

Tính toán dầm thép tiết diện hình chữ I theo tiêu chuẩn châu Âu EN 1993-1-1

Design I beam section according to Eurocode EN 1993-1-1

Lê Dũng Bảo Trung

Tóm tắt

Bài báo trình bày về cách phân loại tiết diện và tính toán dầm thép tiết diện hình chữ I, chịu mô men uốn M và lực cắt V, kể đến ổn định ngang xoắn, theo tiêu chuẩn châu Âu EN 1993-1-1. Thực hiện ví dụ tính toán nhằm minh họa lý thuyết tính toán và áp dụng trong tính toán thực hành.

Từ khóa: Phân loại tiết diện, tính toán cấu kiện chịu uốn, tiết diện I, Tiêu chuẩn châu Âu

Abstract

This paper presents the method of classification of cross section, and the method of design I beam steel section, subject to bending moment M and vertical shear V, including lateral torsional buckling, according to European standard EN 1993-1-1. Example calculation is to illustrate calculation theory and apply it in practical calculation.

Key words: Classification of cross sections, calculation bending component, I sections shape, European standard

1. Đặt vấn đề

Dầm thép là cấu kiện cơ bản, quan trọng trong kết cấu xây dựng, dùng để đỡ sàn, vượt nhịp. Dầm được sử dụng trong các khung bằng thép, hệ dầm sàn thép hoặc làm dầm mái vượt nhịp lớn. Dầm được quy định cụ thể trong tiêu chuẩn thiết kế của Việt Nam TCVN 5575:2012; tuy nhiên cần có các cấu tạo khá phức tạp như sườn ngang, sườn dọc để gia cố bản bụng; ngoài ra dầm còn phải đảm bảo các điều kiện ổn định cục bộ, [1], [2], khiến cho việc gia công, chế tạo trở nên phức tạp, hình thức dầm trong một số trường hợp không đảm bảo thẩm mỹ.

Trong khi đó tiêu chuẩn châu Âu (EN 1993-1-1) v.v.. cũng quy định chi tiết việc tính toán cấu kiện này và quan trọng là cho phép không cần dùng sườn để gia cố bản bụng, khiến cho việc gia công, chế tạo đơn giản hơn, hình thức dầm trở nên gọn, đẹp, giúp chúng ứng dụng nhiều hơn trong xây dựng dân dụng. Chính vì thế, việc nghiên cứu Tiêu chuẩn châu Âu cũng là hướng tiếp cận tốt, phục vụ cho công tác đào tạo cũng như áp dụng trong thực hành theo hướng hội nhập Quốc tế, bổ sung cho tiêu chuẩn hiện hành của Việt Nam về Thiết kế kết cấu thép, sẽ có ý nghĩa thực tiễn.

2. Tính toán dầm thép hình chữ I tổ hợp

Tính toán dầm hình chữ I theo tiêu chuẩn châu Âu là quá trình chọn trước tiết diện sau đó phân loại và kiểm tra, đánh giá khả năng chịu lực của tiết diện (gồm các khả năng về bền, ổn định tổng thể và võng). Trên cơ sở các tính toán đó, điều chỉnh kích thước tiết diện dầm đến khi phù hợp với yêu cầu chịu lực. Cụ thể gồm 3 bước như sau:

2.1. Bước 1: Chọn trước tiết diện và phân loại tiết diện

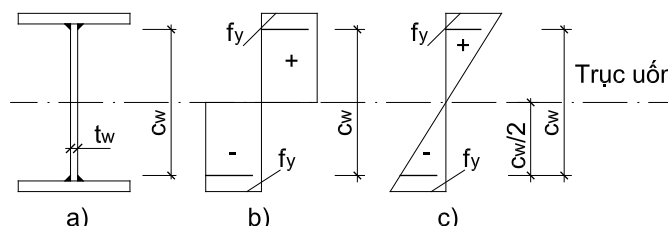
Tiến hành chọn trước tiết diện và phân loại tiết diện, theo đó tiết diện chia thành bốn loại:

