

Xây dựng biểu đồ khả năng chịu lực dầm để thiết kế cấu kiện thép tạo hình nguội tiết diện C

Creating strength chart for the design of cold-formed steel structures with cee section

> **VŨ QUỐC ANH⁽¹⁾, HOÀNG ANH TOÀN⁽²⁾, NGUYỄN HẢI QUANG⁽³⁾**

⁽¹⁾Khoa Xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội; ⁽²⁾Học viện Kỹ thuật Quân sự ⁽³⁾Khoa Xây dựng, Trường Đại học Điện lực, Tác giả đại diện. Email: anhvq@hau.edu.vn (Anh, V.Q).

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu phương pháp xây dựng biểu đồ khả năng chịu lực cho cấu kiện thép tạo hình nguội dựa trên quy trình tính toán cấu kiện chịu nén, uốn bằng phương pháp Cường độ trực tiếp theo Tiêu chuẩn AISI S100-16. Ví dụ tính toán được đưa ra để xác định khả năng chịu lực cho cấu kiện thép tạo hình nguội có tiết diện C. Bài báo cũng khảo sát các cấu kiện với nhiều loại tiết diện C có chiều dài khác nhau để xây dựng biểu đồ khả năng chịu lực. Các biểu đồ được xây dựng sẽ trợ giúp rất hiệu quả cho công tác thiết kế kết cấu thép tạo hình nguội.

Từ khóa: Thép tạo hình nguội; Nén, uốn; Phương pháp cường độ trực tiếp; AISI S100-16.

ABSTRACT

The paper researches on a method to create strength charts for Cold-formed Steel members based on the calculation process of compression and bending members by the Direct Strength Method according to AISI S100-16 Standard. Examples are given to determine the strength for Cold-formed Steel members with Cee sections. Our paper will also investigate members with many types of C sections with different lengths to build strength charts. The built charts will provide very effective support for the design of Cold-formed Steel Structures.

Key words: Cold-formed Steel; Compression, bending; The Direct Strength Method; AISI S100-16.

1. GIỚI THIỆU

Hiện tại, Tiêu chuẩn AISI S100-16 [1] được sử dụng tại Mỹ, Canada, Mexico; Tiêu chuẩn AS/NZS 4600-2018 [2] được sử dụng tại Australia và New Zealand dựa trên cơ sở Tiêu chuẩn Mỹ và các nghiên cứu của tác giả tại Australia. Cả hai Tiêu chuẩn đang sử dụng đồng thời hai phương pháp tính toán là phương pháp chiều rộng hữu hiệu (EWM) và phương pháp cường độ trực tiếp (DSM). Trong đó phương pháp DSM được đề xuất bởi Giáo sư G.J.Hancock; được

phát triển, hoàn thiện bởi Giáo sư B.W.Schafer và đã được đưa vào phần chính của Tiêu chuẩn AISI S100-16 [1] và Tiêu chuẩn AS/NZS 4600-2018 [2]. Tại Mỹ, AISI đã xây dựng hệ thống bảng tra, biểu đồ xác định khả năng chịu lực của cấu kiện thép tạo hình nguội, tuy nhiên kết quả tính toán đang sử dụng phương pháp EWM [3]. Năm 2021, AISI đã phát triển xây dựng bảng tính toán cấu kiện thép tạo hình nguội theo Tiêu chuẩn AISI S100-16 [1] cho một số loại tiết diện đang được sử dụng tại Mỹ.

Tại Việt Nam, Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép TCVN 5575:2012 [4] hiện hành không áp dụng để tính toán cho dạng cấu kiện đặc biệt này. Do vậy, việc tính toán kết cấu thép tạo hình nguội phải dùng tiêu chuẩn nước ngoài, gây khó khăn cho việc thiết kế và ứng dụng trong thực tế. Hiện tại, nhiều tác giả trong nước đã nghiên cứu lý thuyết tính toán cấu kiện thép tạo hình nguội [5], [6]; nghiên cứu quy trình tính toán theo Tiêu chuẩn AISI S100-16 [1] cho cấu kiện chịu nén [7], nén-uốn [8], theo Tiêu chuẩn AS/NZS 4600-2018 [2] cho cấu kiện chịu nén, uốn [9]. Tuy nhiên để đẩy nhanh việc ứng dụng loại kết cấu này vào thực tế thì cần thiết phải có hệ thống bảng tra, biểu đồ hỗ trợ cho người thiết kế lựa chọn được các tiết diện phù hợp tùy theo điều kiện làm việc của kết cấu. Từ các biểu đồ được xây dựng, người thiết kế lựa chọn các tiết diện đã được định hình theo nhà sản xuất hoặc tự lựa chọn, thiết kế các tiết diện hợp lý để đặt hàng tại các nhà máy gia công.

