

# ỔN ĐỊNH TỔNG THỂ CỦA DẦM THÉP VỚI DẠNG TIẾT DIỆN CHỮ I HAI BỤNG TỔ HỢP HÀN CÓ HAI TRỤC ĐỐI XỨNG

Vy Sơn Tùng<sup>a,\*</sup>, Bùi Hùng Cường<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng, 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

**Lịch sử bài viết:**

*Nhận ngày 15/12/2017, Sửa xong 10/05/2018, Chấp nhận đăng 30/5/2018*

---

## Tóm tắt

Hiện nay, TCVN 5575-2012 đang còn hạn chế về tính toán ổn định tổng thể của dầm thép có tiết diện chữ I hai bản bụng. Bài báo này trình bày cách kiểm tra điều kiện ổn định tổng thể của dầm thép theo EC3 đối với dạng tiết diện này; đồng thời đề xuất các công thức để tính mômen quán tính quạt, mômen quán tính chống xoắn của tiết diện. Một ví dụ tính toán đã được trình bày.

*Từ khóa:* ổn định tổng thể; dầm thép; tiết diện I hai bản bụng; mômen quán tính quạt; mômen quán tính chống xoắn.

LATERAL-TORSIONAL BUCKLING OF DOUBLE-SYMMETRIC I-SECTION BEAM WITH DOUBLE WEBS

## Abstract

Recently, there is a disadvantage of checking lateral-torsional buckling in TCVN 5575-2012 for double-symmetric I-section beam with double webs. This paper presents the method in EC3 for checking lateral-torsional buckling resistance of steel beam, as well as proposes analytical formulas for calculating warping constant and torsional constant of this type of section. An example is shown in the paper to exemplify the calculation procedure.

*Keywords:* lateral-torsional buckling; steel beam; double-symmetric I-section beam with double webs; warping constant; torsional constant.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12\(4\)-06](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12(4)-06) © 2018 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

---

## 1. Giới thiệu

Dạng tiết diện chữ I hai bản bụng tổ hợp hàn có hai trục đối xứng (gọi tắt là I hai bản bụng) đang được sử dụng trong nhiều công trình kết cấu thép bởi vì chúng có cấu tạo đơn giản, dễ chế tạo liên kết và có khả năng chống mất ổn định xoắn uốn lớn. Theo TCVN 5575-2012 [1], dầm thép tiết diện I hai bản bụng có thể được kiểm tra theo điều kiện chịu uốn, chịu nén và chịu cắt. Điều kiện ổn định tổng thể thì khó kiểm tra được do không có các bảng tra phù hợp với dạng tiết diện và trong nhiều trường hợp điều kiện này bị bỏ qua do coi như dầm thép tiết diện hộp. EC3 [2] có quy định về cách kiểm tra ổn định tổng thể cho dầm thép với các tiết diện đặc biệt, có thể áp dụng với tiết diện I hai bản bụng, thông qua xác định giá trị mômen tới hạn,  $M_{cr}$ ; tuy nhiên các công thức tính toán về mômen quán tính quạt  $I_w$  và mômen quán tính chống xoắn  $I_t$  của dạng tiết diện I hai bản bụng chưa được chỉ rõ. Do

---

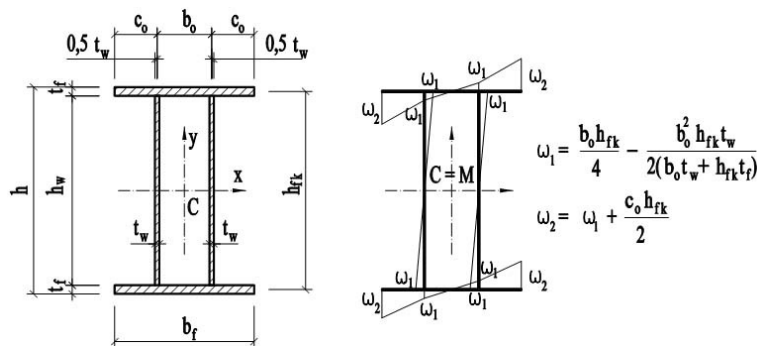
\*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: [tungvs@nuce.edu.vn](mailto:tungvs@nuce.edu.vn) (Tùng, V. S.)

đó, việc áp dụng EC3 [2] để kiểm tra ổn định tổng thể của tiết diện I hai bản bụng sẽ dễ dàng khi các công thức trên được đưa ra.

Năm 2015, bài báo [3] đã trình bày cách tính các mômen quán tính  $I_w, I_t$  của các dạng tiết diện kín và kín hở kết hợp dựa theo các lý thuyết về thanh thành mỏng tiết diện hở [4], tiết diện kín [5] và theo quy trình [6]. Bài báo [3] cũng đề cập một ví dụ tính toán các đặc trưng hình học của tiết diện I hai bản bụng với quy trình tính toán số. Năm 2017, bài báo [7] đã áp dụng các lý thuyết trên để đưa ra công thức tính các đặc trưng hình học cho dạng tiết diện I tổ hợp hàn có cánh rộng và áp dụng EC3 [2] để kiểm tra được ổn định tổng thể cho dầm thép tiết diện này. Tiếp nối các công bố trên, bài báo này đề xuất các công thức tính giá trị  $I_w, I_t$  và trên cơ sở đó, trình bày phương pháp áp dụng EC3 [2] để tính toán ổn định tổng thể cho dầm thép I hai bản bụng.