- Loại 1: các tiết diện có thể hình thành khớp dẻo với khả năng xoay cần thiết theo yêu cầu của phương pháp phân tích dẻo mà không bị giảm độ bền do các vấn đề về mất ổn định cục bộ.
- Loại 2: các tiết diện có thể phát triển đầy đủ mô men dẻo, nhưng bị giới hạn khả năng xoay do mất ổn định cục bộ.
- Loại 3: gồm các tiết diện có ứng suất ở thớ chịu nén ngoài cùng có thể đạt đến ứng suất chảy, nhưng mất ổn định cục bộ lại ngăn cản sự phát triển của độ bền chịu mô men dẻo.
- Loại 4: gồm các tiết diện mà tại đó mất ổn định cục bộ xảy ra trước khi đạt đến giới hạn chảy tại vùng này hoặc vùng khác của tiết diện. Đây là các tiết diện thanh thành mỏng.

Để phân loại tiết diện trước hết cần phân loại từng bộ phận riêng lẻ của tiết diện, xác định theo giá trị giới hạn của tỷ lệ chiều rộng và chiều dày (độ mảnh), cho trong các Công thức (1), (2) và (3). Dầm hình chữ I chỉ chịu mô men M nên phân loại các bộ phận tiết diện như sau, [4]:

- Phân loại bản bụng:

Kí hiệu và dạng phân bố ứng suất thể hiện trên Hình 1.



Hình 1. Kí hiệu phân loại bản bụng

Lê Dũng Bảo Trung
Bộ môn Kết cấu Thép Gỗ
Khoa Xây dựng
Email: Trungldb@gmail.com.
ĐT: 098 583 9898

Ngày nhận bài: 5/5/2021
Ngày sửa bài: 14/5/2021
Ngày duyệt đăng: 02/01/2024

a) Kích thước phân loại bản bụng; b) Phân bố ứng suất bản bụng khi phân tích dẻo, áp dụng với tiết diện loại 1, 2; c) Phân bố ứng suất khi phân tích đàn hồi, áp dụng với tiết diện loại 3

Độ mảnh giới hạn phân loại bản bụng:

Tiết diện loại 1: $c_w/t_w \leq 72\varepsilon$

Tiết diện loại 2: $c_w/t_w \leq 83\varepsilon$

Tiết diện loại 3: $c_w/t_w \leq 124\varepsilon$

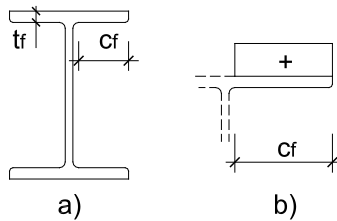
trong đó:

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} \quad (2)$$

f_y là giới hạn chảy của thép làm dầm; c_w là chiều dài thông thủy bản bụng nằm giữa hai mối hàn hoặc giữa chân hai bán kính cong; t_w là chiều dày bản bụng.

- Phân loại bản cánh:

Kí hiệu và dạng phân bố ứng suất thể hiện trên Hình 2.



Hình 2. Kí hiệu phân loại bản cánh

a) Kí hiệu kích thước; b) Dạng phân bố ứng suất, áp dụng với tiết diện loại 1, 2 và 3.

Độ mảnh giới hạn phân loại bản cánh như sau:

Tiết diện loại 1: $c_f/t_f \leq 9\varepsilon$

Tiết diện loại 2: $c_f/t_f \leq 10\varepsilon$

Tiết diện loại 3: $c_f/t_f \leq 14\varepsilon$ (3)

với c_f là độ nhô ra của bản cánh tính từ đầu ngoài mỗi hàn (với dầm tổ hợp hàn) hoặc đầu ngoài bán kính cong tiếp giáp cánh và bụng dầm (với dầm cán nóng); t_f là chiều dày bản cánh.

Sau khi phân loại từng bộ phận riêng lẻ, tiết diện được phân loại tổng thể lấy theo phân loại cao nhất (bất lợi nhất) của các bộ phận riêng lẻ.

2.2. Bước 2: Kiểm tra khả năng chịu lực

2.2.1. Kiểm tra các khả năng bền

2.2.1.1. Kiểm tra khả năng bền uốn

Giá trị thiết kế của mô men uốn nội lực M_{Ed} tại mỗi tiết diện cần thỏa mãn:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (4)$$

trong đó M_{c,Rd} là khả năng chịu mô men của tiết diện dầm.

