bi-mô men trong phần mềm ConSteel

3.3.2. Kết quả xấp xỉ lại từ nTCVN với kết quả nội lực từ SAP2000

Từ kết quả nội lực của phần mềm SAP2000, sử dụng phần mềm nTCVN để xấp xỉ bi-mô men xét với hai trường hợp: trường hợp tính cho một thanh dầm duy nhất và trường hợp sẽ chia dầm ra thành 4 đoạn.

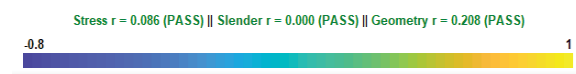
a) Trường hợp tính cho một thanh dầm duy nhất



Hình 7: Giá trị xấp xỉ bi-mô men trong phần mềm nTCVN trường hợp tính cho một thanh dầm duy nhất

Nhận xét: Xấp xỉ của nTCVN là gần bằng với Consteel với độ lệch thấp.

- Thiết kế trong trường hợp có xem xét bi-mô men:



ID	Mat	Part	Length in	Loc in	hw1 mm	hw2 mm	tw mm	th mm	th mm	th mm	th mm	LMajor in	LMMinor in	r_{in}	r_o	Check Gap	β	Stiff	Show Report...
2	GJ45	1	6.0000	0.00	216	216	10	200	12	200	12	6.000	3.000	0.043	0.014	0.147	0.000	Yes	
4	GJ45	1	1.5000	0.00	216	216	10	200	12	200	12	1.500	1.500	0.004	0.027	0.208	0.000	Yes	

Hình 8: Thiết kế trong nTCVN trường hợp có xem xét bi-mô men

- Thiết kế trong trường hợp không xem xét biomô men:

Stress $r = 1.540$ (FAIL) || Slender $r = 0.000$ (PASS) || Geometry $r = 0.208$ (PASS)



ID	Mat	Part	Length m	Loc m	hw1 mm	hw2 mm	hw mm	lft mm	rtt mm	lfb mm	rtb mm	LMajor m	LMenor m	r_{u0}	r_v	Check Gear	λ
2	G345	1	6.000	3.00	216	216	10	200	12	200	12	6.000	3.000	1.540	0.014	0.147	0.000
4	G345	1	1.5000	0.00	216	216	10	200	12	200	12	1.500	1.500	0.086	0.027	0.208	0.000

Hình 9: Thiết kế trong nTCVN trường hợp không xem xét bi-mô men

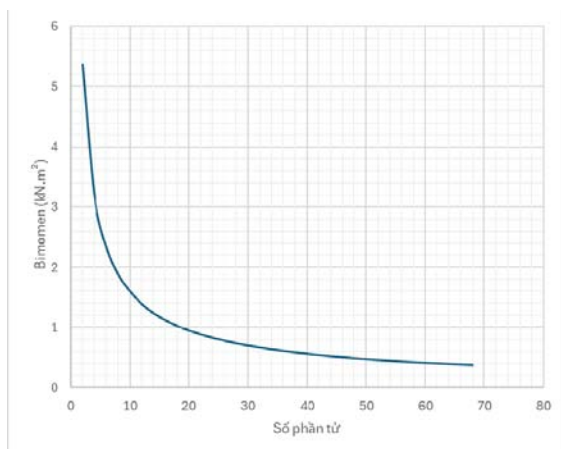
b) Trường hợp phân đoạn



Hình 10: Giá trị xấp xỉ bi-mô men trong phần mềm nTCVN trường hợp tính phân đoạn dầm

Nhận xét: nTCVN đã cho thấy được của việc xem xét bi-mô men vào thiết kế, từ đó giúp kỹ sư sẽ có một cái nhìn tổng quan hơn về thiết kế kết cấu thép theo TCVN 5575 - 2024.

3.4. Đánh giá ảnh hưởng của bi-mô men trong thiết kế TCVN 5575:2024



Hình 11: Biểu đồ quan hệ số phần tử và giá trị bi-mô men xấp xỉ

Sau khi so sánh hai biểu đồ, ta thấy rằng việc chia cầu kiện thành nhiều đoạn sẽ cho ra giá trị bi-mô men nhỏ đáng kể so với trường hợp không chia đoạn.

Cụ thể khi chia đoạn thì bi-mô men là 3.35 kN.m² nhỏ hơn 1.55 lần so với giá trị 5.2 kN.m² khi không chia đoạn. Từ đó nhận xét là nếu càng chia nhỏ ra thì kết quả xấp xỉ giá trị bi-mô men so với đáp án chính xác sẽ càng sai số nhiều (Hình 12).

4. KẾT LUẬN

Việc kể đến hiệu ứng vênh và bi-mô men vào thiết kế là sẽ giúp đánh giá được toàn diện hơn về khả năng chịu lực của kết cấu, cũng như đánh giá được gần với tình trạng làm việc thực tế của kết cấu khi thiết kế, giúp cho công trình an toàn hơn.

Phần mềm nTCVN thực hiện xấp xỉ lại giá trị bi-mô men từ nội lực trong xuất ra từ phần mềm SAP2000. Việc chia nhỏ dầm trong phần mềm SAP2000 sẽ làm kết quả tính toán xấp xỉ bi-mô men bằng phần mềm nTCVN bị sai lệch so với tính tay. Nguyên nhân là nếu chia một dầm dài thành nhiều đoạn nhỏ trong SAP2000, khi xuất sang nTCVN sẽ được tính toán xấp xỉ bi-mô men cho từng đoạn cấu kiện độc lập thay vì cả dầm. Điều này dẫn đến sự không chính xác, do đó càng chia nhỏ dầm, kết quả tính toán càng kém chính xác.

Phần mềm nTCVN cho kết quả xấp xỉ có kết quả chênh lệch thấp nhất so với lời giải chính xác khi tính tay, cũng như là so với các phần mềm trên thị trường.

Kiến nghị thời gian tới tác giả sẽ phát triển việc xấp xỉ bi-mô men cho công trình được toàn diện và chính xác hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Vlasov, V. (1961). *Thin-Walled Elastic Beams*, 2d ed. rev. and augm. Washington, D.C., and the Department of Commerce, U.S.A.: the National Science Foundation.
- [2] Ziemian, R.D. (Editor). (1998). *Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures*. New York: John Wiley & Sons, Inc..
- [3] <https://consteelsoftware.com>
- [4] Tiêu chuẩn Việt Nam (2024). *TCVN 5575:2024 - Thiết kế Kết cấu thép*.
- [5] <https://www.ncal.com.vn/nTCVN>.