Bài báo trình bày phương pháp tính toán, xây dựng biểu đồ khả năng chịu lực cho cấu kiện thép tạo hình nguội chịu nén, uốn bằng phương pháp cường độ trực tiếp theo Tiêu chuẩn AISI S100-16 [1]. Kết quả nghiên cứu là các biểu đồ khả năng chịu lực cho các cấu kiện thép tạo hình nguội với các tiết diện đang được sử dụng phổ biến tại Việt Nam, được các hãng nước ngoài cung cấp như BlueScope Lysaght [10], Canan [11], các biểu đồ phục vụ thiết kế tiết diện hợp lý cho cấu kiện chịu nén, uốn.

2. TÍNH TOÁN CẤU KIỆN THÉP TẠO HÌNH NGUỘI BẰNG PHƯƠNG PHÁP CƯỜNG ĐỘ TRỰC TIẾP

Về nguyên lý tính toán, Tiêu chuẩn AISI S100-16 [1] sử dụng đồng thời ba phương pháp tính toán gồm phương pháp Ứng suất cho phép (ASD), phương pháp Hệ số tải trọng và cường độ (LRFD) và phương pháp Trạng thái giới hạn (LSD); Tiêu chuẩn AS/NZS 4600-2018 [2] sử dụng phương pháp Trạng thái giới hạn (LSD). Đồng thời, Tiêu chuẩn AISI S100-16 [1] và AS/NZS 4600-2018 [2] sử dụng cả hai phương pháp tính toán DSM và EWM; trong đó phương pháp DSM được đưa vào phần chính của tiêu chuẩn.

Trong tính toán, phương pháp DSM có ưu điểm vượt trội so với phương pháp EWM là sử dụng đặc trưng của tiết diện nguyên và

không cần phải tính lặp hoặc tính toán chiều rộng hữu hiệu. Việc sử dụng phương pháp DSM tạo nên sự linh hoạt khi xác định đặc trưng hình học, thuận lợi cho thiết kế tối ưu hóa tiết diện thép tạo hình nguội. Phương pháp DSM có công thức rõ ràng để xét đến mất ổn định méo trong thiết kế và xét đến sự tương tác giữa các phần tử trong mặt cắt ngang. Quy trình tính toán được hỗ trợ bằng cách sử dụng các phần mềm phân tích mất ổn định đàn hồi như CUF5M [12], THIN-WALL-2 [2] dựa trên kết quả nghiên cứu và phát triển từ phương pháp dài hữu hạn được đề xuất bởi Cheung [13]. Phần mềm đưa ra kết quả phân tích mất ổn định của một tiết diện dưới dạng một đường cong thể hiện quan hệ ứng suất mất ổn định và chiều dài nửa bước sóng của các dạng mất ổn định. Giá trị ứng suất mất ổn định cục bộ, ứng suất mất ổn định méo từ phần mềm CUF5M hoặc THIN-WALL-2 được dùng để xác định khả năng chịu lực của cấu kiện thép tạo hình nguội bằng phương pháp DSM. Độ tin cậy kết quả tính toán khi sử dụng phần mềm CUF5M được đánh giá qua nhiều nghiên cứu [7], [8].

Nội dung trình bày dưới đây cho cấu kiện chịu nén, chịu uốn có tiết diện nguyên, sử dụng nguyên lý tính toán LRFD theo Tiêu chuẩn AISI S100-16 [1].

2.1. Cấu kiện chịu nén

Độ bền nén danh nghĩa của cấu kiện chịu nén (P_n) là giá trị nhỏ nhất của độ bền nén danh nghĩa mất ổn định tổng thể (P_{ne}), độ bền nén danh nghĩa mất ổn định cục bộ (P_{nl}) và độ bền nén danh nghĩa mất ổn định méo (P_{nd}). Độ bền nén tính toán của cấu kiện chịu nén là $\phi_c P_n$ với $\phi_c = 0,85$ (LRFD).