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} \text{ với tiết diện phân loại 1 hoặc 2;}$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} \text{ với tiết diện phân loại 3;}$$

với M_{pl,Rd} là khả năng chịu mô men dẻo của tiết diện; M_{el,Rd} là khả năng chịu mô men đàn hồi của tiết diện; W_{pl} là mô men kháng uốn dẻo; W_{el,min} là mô men kháng uốn đàn hồi ứng với trục có ứng suất lớn nhất; $\gamma_{M0} = 1,0$ là hệ số riêng (cho cấu kiện chịu lực).

2.2.1.2. Kiểm tra khả năng bền cắt

Giá trị thiết kế của lực cắt nội lực V_{Ed} tại mỗi tiết diện cần thỏa mãn:

- Trường hợp kiểm tra khi phân tích dẻo:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1,0 \quad (5)$$

trong đó V_{Ed} là lực cắt thiết kế (nội lực cắt); V_{pl,Rd} là khả năng chịu cắt dẻo của tiết diện.

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}};$$

A_v là diện tích chịu cắt, tính toán như sau:

- Với tiết diện I, H cán nóng: A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f nhưng không nhỏ hơn ηh_wt_w;

- Với tiết diện I, H tổ hợp hàn: A_v = ηh_wt_w.

Hệ số cho tiết diện chịu cắt η = 1,2 cho mác thép đến S460, bằng 1,0 cho mác thép cao hơn;

A là diện tích tiết diện; b là bề rộng bản cánh; h_w là chiều cao bản bụng; r là bán kính chân.

- Trường hợp tổng quát kiểm tra khi phân tích đàn hồi:

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y / (\sqrt{3} \gamma_{M0})} \leq 1,0 \quad (6)$$

với ứng suất tiếp trong bụng dầm τ_{Ed} tính theo công thức:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} S}{I t}$$

trong đó S là mô men tĩnh của nửa tiết diện; I là mô men quán tính của tiết diện; t là chiều dày bản bụng. Riêng với tiết diện I ứng suất trong bản bụng có thể được lấy theo điều kiện:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \text{ nếu } A_f/A_w \geq 0,6 \quad (7)$$

Khả năng ổn định do lực cắt của bản bụng cũng có thể ảnh hưởng đến khả năng chịu cắt của bản bụng, chi tiết trình bày trong tài liệu [6], trong phạm vi bài báo không xem xét.

2.2.1.3. Kiểm tra khả năng bền uốn và cắt tương tác

Khi lực cắt trên tiết diện nhỏ hơn một nửa khả năng bền cắt dẻo thì ảnh hưởng của nó đến khả năng chịu mô men của tiết diện có thể bỏ qua. Ngược lại thì khả năng chịu mô men tính toán của tiết diện cần được sử dụng cường độ chảy chiết giảm:

$$(1 - \rho) f_y \quad (8)$$

$$\text{với } \rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

Khả năng bền uốn dẻo chiết giảm kể đến lực cắt tác dụng đồng thời đối với tiết diện chữ I với hai cánh bằng nhau, uốn quanh trục khỏe (trục y-y) như sau:

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left[W_{pl,y} - \frac{\rho A_w^2}{4t_w} \right] f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\text{nhưng } M_{y,V,Rd} \leq M_{y,c,Rd} \quad (9)$$

ở đây M_{y,c,Rd} ở công thức (4), tính với trục y-y của tiết

diện; diện tích bản bụng $A_w = h_w t_w$.

