

# VỀ VIỆC ÁP DỤNG ĐƯỜNG CONG MẤT ỔN ĐỊNH CỦA CẤU KIỆN THÉP CHỊU NÉN ĐÚNG TÂM THEO EN 1993-1-1 CHO CÁC MÁC THÉP KHÁC TẠI VIỆT NAM

## ON THE APPLICATION OF THE BUCKLING CURVE OF STEEL MEMBERS UNDER CENTERED COMPRESSION ACCORDING TO EN 1993-1-1 FOR OTHER STEEL GRADES IN VIETNAM

TS. CAO DUY KHÔI  
Viện KHCN Xây dựng  
Email: cdkhoi@gmail.com

Tóm tắt: Bài báo trình bày cơ sở lý thuyết và thực nghiệm của bài toán mất ổn định cấu kiện thép tiết diện không đổi chịu nén đúng tâm theo EN 1993-1-1, nghiên cứu các tiêu chuẩn tương đương Eurocodes của một số nước có chủng loại mác thép đa dạng, từ đó đề xuất hướng áp dụng đường cong mất ổn định của cấu kiện thép chịu nén đúng tâm cho các mác thép không được quy định trong EN 1993-1-1 nhưng được sử dụng ở Việt Nam.

Từ khóa: kết cấu thép, EN 1993, đường cong mất ổn định, mác thép.

Abstract: This article presents the theoretical and experimental basis of buckling resistance of steel uniform members under axial compression according to EN 1993-1-1, studies the Eurocodes

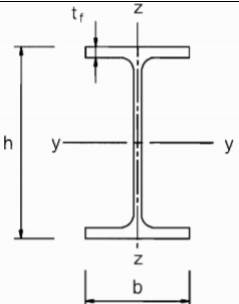
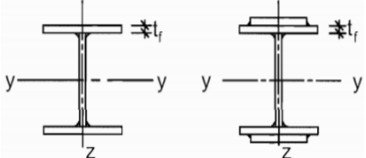
equivalent standards of some countries with different types of steel grades. Thereby suggesting the application of buckling curves of uniform members in compression for other steel grades which are not mentioned in EN 1993-1-1 but available in Vietnam.

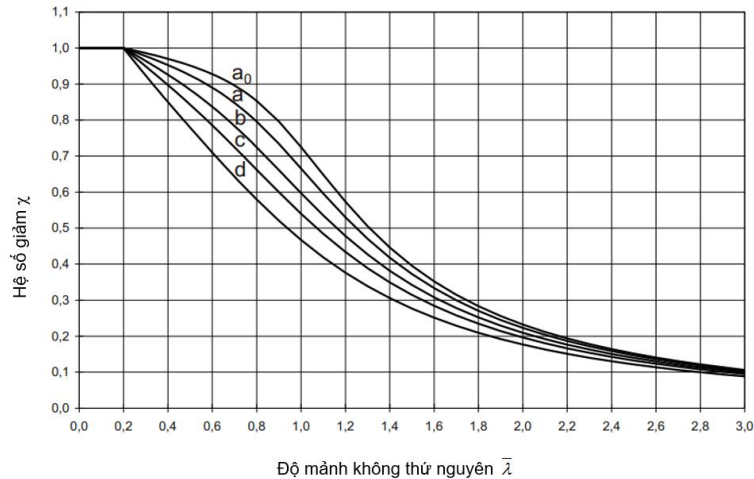
Keywords: steel structure, EN 1993, application of buckling curves, steel grades

### 1. Đặt vấn đề

Các đường cong mất ổn định (buckling curves)  $a_0, a, b, c, d$  (bảng 1 và hình 1) để tính toán cấu kiện thép tiết diện không đổi chịu nén đúng tâm theo EN 1993-1-1 về nguyên tắc chỉ được áp dụng cho các mác thép của châu Âu (từ S235 đến S460) như quy định trong EN 1993-1-1.

Bảng 1. Lựa chọn đường cong mất ổn định (trích một phần từ bảng 6.2 [1])

| Tiết diện ngang   | Giới hạn                                     | Mất ổn định quanh trục | Đường cong mất ổn định       |                |
|---|--|------------------------|------------------------------|----------------|
|   |  |                        | S235<br>S275<br>S355<br>S420 | S460           |
|  | $t_f \leq 40 \text{ mm}$                     | y-y<br>z-z             | a<br>b                       | $a_0$<br>$a_0$ |
|   | $40 \text{ mm} \leq t_f \leq 100 \text{ mm}$ | y-y<br>z-z             | b<br>c                       | a<br>a         |
|   | $t_f \leq 100 \text{ mm}$                    | y-y<br>z-z             | b<br>c                       | a<br>a         |
|   | $t_f > 100 \text{ mm}$                       | y-y<br>z-z             | d<br>d                       | c<br>c         |
|  | $t_f \leq 40 \text{ mm}$                     | y-y<br>z-z             | b<br>c                       | b<br>c         |
|   | $t_f > 40 \text{ mm}$                        | y-y<br>z-z             | c<br>d                       | c<br>d         |



Hình 1. Các đường cong mất ổn định cho cấu kiện tiết diện không đổi chịu nén đúng tâm theo [1]