a) Độ bền nén danh nghĩa mất ổn định tổng thể

$$P_{ne} = A_g F_n \quad (1)$$

trong đó A_g là tổng diện tích của tiết diện; F_n là ứng suất nén được xác định như sau:

$$\text{Với } \lambda_c \leq 1,5; F_n = (0,658 \lambda_c^2) F_y \quad (2)$$

$$\text{Với } \lambda_c > 1,5; F_n = \left(\frac{0,877}{\lambda_c^2} \right) F_y \quad (3)$$

$$\lambda_c = \sqrt{F_y / F_{cre}} \quad (4)$$

trong đó F_{cre} là giá trị nhỏ nhất của ứng suất mất ổn định tổng thể do uốn, xoắn hoặc uốn-xoắn được xác định theo Mục E2.1 đến Mục E2.5 hoặc Phụ lục 2 Tiêu chuẩn AISI S100-16 [1]; F_y là giới hạn chảy của vật liệu.

b) Độ bền nén danh nghĩa mất ổn định cục bộ

$$\text{Với } \lambda_l \leq 0,776; P_{nl} = P_{ne} \quad (5)$$

$$\text{Với } \lambda_l > 0,776; P_{nl} = \left[1 - 0,15 \left(\frac{P_{crl}}{P_{ne}} \right)^{0,4} \right] \left(\frac{P_{crl}}{P_{ne}} \right)^{0,4} P_{ne} \quad (6)$$

$$\lambda_l = \sqrt{P_{ne} / P_{crl}} \quad (7)$$

trong đó P_{crl} là tải trọng tới hạn gây mất ổn định cục bộ ở trạng thái đàn hồi, xác định theo Phụ lục 2 Tiêu chuẩn AISI S100-16 [1].

c) Độ bền nén danh nghĩa mất ổn định méo

$$\text{Với } \lambda_d \leq 0,561; P_{nd} = P_y \quad (8)$$

$$\text{Với } \lambda_d > 0,561; P_{nd} = \left[1 - 0,25 \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0,6} \right] \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0,6} P_y \quad (9)$$

$$\lambda_d = \sqrt{P_y / P_{crd}} \quad (10)$$

$$P_y = A_g F_y \quad (11)$$

trong đó P_{crd} là tải trọng tới hạn gây mất ổn định méo ở trạng thái đàn hồi, được xác định theo Phụ lục 2 Tiêu chuẩn AISI S100-16 [1].

2.2. Cấu kiện chịu uốn

Độ bền uốn danh nghĩa của cấu kiện chịu uốn (M_n) là giá trị nhỏ nhất của độ bền uốn danh nghĩa mất ổn định tổng thể (M_{ne}), độ bền uốn danh nghĩa mất ổn định cục bộ (M_{nl}) và độ bền uốn danh nghĩa mất ổn định méo (M_{nd}). Độ bền uốn tính toán của cấu kiện chịu uốn là $\phi_b M_n$ với $\phi_b = 0,90$ (LRFD).

a) Độ bền uốn danh nghĩa mất ổn định tổng thể

$$M_{ne} = S_f F_n \leq M_y \quad (12)$$

$$M_y = S_{fy} F_y \quad (13)$$

trong đó S_f là mô đun đàn hồi của tiết diện nguyên đối với trục biên chịu nén; S_{fy} là mô đun đàn hồi của tiết diện nguyên đối với trục biên tại giới hạn chảy; F_n là ứng suất tới hạn được xác định như sau:

$$\text{Với } F_{cre} \geq 2,78 F_y; F_n = F_y \quad (14)$$

$$\text{Với } 2,78 F_y > F_{cre} > 0,56 F_y; F_n = \frac{10}{9} F_y \left[1 - \frac{10 F_y}{36 F_{cre}} \right] \quad (15)$$

$$\text{Với } F_{cre} \leq 0,56 F_y; F_n = F_{cre} \quad (16)$$

trong đó F_{cre} là ứng suất mất ổn định ngang-xoắn ở trạng thái đàn hồi được xác định theo Mục F2.1.1 tới Mục F2.1.5 hoặc Phụ lục 2 Tiêu chuẩn AISI S100-16 [1].

b) Độ bền uốn danh nghĩa mất ổn định cục bộ

$$\text{Với } \lambda_l \leq 0,776; M_{nl} = M_{ne} \quad (17)$$

$$\text{Với } \lambda_l > 0,776; M_{nl} = \left[1 - 0,15 \left(\frac{M_{crl}}{M_{ne}} \right)^{0,4} \right] \left(\frac{M_{crl}}{M_{ne}} \right)^{0,4} M_{ne} \quad (18)$$

$$\lambda_l = \sqrt{M_{ne} / M_{crl}} \quad (19)$$

trong đó M_{crl} là mô men uốn tới hạn gây mất ổn định cục bộ ở trạng thái đàn hồi, được xác định theo Phụ lục 2 Tiêu chuẩn AISI S100-16 [1].