2.2.2. Kiểm tra điều kiện ổn định tổng thể

Dưới tác dụng của mô men uốn, phần cánh nén nằm giữa hai điểm cố kết có khả năng bị mất ổn định tổng thể, vênh ra ngoài mặt phẳng dầm, làm tiết diện dầm bị xoay gây ra hiện tượng mất ổn định ngang xoắn. Công thức kiểm tra điều kiện ổn định ngang xoắn có dạng:

$$M_{y,Ed} \leq M_{b,Rd} \quad (10)$$

trong đó $M_{y,Ed}$ là mô men uốn thiết kế trên đoạn dầm khảo sát; $M_{b,Rd}$: khả năng ổn định tổng thể ngang xoắn của đoạn dầm khảo sát. Đối với đoạn dầm có tiết diện không đổi thuộc phân loại 1, 2 hoặc 3 khả năng ổn định tổng thể ngang xoắn khi chịu uốn xác định theo công thức:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (11)$$

với W_y là mô men kháng uốn, xác định như trong Công thức (4). Tiết diện phân loại 1, 2 tính bằng $W_{y,pl}$; với tiết diện phân loại 3 tính bằng $W_{y,el}$; $\gamma_{M1} = 1,0$: hệ số riêng cho cấu kiện chịu lực.

Hệ số chiết giảm χ_{LT} tính theo công thức sau:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}, \quad \text{nhưng } \chi_{LT} \leq 1,0 \text{ và } \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \quad (12)$$

$$\text{với hệ số } \Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right],$$

$$\text{và độ mảnh quy đổi } \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}.$$

Hệ số sai lệch cho đường cong oằn bên kèm xoắn (kể đến sự ảnh hưởng do hình thức tiết diện) α_{LT} xác định như sau:

- Tiết diện I cán nóng: khi $h/b \leq 2$, $\alpha_{LT} = 0,34$;
khi $h/b > 2$, $\alpha_{LT} = 0,49$.
- Tiết diện I tổ hợp hàn: khi $h/b \leq 2$, $\alpha_{LT} = 0,49$;
khi $h/b > 2$, $\alpha_{LT} = 0,76$. (13)

Để tính đến ảnh hưởng của sự phân bố mô men trong phạm vi giữa hai điểm cố kết của phần tử đang xét cần sử dụng hệ số $\chi_{LT,mod}$ điều chỉnh như sau:

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f}, \quad \text{nhưng } \chi_{LT,mod} \leq 1,0 \text{ và } \chi_{LT,mod} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \quad (14)$$

Hệ số f cho trong EN 1993-1-1 như sau:

$$f = 1 - 0,5(1 - k_c) \left[1 - 2,0(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right] \quad (15)$$

Với k_c là hệ số hiệu chỉnh hình dạng biểu đồ mô men trong đoạn cấu kiện cho trong Bảng 1.

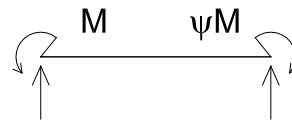
Để tính độ mảnh quy đổi $\bar{\lambda}_{LT}$ trong Công thức (12) cần tính được M_{cr} , là mô men uốn tới hạn đàn hồi khi xoắn của đoạn dầm nằm giữa hai điểm kiểm chế xoắn. Với đoạn dầm có tiết diện không đổi, tiết diện có hai trục đối xứng, chịu tải trọng trong mặt phẳng quán tính chính trung tâm, mô men xoắn tới hạn đàn hồi M_{cr} tính theo công thức, [3], [7]:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{L^2} \left(\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 G I_T}{\pi^2 E I_z} \right)^{0,5} \quad (16)$$

trong đó $G \approx 8,1 \times 10^4$ N/mm² là mô đun đàn hồi trượt; $E = 2,1 \times 10^5$ (N/mm²) là mô đun đàn hồi của thép; $\nu = 0,3$ là hệ số Poisson; I_T là hằng số xoắn; I_w là hằng số vênh (mô men quán tính quật); I_z là mô men quán tính của tiết diện đối với trục yếu; L là chiều dài (xem xét ổn định) cấu kiện nằm giữa các điểm kiểm chế xoắn; C_1 là hệ số tỉ lệ bằng M_{cr} với biểu đồ mô men phân bố thực tế chia cho M_{cr} với biểu đồ mô men phân bố đều, xác định theo Công thức (17), [3].

$$C_1 = 1,88 - 1,4\psi + 0,52\psi^2, \text{ nhưng } C_1 \leq 2,70 \quad (17)$$

trong đó ψ là tỉ số mô men ở hai đầu ($-1,0 \leq \psi \leq 1,0$) xác định như Hình 3.