Thị trường Việt Nam có nhiều mác thép khác nhau với nguồn gốc và tính chất đa dạng. Về nguồn gốc, có ba loại phổ biến là thép sản xuất hoàn toàn trong nước, hoặc nhập khẩu từ nước ngoài, hoặc nhập phôi thép từ nước ngoài và gia công chế biến thành thép kết cấu ở Việt Nam. Về tính chất, có thể gặp ở Việt Nam rất nhiều mác thép khác nhau về tính chất cơ lý hóa, ví dụ SS400, SS540 theo JIS G3105 của Nhật; Q235 theo GB/T 700, Q345B theo GB/T 1591 của Trung Quốc; mác 50[345] theo ASTM A572, mác A36 theo ASTM A36 của Mỹ, và CT38 theo TCVN 1765 của Việt Nam. Thống kê khoảng 5000 mẫu thép thí nghiệm trong 5 năm gần đây tại LAS XD 01 của Viện KHCN Xây dựng cho thấy rất ít gặp thép châu Âu như quy định trong EN 1993-1-1 (chiếm chưa tới 0,5%)... Do đặc điểm đa dạng như vậy nên khi biên soạn Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép định hướng theo châu Âu cho Việt Nam, cần nghiên cứu câu hỏi: với các mác thép khác (không được đề cập đến trong EN 1993-1-1) thì áp dụng các đường cong mất ổn định như thế nào?

Để giải quyết bài toán này, không thể nghiên cứu một mác thép cụ thể mà cần tìm hiểu cơ sở lý thuyết và thực nghiệm của việc xây dựng các đường cong mất ổn định trên, xem xét ảnh hưởng của các yếu tố như giới hạn chảy  $f_y$  của thép, hình dạng tiết diện, nghiên cứu các tiêu chuẩn tương đương EN 1993-1-1 và phụ lục quốc gia của một số nước như Singapore, Belarus về việc áp dụng các đường cong mất ổn định này cho các mác thép khác, từ đó có một số đề xuất về việc áp dụng đường cong mất ổn định cho mọi mác thép.

## 2. Cơ sở lý thuyết và thực nghiệm của việc xây dựng các đường cong mất ổn định cho cấu kiện thép tiết diện không đổi chịu nén đúng tâm

### 2.1 Bài toán ổn định Euler

Mất ổn định cấu kiện tiết diện không đổi chịu nén đúng tâm là một trong những tính toán cơ bản của mọi tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép. Cơ sở lý thuyết ban đầu của bài toán này là ổn định Euler [5,6].

#### a. Các giả thiết của bài toán Euler

- Vật liệu đồng nhất, đàn hồi và đẳng hướng;
- Không có bất kỳ sai lệch hình học nào. Tiết diện thanh không đổi suốt chiều dài thanh;
- Liên kết ở hai đầu thanh là lý tưởng.

#### b. Công thức Euler tính toán lực tới hạn

$$N_{Euler,cr} = \pi^2 \frac{EI}{L_o^2} \quad (1)$$

trong đó:

$N_{Euler,cr}$  - lực tới hạn Euler;

$E$  - mô đun đàn hồi của vật liệu, thể hiện quan hệ tuyến tính giữa ứng suất và biến dạng dọc trục của thanh;

$I$  - mô men quán tính của tiết diện ngang;

$L_o$  - Chiều dài tính toán của thanh,  $L_o = \mu \cdot L$ ,  $\mu$  là hệ số chiều dài tính toán, phụ thuộc vào điều kiện liên kết hai đầu thanh,  $L$  là chiều dài hình học của thanh.

Từ công thức (1), ứng suất tới hạn Euler được tính như sau:

$$\sigma_{Euler,cr} = \frac{N_{Euler,cr}}{A} = \frac{\pi^2 EI}{L_0 A} = \frac{\pi^2 E i^2}{L_0^2} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad (2)$$

Với  $\lambda = L_0 / i$  - độ mảnh của thanh;  $i = \sqrt{I / A}$  - bán kính quán tính của tiết diện.

**c. Giới hạn áp dụng công thức Euler**

Công thức Euler chỉ đúng (và đã được chứng minh bằng thực nghiệm, theo [5,6]) khi quan hệ ứng suất - biến dạng là quan hệ tuyến tính. Theo đó, thanh không bị mất ổn định khi điều kiện sau được thỏa mãn:

$$\sigma_{Euler,cr} \leq f_{el} \quad (3)$$

Với  $f_{el}$  - giới hạn đàn hồi của vật liệu. Theo [11] thì đối với vật liệu thép có thêm chảy vật lý,  $f_{el} \approx 0.8f_y$ , với  $f_y$  - giới hạn chảy của vật liệu thép.

Cũng theo [11], suy từ công thức (3) thì giới hạn áp dụng công thức Euler là:

- Đối với thép mềm ( $f_{el} \approx 200 \text{ N/mm}^2$ ),  $\lambda \geq 100$ . Tức là với  $\lambda < 100$  thì công thức Euler không đúng nữa;
- Đối với thép thường ( $f_{el}$  từ 290 đến 400  $\text{N/mm}^2$ ):  $\lambda \geq 85$ .