c) Độ bền uốn danh nghĩa mất ổn định méo

$$\text{Với } \lambda_d \leq 0,673; M_{nd} = M_y \quad (20)$$

$$\text{Với } \lambda_d > 0,673; M_{nd} = \left[1 - 0,22 \left(\frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0,5} \right] \left(\frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0,5} M_y \quad (21)$$

$$\lambda_d = \sqrt{M_y / M_{crd}} \quad (22)$$

$$M_{crd} = S_f F_{crd} \quad (23)$$

trong đó F_{crd} là ứng suất mất ổn định méo được xác định theo Phụ lục 2 Tiêu chuẩn AISI S100-16 [1].

3. Xây dựng biểu đồ xác định khả năng chịu lực của cấu kiện thép tạo hình nguội

3.1. Bài toán

Xác định khả năng chịu lực của cấu kiện thép tạo hình nguội tiết diện C20019 [10] chịu nén, uốn theo trục x có hai đầu liên kết khớp với chiều dài 3,0 m. Vật liệu có mô đun đàn hồi $E = 200000$ (MPa), hệ số Poisson $\mu = 0,30$, giới hạn chảy của vật liệu $F_y = 345$ (MPa).

a) Vật liệu và đặc trưng hình học của tiết diện

- Mô đun đàn hồi trượt của vật liệu:

$$G = E / (2(1 + \mu)) = 76923,08 \text{ (MPa)} \quad (24)$$

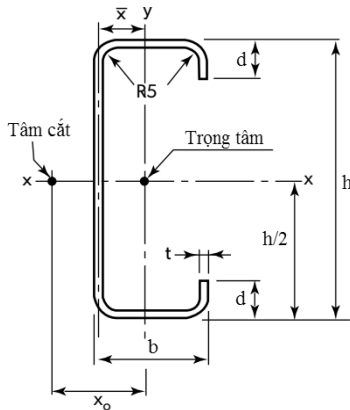
- Đặc trưng hình học của tiết diện được tính toán bằng các công thức giải tích được giới thiệu trong tài liệu Cold-Formed Steel Design-Vol 1 [3], tra thông số theo Catalogue của nhà sản xuất [10]

Bảng 1. Thông số hình học của tiết diện

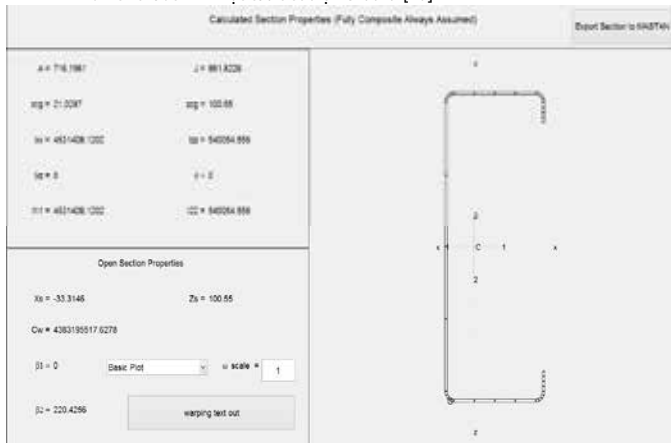
Tiết diện	A_g (mm ²)	Mô men quán tính (10 ⁶ mm ⁴)		x_o (mm)	Mô đun chống uốn S_x (10 ³ mm ³)		Bán kính quán tính (mm)		Hàng số xoắn St.Venant J (mm ⁴)	Hàng số xoắn vênh C_w (10 ⁶ mm ⁶)
		I_x	I_y		S_x	S_y	r_x	r_y		
C20019	716,2	4,531	0,540	54,3	44,644	9,997	79,5	27,5	861,822	4383

hoặc xác định bằng cách sử dụng phần mềm CUFSM. Bài báo sử dụng kết quả từ phần mềm CUFSM như sau (bảng 1):

$h = 203$ (mm);
 $b = 76$ (mm);
 $d = 20$ (mm);
 $t = 1,9$ (mm).