Hình 3. Mô men hai đầu đoạn dầm

2.2.3. Kiểm tra điều kiện độ võng

Mục 7.2.1, [4] ghi rõ “giới hạn của biến dạng theo phương đứng được xác định cho mỗi dự án và được sự đồng ý của khách hàng”. Như vậy [4] không đưa ra giới hạn cụ thể về độ võng. Tính toán thực hành tham khảo tiêu chuẩn Anh về kết cấu thép, [5], tổng hợp trong Bảng 2.

2.3. Bước 3: Đánh giá, điều chỉnh, lựa chọn tiết diện thiết kế

Nếu tiết diện dầm được tính toán như trên là phù hợp, đảm bảo an toàn, hợp lý, tiết kiệm, đạt được mục tiêu đề ra thì sử dụng để thiết kế. Còn nếu tiết diện không đáp ứng các yêu cầu đề ra thì cần điều chỉnh tăng hoặc giảm kích thước các bộ phận của tiết diện, hoặc thậm chí thay đổi hạng thép làm dầm, để đạt được tiết diện dầm thiết kế phù hợp nhất.

3. Ví dụ tính toán

Tính dầm thép chữ I tổ hợp tiết diện không đổi, chịu tải trọng tiêu chuẩn qtc = 90 kN/m; tải trọng tính toán $q_{tt} = 110$ kN/m, nhịp dầm $L = 12$ m, dầm liên kết hai đầu khớp. Khoảng cách giữa hai điểm kiểm chế xoắn $L_0 = 3,0$ m. Thép làm dầm hạng S235 có $f_y = 235$ N/mm². Độ võng giới hạn $L/360$.

Bảng 1. Hệ số hiệu chỉnh k_c

Phân bố mô men M	Hệ số k_c
$\psi = 1$	1,0
$-1 \leq \psi \leq 1$	$1/(1,33 - 0,33\psi)$
$\psi = -1$	0,94
$\psi = -1$	0,90
$\psi = -1$	0,91
$\psi = -1$	0,86
$\psi = -1$	0,77
$\psi = -1$	0,82

Bảng 2. Độ võng giới hạn dầm thép theo tiêu chuẩn Anh

STT	Loại cấu kiện	Độ võng giới hạn
1	Dầm con xon	L/180
2	Dầm đỡ khối xây trát vữa hoặc các vật liệu hoàn thiện dễ vỡ khác	L/360
3	Các loại dầm khác	L/200
4	Dầm đỡ cầu trục để các bánh xe hoạt động ổn định	L/600

Bài giải

Bước 1 - Chọn tiết diện và phân loại tiết diện

Chọn tiết diện dầm $h \times b \times t_f \times t_w = 1200 \times 280 \times 20 \times 14$ mm, đường hàn liên kết cánh và bụng có $h_f = 8$ mm.

Có $h_w = 1160$ mm, $c_w = 1144$ mm, $c_f = 125$ mm.

Các đặc trưng hình học của tiết diện gồm:

$A = 2,74 \times 10^4$ mm²; $I_y = 5,72 \times 10^9$ mm⁴;

$I_z = 7,34 \times 10^7$ mm⁴; $I_T = 2,55 \times 10^6$ mm⁴;

$I_w = 2,64 \times 10^{13}$ mm⁶; $W_y, e_l = 9,53 \times 10^6$ mm³;

$W_{y, pl} = 1,13 \times 10^7$ mm³.

Phân lớp bản bụng tiết diện:

$c_w/t_w = 1144/14 = 81,7 < 83 \times \epsilon = 83$ nên bản bụng thuộc loại 2.

Phân lớp bản cánh tiết diện: $c_f/t_f = 125/20 = 6,25 < 9 \epsilon = 9$ nên bản cánh thuộc loại 1.

Phân lớp tiết diện tổng thể thuộc loại 2.

Bước 2 - Kiểm tra khả năng chịu lực

Mô men uốn tính toán $M_{Ed} = 1980$ kNm; lực cắt tính toán $V_{Ed} = 660$ kN

Kiểm tra điều kiện khả năng bền uốn:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,13 \times 10^7 \times 235 \times 10^{-6}}{1,0} = 2659,6 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{1980}{2659,6} = 0,74 \leq 1,0,$$

nên dầm đảm bảo khả năng bền uốn.