Thông thường độ mảnh của thanh trong thực tế thiết kế chỉ khoảng 1/2 giới hạn nêu trên [11]. Như vậy, bài toán Euler có khả năng áp dụng hạn chế, và do đó, cần kể đến các sai lệch (imperfections) luôn có trong thực tế, tức là sửa đổi các giả thiết ban đầu của bài toán Euler.

**2.2 Về các khiếm khuyết (imperfections)**

**a. Các khiếm khuyết được xem xét**

Đối với bài toán ổn định cấu kiện thép chịu nén đúng tâm, các khiếm khuyết sau được xét tới [5,11]:

- Ứng suất dư (Residual stress): ứng suất dư là ứng suất đã tồn tại sẵn trong tiết diện thanh, sinh ra do quá trình chế tạo gia công thanh. Theo [5], ứng suất dư trong mỗi tiết diện khác nhau sẽ có sự phân bố và giá trị khác nhau (sẽ trình bày chi tiết hơn ở dưới), và có ảnh hưởng bất lợi đến ổn định của thanh. Do đó khi xây dựng các đường cong mất ổn định có xét đến ứng suất dư thì đường cong phải phụ thuộc vào hình dáng tiết diện cụ thể;
- Các sai lệch hình học (độ cong ban đầu của thanh, sự lệch tâm ngẫu nhiên của vị trí đặt tải trọng, sai lệch về tiết diện...).

Các sai lệch hình học thường được xét tới trong bài toán mất ổn định bằng một tham số nào đó, ví

dụ độ lệch tâm ngẫu nhiên ban đầu, hay một độ cong ban đầu của thanh... từ đó giải được phương trình lý thuyết. Đường cong mất ổn định của thanh chịu nén đúng tâm theo lý thuyết của Nga còn xét tới quan hệ ứng suất – biến dạng không tuyến tính (tức là giai đoạn ứng suất trong tiết diện ngang của thanh vượt qua giới hạn đàn hồi  $f_{el}$ ), thông qua việc thay mô đun đàn hồi trong công thức Euler bằng mô đun biến dạng  $E_T < E$  [11].

Ảnh hưởng của ứng suất dư thường được xét tới bằng các thực nghiệm cấu kiện chịu nén đúng tâm số lượng lớn, có thể đến hàng nghìn mẫu [5]. Do Việt Nam chưa có điều kiện thực hiện các nghiên cứu quy mô như vậy, nên dưới đây trình bày một số kết quả nghiên cứu từ các tài liệu liên quan, từ đó đưa ra cơ sở khuyến nghị áp dụng các đường cong mất ổn định cho các mác thép khác nhau ở Việt Nam.

**b. Về ứng suất dư**

**(i) Các yếu tố ảnh hưởng đến độ lớn và phân bố ứng suất dư trong tiết diện**

- Nhìn chung, ứng suất dư có giá trị không nhỏ: hình 2a [5,9] cho thấy ứng suất dư lớn nhất trong tiết diện cán nóng có thể đạt tới 86  $\text{N/mm}^2$ . Các trường hợp khác như tiết diện hàn hoặc gia công nhiệt thì ứng suất dư tại các vùng lân cận vị trí gia nhiệt thậm chí có thể lớn hơn cả giới hạn chảy của thép nền, ví dụ như trên hình 2b, ứng suất dư đạt tới 413  $\text{N/mm}^2$  [6,8];
- Theo [5,6,7,8,9] thì nhìn chung hình dạng tiết diện và phương pháp gia công có ảnh hưởng lớn đến độ lớn và phân bố ứng suất dư;
- Đối với thép hình hoặc tấm cán nóng: ứng suất dư sinh ra chủ yếu từ việc làm nguội không đều sau khi cán [5]. Độ lớn và sự phân bố ứng suất dư trong tiết diện thép hình cán nóng phụ thuộc vào: hình dạng tiết diện, nhiệt độ cán thép, các điều kiện làm nguội, quá trình làm thẳng thanh, và tính chất vật liệu của thép [7];
- Đối với các tiết diện tổ hợp: ngoài ứng suất dư đã sinh ra trong các tấm tổ hợp do cán nóng rồi làm nguội, còn tồn tại ứng suất dư kéo ở vùng lân cận các mối hàn do quá trình nguội của vật liệu hàn. Các ứng suất dư kéo này thường bằng giới hạn chảy của vật liệu hàn, mà giới hạn chảy của vật liệu hàn thường cao hơn giới hạn chảy của thép kết cấu được hàn [5,6,8];
- Các thanh được làm thẳng bằng phương pháp nguội (cold straightening) hoặc có tiết diện tạo hình nguội (cold forming) có ứng suất dư, đặc biệt ở lân

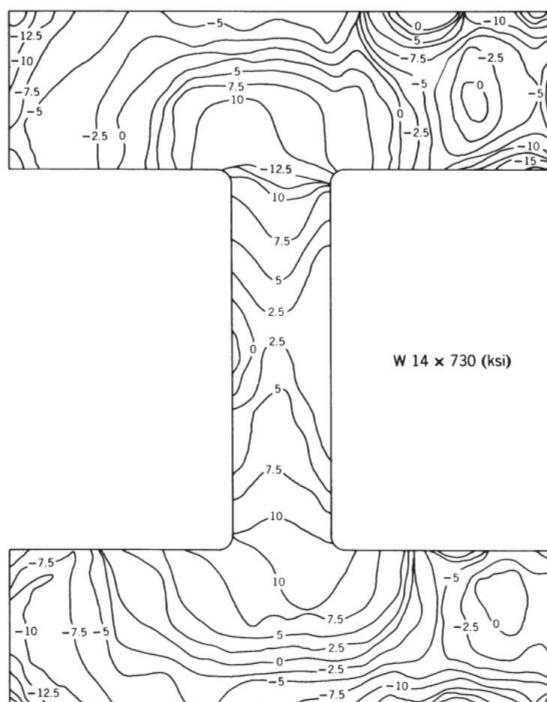
## QUY CHUẨN - TIÊU CHUẨN

cận các vị trí bị uốn mạnh nhất, ví dụ các góc của tiết diện tạo hình nguội [10];