Hình 1. Kích thước hình học của tiết diện C20019 [10]



Hình 2. Đặc trưng hình học tiết diện C20019

b) Trường hợp cấu kiện chịu nén

* Phân tích mất ổn định tuyến tính

Ứng suất mất ổn định tổng thể là giá trị nhỏ nhất của ứng suất mất ổn định uốn và ứng suất mất ổn định uốn-xoắn:

- Ứng suất mất ổn định uốn (F_{cre1}):

$$F_{cre1} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (25)$$

trong đó E là mô đun đàn hồi của vật liệu; K là hệ số chiều dài hữu hiệu được xác định theo Chương C Tiêu chuẩn AISI S100-16 [1], cấu kiện có hai đầu liên kết khớp, $K=1$; L là chiều dài đoạn không giằng của cấu kiện; r là bán kính quán tính của tiết diện nguyên đối với trục gây mất ổn định, $r = r_y$.

- Ứng suất mất ổn định uốn-xoắn (F_{cre2}):

$$F_{cre2} = \frac{1}{2\beta} \left[(\sigma_{ex} + \sigma_t) - \sqrt{(\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta\sigma_{ex}\sigma_t} \right] \quad (26)$$

$$\beta = 1 - (x_o / r_o)^2 = 0,706 \quad (27)$$

$$r_o = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_o^2} = 100,171 \text{ (mm)} \quad (28)$$

trong đó r_o là bán kính quán tính độc cực của tiết diện đối với tâm cắt; r_x, r_y là bán kính quán tính của tiết diện theo trục x, y tương ứng; x_o là khoảng cách từ trọng tâm đến tâm cắt theo hướng trục chính x của tiết diện được xác định tại Bảng 1.

$$\sigma_t = \frac{1}{Ar_o^2} \left[GJ + \frac{\pi^2 EC_w}{(K_t L_t)^2} \right] \quad (29)$$

trong đó A_g là diện tích tiết diện nguyên được tính tại Bảng 1; J là hằng số xoắn Saint-Venant của tiết diện; C_w là hằng số xoắn vênh của tiết diện; K_t là hệ số chiều dài hữu hiệu của cấu kiện chịu xoắn được tính theo Chương C Tiêu chuẩn AISI S100-16 [1], cấu kiện có hai đầu liên kết khớp $K_t = 1,0$; L_t là chiều dài đoạn không giằng của cấu kiện chịu xoắn, $L_t = L$.

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L_x / r_x)^2} \quad (30)$$

trong đó K_x là hệ số chiều dài tính toán của cấu kiện chịu uốn quanh trục x được xác định theo Chương C Tiêu chuẩn AISI S100-16 [1], cấu kiện có hai đầu liên kết khớp $K_x = 1,0$; L_x là chiều dài đoạn không giằng của cấu kiện chịu uốn với trục x .

- Kết quả tính toán ứng suất mất ổn định tổng thể:

C20019 có $F_{cre} = 138,477$ (MPa);

- Độ bền nén danh nghĩa mất ổn định tổng thể:

C20019 có $P_{ne} = 86978,061$ (N);

* Phân tích mất ổn định của tiết diện

Sử dụng phần mềm CUFSM, kết quả như hình 3, 4.

C20019: $P_{crl} / P_y = 0,206$; $P_{crl} = 66285,005$ (N);

$P_y = A_g F_y = 322288,155$ (N)

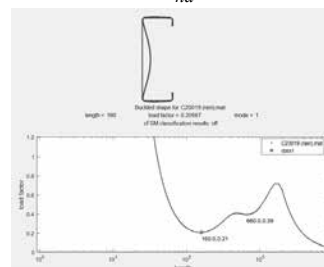
$P_{crl} / P_y = 0,3941$; $P_{crl} = 127026,653$ (MPa)

- Độ bền nén danh nghĩa mất ổn định cục bộ:

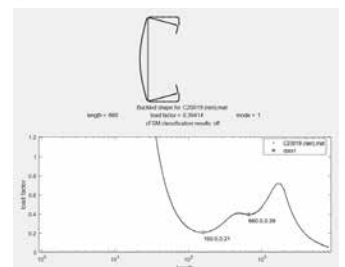
C20019 có $P_{nl} = 67523,106$ (N);

- Độ bền nén danh nghĩa mất ổn định méo:

C20019 có $P_{nd} = 157985,209$ (N);



Hình 3. Ứng suất mất ổn định cục bộ tiết diện C20019 chịu nén



Hình 4. Ứng suất mất ổn định méo tiết diện C20019 chịu nén

* Độ bền nén tính toán của cấu kiện

Độ bền nén tính toán của cấu kiện $\phi_c P_n = \phi_c \cdot \min(P_{ne}, P_{nl}, P_{nd})$.