Kiểm tra khả năng bền cắt:

$$A_v = \eta h_w t_w = 1,2 \times 1160 \times 14 = 19488 \text{ mm}^2.$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{19488 \times 235 \times 10^{-3}}{\sqrt{3} \times 1,0} = 2644,1 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1,13 \times 10^7 \times 235}{11582,3 \times 10^6}} = 0,48,$$

nên dầm đảm bảo khả năng bền cắt.

Do $0,5 \times V_{pl,Rd} = 1322,0$ kN $> V_{Ed}$ nên không cần kiểm tra khả năng bền uốn và cắt tương tác.

Các điểm kiểm chế chia dầm thành 4 đoạn bằng nhau, kiểm tra ổn định tổng thể cho đoạn ở giữa. Tại vị trí cách gối tựa 3,0 m có mô men $M_1 = 1485$ kNm.

Hệ số $\psi = 1485/1980 = 0,75$.

$$C_1 = 1,88 - 1,4 \times 0,75 + 0,52 \times 0,75 = 1,122;$$

$$M_{cr} = 11582,3 \text{ kNm};$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1,13 \times 10^7 \times 235}{11582,3 \times 10^6}} = 0,48,$$

$$\alpha_{LT} = 0,76;$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + 0,76 \times (0,48 - 0,2) + 0,48^2 \right] = 0,72$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,72 + \sqrt{0,72^2 - 0,48^2}} = 0,794$$

Từ đó tính được

$$M_{b,Rd} = 0,794 \times 1,13 \times 10^7 \times 235 \times 10^{-6} / 1,0$$

$= 2111,7$ kNm $> M_{Ed} = 1980$ kNm nên dầm đảm bảo khả năng ổn định ngang xoắn.

Kiểm tra điều kiện võng:

$\Delta/L = 1,69 \times 10^{-3} < 1/360 = 2,8 \times 10^{-3}$ nên dầm đảm bảo điều kiện võng.

Bước 3: Đánh giá, điều chỉnh tiết diện thiết kế

Do điều kiện ổn định ngang xoắn có tỉ lệ:

$M_{Ed}/M_{b,Rd} = 1980/2111,7 = 0,94$ nên tiết diện dầm lựa chọn là hợp lý, tiết kiệm, đảm bảo khả năng chịu lực.

Kết luận và kiến nghị

Qua nội dung trình bày ở trên, bài báo đã đạt được một số kết quả chính như sau:

- Đã trình bày cách phân loại tiết diện và cách tính toán dầm thép tiết diện hình chữ I theo tiêu chuẩn châu Âu EN 1993-1-1. Đã bổ sung một số quy định có trong một số tài liệu khác để có thể áp dụng được đầy đủ các công thức cho trong tiêu chuẩn đối với dầm thép đã nêu.

- Đã làm rõ cách tính toán, qua đó có thể bổ sung vào các tài liệu hiện có ở trong nước một phương pháp tính hiện đại, mà chúng được áp dụng ở các nước châu Âu và nhiều nước khác trên thế giới. Qua đó giúp các kỹ sư trong nước vận dụng trong thực tế khi thiết kế kết cấu thép trong giai đoạn hội nhập quốc tế./.

Tài liệu tham khảo

1. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5575-2012, Kết cấu thép – Tiêu chuẩn thiết kế, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
2. Phạm Văn Hội, Nguyễn Quang Viên và nnk (2003), “Kết cấu thép – Công trình dân dụng và công nghiệp”, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
3. Nguyễn Hồng Sơn, Võ Thanh Lương, Nguyễn Lệ Thủy, Kết cấu thép thiết kế theo tiêu chuẩn châu Âu (2019), Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội.
4. EN 1993-1-1: Design of Steel structures - Part 1 - 1: General rules and rules for buildings.
5. BS 5950:Part 1: 1990 - British Standard - Structural use of steelwork in building. British Standard Institution.
6. EN 1993-1-5: Design of steel structures – Part 1-5: Plated structural elements.
7. Elastic Design of Single-Span Steel Portal Frame Buildings to Eurocode 3, The Steel Construction Institute of UK, P397, 2012.