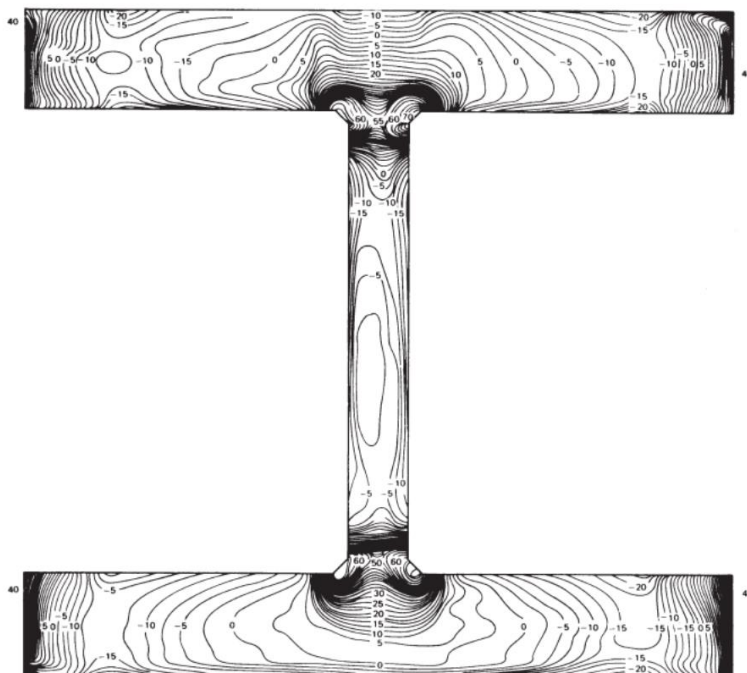
- Cuối cùng, thanh bị cắt bằng phương pháp nhiệt (oxygen) chịu nhiệt độ lớn ở vùng hẹp lân cận vị trí cắt. Tính chất thép kết cấu ở các vùng này bị biến đổi đáng kể, và ứng suất dư tại đây thường phát triển cao hơn so với giới hạn chảy của thép nền [5,6,8];

- Ảnh hưởng của cường độ thép kết cấu đến sự phân bố ứng suất dư không lớn như ảnh hưởng của

hình dạng tiết diện (9). Ứng suất dư đo tại cánh cùng một tiết diện làm từ các mác thép khác nhau cho thấy sự phân bố và độ lớn ứng suất dư khá tương đồng [5,9]. Như vậy, thép có giới hạn chảy càng cao thì tỉ lệ ứng suất dư/giới hạn chảy càng nhỏ, do đó ảnh hưởng của ứng suất dư giảm dần. Vì thế, trong EN 1993-1-1, cùng một hình dáng tiết diện, đối với mác thép S460 thường lấy đường cong mất ổn định cho hệ số uốn dọc cao hơn hoặc bằng so với các mác thép còn lại.



Hình 2a. Ứng suất dư trong tiết diện cán nóng W14x370 (ksi) ( $1 \text{ ksi} = 6,89 \text{ N/mm}^2$ ) [5]



Hình 2b. Các đường đẳng trị ứng suất trong tiết diện tổ hợp hàn WW23x681 (ksi). Các tâm được gia công bằng cắt nhiệt

**2.3 Cơ sở lý thuyết tính toán cột thép chịu nén đúng tâm có xét đến các khiếm khuyết ban đầu theo EN 1993-1-1 và BS EN 5950:2000**

Xét theo các Tiêu chuẩn được nghiên cứu trong bài báo này, thì bài toán ổn định có xét đến các khiếm khuyết được chia thành hai trường phái:

1. EN 1993 và BS 5950 cùng dựa trên một gốc lý thuyết là bài toán ổn định Ayrton-Perry hoặc Perry-Robertson [5]. Trong bài toán này, giả thiết vật liệu thép làm việc hoàn toàn trong giới hạn đàn hồi (sử dụng quan hệ ứng suất – biến dạng đơn giản hóa như hình 1.2).

2. TCVN 5575:2012 và dự thảo TCVN 5575:2021: Dựa trên các tài liệu của Nga tương ứng là SNiP II-3-81\* và SP 16.13330.2017. Hai tiêu chuẩn này là hai giai đoạn phát triển nghiên cứu và thực nghiệm cột thép nén đúng tâm của Nga, nhưng vẫn chung gốc lý thuyết là bài toán Jasinskiy (Ясинский Ф.С., năm 1895). Trong bài toán Jasinskiy, giả thiết vật liệu làm việc ở trạng thái đàn dẻo (ứng suất trong tiết diện  $\sigma$  nằm trong khoảng  $f_{el} < \sigma \leq f_y$ ).