Kết quả như sau (bảng 2):

Bảng 2. Độ bền nén tính toán của cấu kiện

Tiết diện	P_{ne} (N)	P_{nl} (N)	P_{nd} (N)	P_n (N)	$\varphi_c P_n$ (N)
C20019	86978,061	67523,106	157985,209	67523,106	57394,640

b) Trường hợp cấu kiện chịu uốn

* Phân tích mất ổn định tuyến tính

- Ứng suất mất ổn định ngang-xoắn đàn hồi của cấu kiện có tiết diện C:

$$F_{cre} = C_b r_o A_g \sqrt{\sigma_{ey} \sigma_t} / S_f \quad (31)$$

trong đó C_b là hệ số kể đến sự biến đổi mô men dọc theo chiều dài cấu kiện, được phép lấy bằng một đơn vị trong tất cả các trường hợp; S_f là mô đun đàn hồi của tiết diện nguyên đối với trục biên chịu uốn, $S_f = S_x$.

$$r_o = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_0^2} \quad (32)$$

$$\sigma_{ey} = \pi^2 E / (K_y L_y / r_y)^2 \quad (33)$$

trong đó K_y là hệ số chiều dài tính toán khi cấu kiện chịu uốn quanh trục y, được xác định theo Chương C Tiêu chuẩn AISI S100-16 [1], cấu kiện có hai đầu liên kết khớp $K_y = 1$; L_y là chiều dài đoạn không được giằng của cấu kiện chịu uốn quanh trục y, $L_y = L$; σ_t là ứng suất mất ổn định của cấu kiện chịu xoắn được xác định theo công thức (29).

- Kết quả tính toán ứng suất mất ổn định tổng thể:

C20019 có $F_{cre} = 247,12$ (MPa);

- Độ bền uốn danh nghĩa mất ổn định tổng thể:

C20019, $M_{ne} = 11032698,721$ (Nmm);

b) Phân tích mất ổn định của tiết diện

Sử dụng phần mềm CUFSM, kết quả như hình 5, 6

C20019: $M_{crl} / M_y = 1,035$; $M_{crd} / M_y = 0,838$;

$M_y = S_f F_y = 20089950,739$ (Nmm);

$M_{crl} = 20803143,990$ (Nmm), $M_{crd} = 16827342,739$ (Nmm)

- Độ bền uốn danh nghĩa mất ổn định cục bộ:

C20019, $M_{nl} = 11032698,721$ (Nmm);

- Độ bền uốn danh nghĩa mất ổn định méo:

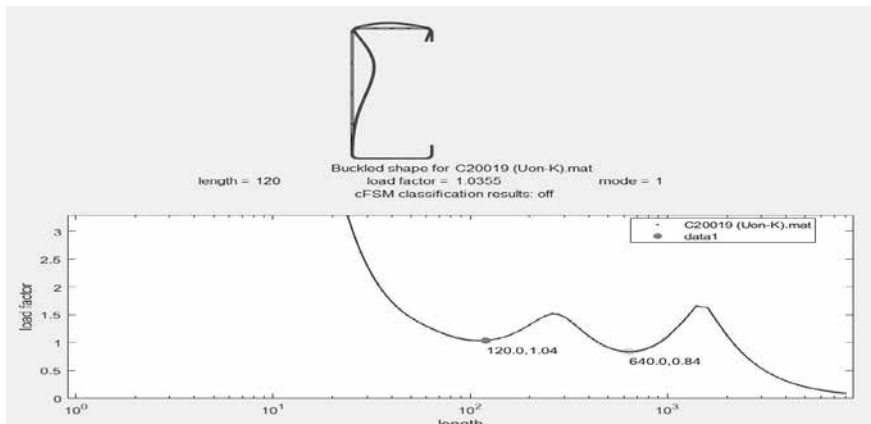
C20019, $M_{nd} = 14684405,856$ (Nmm);