Cả hai bài toán trên đều thống nhất các quan điểm sau:

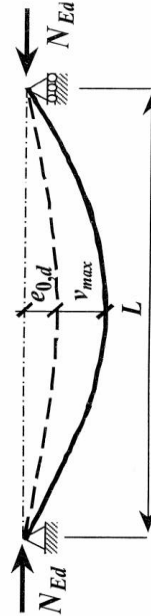
- Công thức Euler (1) chỉ đúng khi vật liệu làm việc hoàn toàn đàn hồi, không có các sai lệch về hình học của thanh và độ lệch tâm của lực nén;
- Khi vật liệu chuyển từ trạng thái làm việc đàn hồi sang đàn dẻo thì độ cứng của cột suy giảm không tuyến tính. Như vậy, lực tới hạn giảm đi so với lực tới hạn tính toán theo công thức Euler (1);
- Phải xem xét tới các khiếm khuyết đã nêu trong mục 2.2 ở trên.

Dưới đây sẽ xem xét chi tiết hơn về cơ sở lý thuyết tính toán ổn định cột thép chịu nén đúng tâm của EN 1993-1-1 và BS 5950:2000. Về cơ sở lý thuyết của Nga và TCVN 5575 hiện hành sẽ được trình bày chi tiết ở một bài báo khác.

**Cơ sở lý thuyết tính toán ổn định cột thép chịu nén đúng tâm của EN 1993-1-1 và BS 5950:2000**

Ayrton-Perry-Robertson<sup>1</sup> (ba người) xem xét bài toán ổn định đối với thanh tiết diện chữ nhật đặc chịu nén đúng tâm bởi lực nén  $N_{Ed}$ , liên kết khớp lý

tường hai đầu thanh, với giả thiết là các khiếm khuyết hình học của thanh có thể xét tới bằng cách cho thanh một độ cong ban đầu  $v_0(x)$  (hình 3). Bản chất lý thuyết của bài toán này vẫn giống như ổn định Euler, nhưng có xét thêm tới độ cong ban đầu của thanh.



Hình 3. Thanh liên kết khớp đơn giản hai đầu với độ cong ban đầu

Độ cong ban đầu  $v_0(x)$  này được biểu diễn dưới dạng nửa hình sin để thuận tiện cho tính toán (mặc dù hình dạng độ cong thực chất không ảnh hưởng đáng kể đến kết quả):

$$v_0(x) = e_{0,d} \sin \frac{\pi x}{L} \tag{4}$$

Với  $e_{0,d}$  là chuyển vị lớn nhất của điểm giữa nhịp (hình 3).

Khi đặt lực nén  $N_{Ed}$  vào thanh như hình 3, thì thanh bị cong thêm một độ cong  $v(x)$ , biểu diễn bằng công thức:

$$v(x) = v_{max} \sin \frac{\pi x}{L} \tag{5}$$

trong đó:  $v_{max}$  – chuyển vị lớn nhất bổ sung thêm do lực  $N_{Ed}$  gây ra.

Phương trình cân bằng tĩnh có xét đến độ cong như sau:

$$v'' + \frac{N_{Ed}}{EI} (v_0 + v) = 0 \tag{6}$$

Giải phương trình trên, ta có công thức:

<sup>1</sup> Ayrton-Perry biến đổi công thức, xem xét và bổ sung thêm vào bài toán Perry-Robertson độ lệch tâm ngẫu nhiên của lực nén. Các bước tính toán và giả thiết hoàn toàn giống nhau. Dưới đây trình bày thẳng công thức Ayrton-Perry.

$$v_{\max} = \frac{N_{Ed}}{N_{Euler,cr} - N_{Ed}} e_{0,d} = \frac{1}{1 - N_{Ed} / N_{Euler,cr}} e_{0,d} \quad (7)$$

Tổng độ cong  $v_{\max} + e_{0,d}$  sẽ gây ra mô men uốn lớn nhất  $M_{Ed}$  tại tiết diện giữa nhịp.

Điều kiện kiểm tra độ bền tiết diện (tham khảo công thức (6.2) của EN 1993-1-1):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{1}{1 - N_{Ed} / N_{Euler,cr}} \frac{N_{Ed} e_{0,d}}{M_{Rd}} \leq 1 \quad (8)$$

trong đó:  $N_{Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0}$  – giá trị thiết kế của độ bền tiết diện chịu lực dọc,  $A$  – diện tích tiết diện;  $f_y$  – giới hạn chảy tiêu chuẩn của thép;  $\gamma_{M0}$  – hệ số an toàn riêng của vật liệu (EN 1993-1-1 lấy bằng 1).

$$M_{Rd} = W_{el} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{I}{h/2} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} - \text{ giá trị thiết kế}$$

của độ bền uốn tiết diện;  $W_{el}$  – mô men kháng uốn của tiết diện,  $h$  – chiều cao tiết diện. Lưu ý tất cả các giá trị trên đều theo phương uốn đang xét của tiết diện.