* Độ bền uốn tính toán của cấu kiện

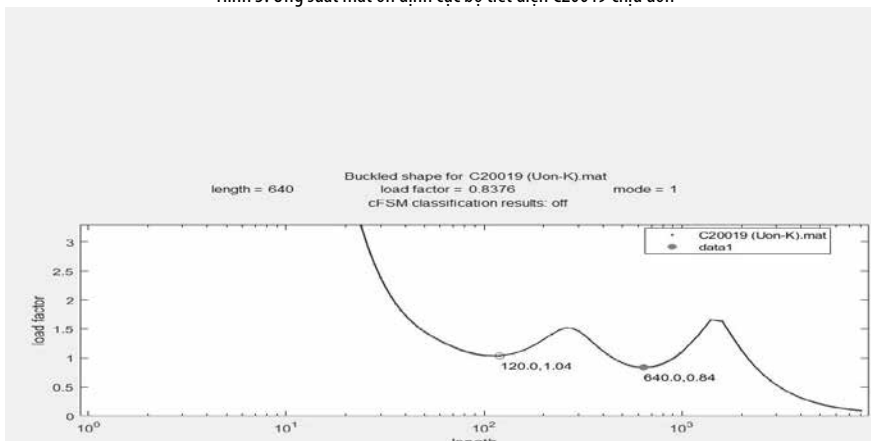
Độ bền uốn tính toán của cấu kiện $\phi_b M_n = \phi_b \cdot \min(M_{ne}, M_{nl}, M_{nd})$. (bảng 3)

Bảng 3. Độ bền uốn tính toán của cấu kiện

Cấu kiện	M_{ne} (Nmm)	M_{nl} (Nmm)	M_{nd} (Nmm)	M_n (Nmm)	$\varphi_b M_n$ (Nmm)
C20019	11032698,721	11032698,721	14684405,856	11032698,721	9929428,849



Hình 5. Ứng suất mất ổn định cục bộ tiết diện C20019 chịu uốn



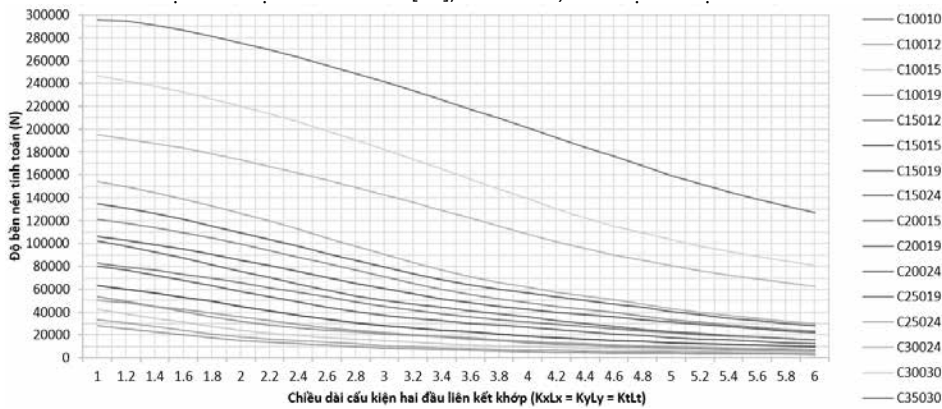
Hình 6. Ứng suất mất ổn định méo tiết diện C20019 chịu uốn

3.2. Biểu đồ khả năng chịu lực của cấu kiện

Tính toán tương tự cho các trường hợp cấu kiện có chiều dài thay đổi từ 2m đến 8m với nhiều loại tiết diện khác nhau [10],

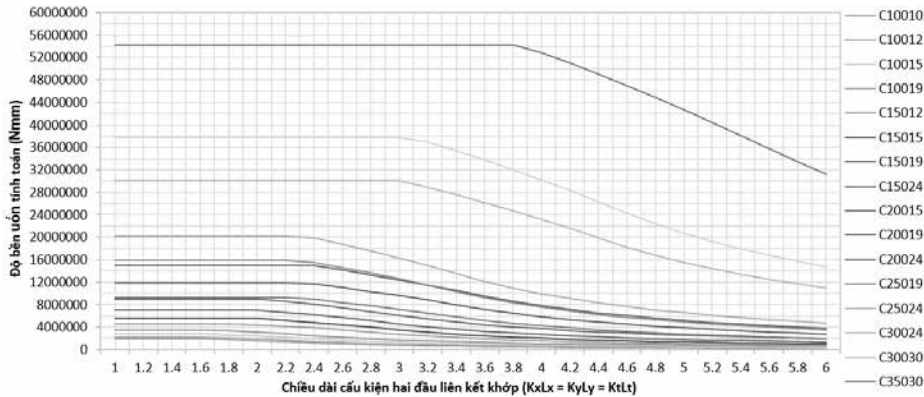
[11] và xây dựng được biểu đồ khả năng chịu lực cho các cấu kiện như sau:

a) Cấu kiện C chịu nén



Hình 7. Biểu đồ khả năng chịu lực của cấu kiện thép tạo hình nguội tiết diện C chịu nén ($E=200000\text{ MPa}$, $F_y=345\text{ MPa}$)

b) Cấu kiện C chịu uốn



Hình 8. Biểu đồ khả năng chịu lực của cấu kiện thép tạo hình nguội tiết diện C chịu uốn ($E=200000\text{ MPa}$, $F_y=345\text{ MPa}$)