Khi lực nén đạt tới lực tới hạn  $N_{b,Rd} = \chi N_{Rd}$ , thì vế trái của (8) bằng 1. Giải phương trình với ẩn  $\chi$ , ta có:

$$(1 - \chi)(1 - \chi \bar{\lambda}^2) = e_{0,d} \frac{v_{\max}}{W_{el}} \chi = \eta \chi \quad (9)$$

trong đó:

$$\bar{\lambda}^2 = \frac{N_{Rk}}{N_{Euler,cr}} = \frac{A f_y}{N_{Euler,cr}} \quad (10)$$

$\bar{\lambda}$  - độ mảnh không thứ nguyên (non-dimensional slenderness);

$\chi$  - hệ số giảm độ bền do mất ổn định (hệ số uốn dọc);

$\eta$  – sự khiếm khuyết ban đầu tổng hợp (generalized initial imperfection).

Công thức (9) được gọi là công thức Ayrton-Perry [5].

Từ cơ sở lý thuyết trình bày ở trên, có thể nhận thấy bài toán Ayrton-Perry-Robertson mới chỉ xét tới các sai lệch hình học, chưa xét được vấn đề ứng suất dư. Vấn đề này được nghiên cứu phát triển từ bài toán Ayrton-Perry-Robertson và kiểm chứng bằng thực nghiệm cho nhiều loại hình tiết diện khác nhau [5]. Kết quả là các công thức thực nghiệm được đưa vào trong BS 5950 (xây dựng thành 4 đường cong mất ổn định a, b, c, d) [12] và EN 1993-1-1 (5 đường cong mất ổn định  $a_0$ , a, b, c, d) [1, 2]. Hệ số thực nghiệm xét đến các khiếm khuyết trong BS 5950 vẫn gọi là hệ số Perry-Robertson [12], còn trong EN 1993-1-1 gọi là hệ số khiếm khuyết (imperfection factor  $\alpha$ ) – bảng 2 [1, 2].

Hệ số  $\eta$  có thể biểu diễn dưới dạng sau:

$$\eta = \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) \quad (11)$$

trong đó:  $\alpha$  – Hệ số khiếm khuyết hoặc hệ số không hoàn chỉnh (imperfection factor) (sử dụng trong EN 1993-1-1), phụ thuộc vào hình dạng tiết diện, hướng trục mất ổn định, mác thép.

Từ (9), (11), ta thấy nếu  $\bar{\lambda} \leq 0,2$  thì  $\chi = 1$  (đoạn nằm ngang trên hình 1).

**Bảng 2.** Hệ số khiếm khuyết cho các đường cong mất ổn định theo EN 1993-1-1 [1]

| Đường cong mất ổn định      | $a_0$ | a    | b    | c    | d    |
|-----------------------------|-------|------|------|------|------|
| Hệ số khiếm khuyết $\alpha$ | 0,13  | 0,21 | 0,34 | 0,49 | 0,76 |

Ý nghĩa của hệ số khiếm khuyết chính là kể đến ảnh hưởng của các khiếm khuyết (đã nêu ở 2.2 của bài báo này) làm giảm khả năng chống mất ổn định của cấu kiện.

### 3. Áp dụng đường cong mất ổn định cấu kiện thép chịu nén đúng tâm cho các mác thép khác theo một số Tiêu chuẩn tương đương EN 1993-1-1

Tác giả lựa chọn tiêu chuẩn tương đương EN 1993-1-1 của Singapore và của Belarus để nghiên cứu, trình bày trong phần này. Sở dĩ lựa chọn hai quốc gia này vì Tiêu chuẩn SS EN 1993-1-1 của Singapore, các Tiêu chuẩn ТКП EN 1993-1-1-2009

và ТКП 45-5.04-274-2012 của Belarus cơ bản tương đồng với EN 1993-1-1, nhưng có xét tới các mác thép khác. Đặc biệt Belarus đang áp dụng đồng thời nhiều tiêu chuẩn cốt lõi khác của Nga, khá giống Việt Nam hiện nay.

#### 3.1 Singapore

SS EN 1993-1-1 và Phụ lục quốc gia [13] vẫn giữ nguyên các đường cong mất ổn định cấu kiện chịu nén đúng tâm như bản EN 1993-1-1 gốc.

Tài liệu Hướng dẫn sử dụng các mác thép kết cấu khác cho BS 5950 và Eurocode 3 BC1:2012 [14] của Cơ quan nhà nước có thẩm quyền về nhà

## QUY CHUẨN - TIÊU CHUẨN

và công trình (BCA) - Singapore (tài liệu này được viện dẫn trong phụ lục quốc gia NA SS EN 1993-1-1 của Singapore [13]) phân chia các mức thép thành 03 nhóm (class) 1, 2, 3, dựa trên một quy trình đánh giá chặt chẽ.

Theo đó:

- Nhóm 1 là nhóm vật liệu thép có chứng nhận chất lượng đảm bảo theo các tiêu chuẩn sản xuất được chấp nhận ở Singapore và đáp ứng các yêu cầu về đánh giá độ tin cậy;

- Nhóm 2 là nhóm vật liệu thép không có chứng nhận như nhóm 1, nhưng đáp ứng các yêu cầu về tính chất vật liệu thông qua các thí nghiệm, và được sản xuất theo quy trình đảm bảo chất lượng của nhà sản xuất, đáp ứng các yêu cầu về đánh giá độ tin cậy;

- Nhóm 3 là nhóm vật liệu thép không đáp ứng ít nhất một trong hai yêu cầu đánh giá sự phù hợp và đánh giá độ tin cậy.

Các khuyến nghị thiết kế của Singapore cho Eurocode 3 đối với các nhóm thép như bảng 2 dưới đây [14]:

| Các khuyến nghị thiết kế | Nhóm 1   | Nhóm 2  | Nhóm 3   |
|--------------------------|--|---|--|
| Giới hạn chảy $f_y$      | $f_y = R_{eh}$   | $f_{y0} = R_{eh}/1,1 \leq R_m/1,3$ hoặc $460 \text{ N/mm}^2$  | $f_{y0} = 170 \text{ N/mm}^2$ với chiều dày thép $\leq 16 \text{ mm}$<br>$f_{y0}$ giảm dần theo chiều dày thép |
| Giới hạn bền $f_u$       | - $f_u = 1,2f_y$ với $f_y \leq 460 \text{ N/mm}^2$<br>- $f_u = f_y$ với $f_y \geq 460 \text{ N/mm}^2$ và không cho phép thiết kế dèo | $f_u = 1,1f_y$<br>Với $f_y$ là giới hạn chảy, lấy bằng $(0,95-0,8)f_{y0}$ phụ thuộc vào chiều dày thép. | $f_u = 1,1f_y$ , với $f_y = (170-135) \text{ N/mm}^2$ , giảm dần theo chiều dày thép tăng lên.                 |
| Các thông số khác        | Mô đun đàn hồi $E = 205000 \text{ N/mm}^2$<br>Mô đun cắt $G = E/(2(1+\nu))$<br>Hệ số Poát $\nu = 0.3$                                |   |  |

$R_{eh}$ ,  $R_m$  – các ký hiệu giới hạn chảy và giới hạn bền của thép theo tiêu chuẩn sản phẩm.

Ngoài ra, còn có một số yêu cầu cụ thể khác liên quan đến độ giãn dài khi đứt, tỉ số  $f_u/f_y$ , thành phần hóa học của thép được nêu trong [14].

Như vậy, các yêu cầu của Singapore đối với mức thép khác quy định trong Eurocode 3 nhìn chung là tương đương hoặc chặt chẽ hơn. Ví dụ thép SS400 theo JIS G3101:2015 của Nhật có  $R_{eh} = 245 \text{ N/mm}^2$  (chiều dày từ 3-16mm),  $R_m = 400 \text{ N/mm}^2$ , nhưng tại Singapore chỉ được lấy  $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ ,  $f_u = 1,2 \times 235 = 282 \text{ N/mm}^2$  (nếu là thép nhóm 1).

### 3.2 Belarus

Các Tiêu chuẩn ТКП EN 1993-1-1-2009 [15] và ТКП 45-5.04-274-2012 [16] của Belarus cho phép áp dụng các đường cong mất ổn định cấu kiện chịu nén đúng tâm như bản gốc EN 1993-1-1.

Phụ lục quốc gia của Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép theo Eurocode 3 của Belarus [15] khác với Tiêu chuẩn của Singapore, chỉ đề cập đến các mức thép khác được sản xuất theo các GOST của Nga (GOST 27772, 10705, 10706, 8731), mà không có các mức thép theo Tiêu chuẩn Nhật, Mỹ, Trung Quốc...

Theo [15], hệ số riêng cho vật liệu thép khi tính toán mất ổn định cấu kiện chịu nén đúng tâm được lấy như sau:

$$\gamma_{M1} = \gamma_m / \gamma_c$$

trong đó:

$\gamma_m = 1,025$  với thép theo GOST 27772; 1,05 với các mức thép còn lại.

$\gamma_c$  – hệ số điều kiện làm việc của cấu kiện thép, nằm trong khoảng từ 0,75-1,2 tùy trường hợp tính toán cấu kiện cụ thể. Đối với các trường hợp tính toán mất ổn định đúng tâm thông thường, hệ số  $\gamma_c$  nằm trong khoảng 0,8-0,95. Theo đó, hệ số  $\gamma_{M1}$  sẽ nằm trong khoảng: 1,08-1,28 đối với thép theo GOST 27772, 1,105-1,31 đối với các mức thép theo GOST khác. Ngoài ra, cần lưu ý rằng phụ lục quốc gia Eurocode 3 của Belarus còn xét đến tầm quan trọng của công trình/cấu kiện, thông qua hệ số tầm quan trọng  $\gamma_n$ .

Như vậy, về cơ bản các TC EN 1993-1-1 của Singapore và Belarus vẫn cho phép áp dụng nguyên các đường cong mất ổn định như bản gốc [13,14,15]. Sự khác biệt nằm ở hệ số riêng về vật liệu khi xét các mức thép khác.