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày phương pháp xây dựng biểu đồ khả năng chịu lực cho cấu kiện thép tạo hình nguội dựa trên quy trình tính toán cấu kiện chịu nén, uốn bằng phương pháp DSM theo Tiêu chuẩn AISI S100-16 [1]. Quy trình tính toán trở nên đơn giản hơn do được hỗ trợ bằng phần mềm phân tích mất ổn định đàn hồi CUFSM trong tính toán đặc trưng hình học tiết diện, phân tích mất ổn định cục bộ, mất ổn định méo của tiết diện được coi là khó khăn lớn nhất trong toàn cấu kiện thép tạo hình nguội.

Kết quả nghiên cứu là các biểu đồ khả năng chịu lực cho các cấu kiện có chiều dài khác nhau với nhiều loại tiết diện C [10], [11], tạo ra công cụ trợ giúp thiết kế quan trọng giúp cho người thiết kế lựa chọn tiết diện hợp lý theo điều kiện làm việc của kết cấu, giảm bớt các bước và thời gian tính toán. Đồng thời, bài báo cũng giới thiệu các trường hợp tính toán cho cấu kiện chịu nén, uốn để người thiết kế thực hành tính toán các cấu kiện với các tiết diện khác và xây dựng các biểu đồ khả năng chịu lực theo thông số của từng nhà sản xuất thép tạo hình nguội trên thị trường hiện nay. Tuy nhiên để hoàn thiện hệ thống các biểu đồ thì cần phải xét đến các điều kiện làm việc khác của cấu kiện như cắt, ép dập bụng, tổ hợp tải trọng kéo-uốn, nén-uốn, uốn-cắt, uốn-ép dập bụng, uốn-xoắn, độ võng... Những nội dung nghiên cứu này cần được tiếp tục nghiên cứu và hoàn chỉnh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] AISI S100-16 (2016). *North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*. American Iron and Steel Institute, Washington, DC.

[2] AS/NZS 4600-2018 (2018). *Australian/New Zealand Standard TM Cold-formed steel structures*. The Council of Standards Australia.

[3] American Iron and Steel Institute. *Cold-Formed Steel Design-Vol 1*. Steel Market Development Institute.

[4] TCVN5575:2012. *Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế*. Hà Nội.

[5] Cường, B.H (2010). Tính toán các đặc trưng hình học của tiết diện thanh thành mỏng hờ. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐHXD*, 4(2):16-28.

[6] Cường, B.H (2012). Phân tích ổn định đàn hồi tấm và thanh thành mỏng bằng phương pháp dải hữu hạn. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐHXD*, 6(1), 12-23.

[7] Toàn, H.A, Anh, V.Q (2020). Tính toán cấu kiện thép tạo hình nguội chịu nén bằng phương pháp cường độ trực tiếp theo Tiêu chuẩn AISI S100-16. *Tạp chí KHCN XD*, Quý III/2020, 18-29.

[8] Anh, V.Q, Toàn, H.A (2021). Tính toán cấu kiện thép tạo hình nguội chịu nén-uốn bằng phương pháp phân tích trực tiếp theo Tiêu chuẩn AISI S100-16. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng-Đại học Xây dựng*, 15(1V), 84-101.

[9] Hiếu, P.N, Anh, V.Q, Hưng, P.N (2020). Tính toán cấu kiện thép tạo hình nguội chịu nén và uốn bằng phương pháp Cường độ trực tiếp theo Tiêu chuẩn AS/NZS 4600:2018. *Tạp chí KHCN XD*, Quý IV/2020, 73-80.

[10] Lysaght, Zed & Cees (2019). *User Guide for Design and Installation Professionals*.

[11] Purlin and Girts (2011). *Purlin and Girts*. Canan Group Inc.

[12] Schafer, B. W, Ádány, S. (2006). Buckling analysis of cold-formed steel members using CUFSM: conventional and constrained finite strip methods. *Eighteenth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structure*. Orlando, Florida, USA.

[13] Cheung, Y.K (1976). *Finite strip method in structural analysis*. New York, NY: Pergamon Press, Inc.