### 4. Nhận xét và kiến nghị

- Các khiếm khuyết (imperfections) được xem xét tới trong bài toán mất ổn định cấu kiện thép chịu

nén đúng tâm gồm có các sai lệch hình học và ứng suất dư trong tiết diện. Các khiếm khuyết này làm suy giảm đáng kể khả năng chống mất ổn định của cấu kiện, được xét tới bởi hệ số khiếm khuyết  $\alpha$  và 05 đường cong mất ổn định khác nhau trong EN 1993-1-1. Đối với các mác thép S235-S460 (có thể mở rộng đến S700 theo EN 1993-1-12), việc lựa chọn đường cong mất ổn định căn cứ vào giới hạn chảy của thép và hình dạng tiết diện của thanh. Cường độ thép càng lớn thì ảnh hưởng của ứng suất dư càng nhỏ, vì vậy từ S460 trở lên áp dụng một nhóm đường cong mất ổn định khác so với nhóm S235-S420;

- Các sai lệch hình học có thể xét tới trong bài toán mất ổn định thông qua việc giải phương trình ổn định có kể đến tham số sai lệch. Tuy nhiên, ảnh hưởng của ứng suất dư cần dựa trên số lượng thực nghiệm lớn. Qua đó, cho thấy hình dạng tiết diện và phương pháp gia công chế tạo tiết diện có ảnh hưởng đáng kể đến độ lớn và phân bố ứng suất dư trong tiết diện, còn cường độ thép có ảnh hưởng ít hơn. Như vậy, khi xem xét áp dụng đường cong mất ổn định cho các mác thép không quy định trong EN 1993-1-1 thì cần lưu ý đến hình dạng tiết diện và phương pháp gia công, còn về giới hạn chảy của thép có thể gom thành 2 nhóm tương tự như EN 1993-1-1;

- Có thể trực tiếp áp dụng các đường cong mất ổn định chịu nén đúng tâm của EN 1993-1-1, cho các mác thép không được quy định trong EN 1993-1-1 như sau: Căn cứ trên giới hạn chảy tiêu chuẩn của thép và hình dạng tiết diện để lựa chọn đường cong phù hợp. Các mác thép có giới hạn chảy  $<460 \text{ N/mm}^2$  sẽ thuộc nhóm 1 (đa số các kết cấu thép đều thuộc nhóm này), và các mác thép có giới hạn chảy từ  $460 \text{ N/mm}^2$  trở lên sẽ thuộc nhóm 2. Lưu ý rằng, mác thép sử dụng phải thỏa mãn điều kiện về độ dẻo tối thiểu, độ dẻo dai và các đặc trưng qua chiều dày theo 3.2.2, 3.2.3, 3.2.4 của EN 1993-1-1 và phụ lục quốc gia của Việt Nam;

- Kinh nghiệm tham khảo từ Tiêu chuẩn EN của Singapore và Belarus cho thấy, có thể áp dụng được các đường cong mất ổn định nêu trên đối với các mác thép không quy định trong EN 1993-1-1, tuy nhiên cần xem xét thêm vấn đề hệ số an toàn riêng cho vật liệu, phụ thuộc vào chất lượng và độ tin cậy trong sản xuất. Vấn đề này không ảnh hưởng đến việc lựa chọn đường cong mất ổn định, nhưng ảnh hưởng đến kết quả tính toán cấu kiện,

và sẽ được đề cập cụ thể trong một nghiên cứu khác.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. EN 1993-1-1:2010. Design of steel structures. *Part 1-1: General rules and rules for buildings*.
2. BS EN 1993-1-1:2005+A1:2014 British Standard. Design of steel structures. *Part 1-1: General rules and rules for buildings*.
3. Technical committee 8 (2006). Rules for member stability in EN 1993-1-1. *ECCS*.
4. Leroy Gardner and David A. Nethercot. Designers' guide to Eurocode 3: Design of steel buildings EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-8, 2<sup>nd</sup> edition, Thomas Telford.
5. Ronald Ziemian. Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures. *6th edition*.
6. Alpsten, G.A.; Tall, L. (1970) Residual stresses in heavy welded shapes. *Weld Journal*, vol. 49, No.3, pp. 93-105.
7. Beedle, L.S.; Tall, L. (1960). Basic column strength. *ASCE Journal Struct. Div.*, Vol. 86, No. ST5, pp 139-173.
8. BJORHOVDE, R., BROZZETTI, J., ALPSTEN, G.A.; TALL, L. (1972). Residual stresses in thick welded plates. *Weld journal*, vol. 51, No. 8, pp 392-405.
9. Tall, L. Recent developments in the study of column behavior. *Journal Inst.Eng.Aust.*, Vol. 36, No. 12, pp. 319-333.
10. Yu, W.W. (1992). Cold-formed steel design. 2<sup>nd</sup> Edition, Wiley, New York.
11. Кудишин Ю.И. и др (2011). Металлические конструкции. 13-е издание. Москва.
12. BS 5950:2000. Structural use of steelwork in building.
13. SS EN 1993-1-1:2010 và NA to SS EN 1993-1-1:2010. Design of steel structures. *Part 1-1: General rules and rules for buildings*.
14. BC1:2012 (2013). Design guide on Use of Alternative Structural Steel to BS 5950 and Eurocode 3. *Building and Construction Authority, Singapore*.
15. ТКП EN 1993-1-1-2009 и Национальные Приложения (2010). Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий. *Belarus*.
16. ТКП 45-5.04-274-2012 (02250) Стальные конструкции (2012). Правила расчета. *Belarus*.

Ngày nhận bài: 11/3/2022.

Ngày nhận bài sửa: 08/5/2022.

Ngày chấp nhận đăng: 09/5/2022.