## 2. Mômen quán tính quẹt, mômen quán tính chống xoắn của tiết diện I hai bản bụng

Các đặc trưng hình học của tiết diện I hai bản bụng (Hình 1) cần cho tính toán dầm chịu uốn bao gồm  $I_x; I_y; W_{x,el}; W_{x,pl}$  có thể được xác định dễ dàng như tiết diện I thông thường. Các đặc trưng hình học cần thiết để kiểm tra điều kiện ổn định tổng thể của dầm thép tiết diện I hai bản bụng này, gồm mômen quán tính quẹt  $I_w$  và mômen quán tính chống xoắn  $I_t$  có thể được xây dựng dựa trên các lý thuyết xoắn.



Hình 1. Tiết diện chữ I hai bản bụng và sơ đồ quẹt của tiết diện

Để tính giá trị  $I_w$ , bài báo trình bày sơ đồ quẹt của tiết diện (Hình 1). Từ đó, áp dụng nguyên lý thanh thành mỏng tiết diện hở [4], nguyên lý thanh thành mỏng kín [5] và áp dụng quy trình [6] tính toán đặc trưng hình học của tiết diện thanh thành mỏng.

Theo đó, mômen quán tính quẹt của tiết diện I hai bản bụng được tính như sau:

$$I_w = \frac{2\omega^2 (b_0 t_f + h_{fk} t_w + 6c_0 t_f)}{3} + \frac{c_0^2 h_{fk} t_f (6\omega + c_0 h_{fk})}{3} \quad (1)$$

với

$$\omega = \frac{b_0 h_{fk}}{4} - \frac{b_0^2 h_{fk} t_w}{2(b_0 t_w + h_{fk} t_f)} \quad (2)$$

Giá trị mômen quán tính chống xoắn  $I_t$  được xác định dựa theo lý thuyết xoắn thuần túy của Saint Venant [8], có xét đến thành phần mô men quán tính chống xoắn của cả phần tiết diện kín và tiết diện hở:

$$I_t = I_{t,kin} + I_{t,ho} = \frac{4A_{kin}^2}{\sum \frac{L_i^*}{t_i^*}} + \frac{1}{3} \sum_{ho} L_i t_i^3 \quad (3)$$

trong đó  $I_{t,kin}$  là mô men quán tính chống xoắn của phần tiết diện kín;  $I_{t,ho}$  là mô men quán tính chống xoắn của phần tiết diện hở;  $A_{kin}$  là diện tích phần tiết diện kín;  $L_i, t_i$  là chiều dài và chiều dày bản thép thứ  $i$  của phần tiết diện hở;  $L_i^*, t_i^*$  là chiều dài và chiều dày bản thép thứ  $i$  của phần tiết diện kín. Từ đó, công thức tính mô men quán tính chống xoắn của tiết diện I hai bản bụng như sau:

$$I_t = \frac{4c_0t_f^3}{3} + \frac{2(b_0h_{fk})^2 t_f t_w}{b_0t_w + h_{fk}t_f} \quad (4)$$

trong đó các giá trị  $h_{fk}, b_0, c_0, t_f, t_w$  được xác định theo Hình 1.

Kết quả tính theo các công thức (1) và (4) được so sánh với kết quả khi sử dụng phần mềm [9], với kích thước tiết diện dầm thép (tương ứng với Hình 1) là  $h = 600$  mm;  $b_f = 300$  mm;  $b_0 = 100$  mm;  $t_f = 20$  mm;  $t_w = 8$  mm. Sự so sánh này được thể hiện theo Bảng 1 và chỉ ra rằng sai số giữa các kết quả trên có giá trị nhỏ hơn 2%. Điều này cho thấy các công thức (1) và (4) có thể sử dụng để tính mô men quán tính chống xoắn và mô men quán tính quặt cho tiết diện I hai bản bụng.

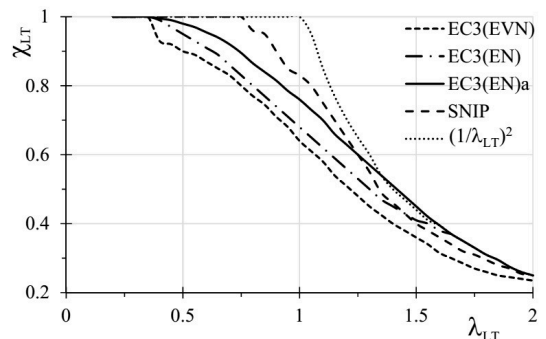
Bảng 1. So sánh kết quả tính theo các công thức đề xuất và phần mềm [9]

	Công thức (1) và (4)	Phần mềm [9]	Sai số
$I_w$ (mm)	7154561734305	7044000000000	1,6%
$I_t$ (mm)	87879570	88540000	0,8%

### 3. Lý do áp dụng cách kiểm tra ổn định tổng thể của dầm thép tiết diện I hai bản bụng theo EC3

Bài báo [10] trình bày rằng EC3 [2] có nhiều tương đồng về lý thuyết áp dụng với SNIp II-23-81\* [11] (tiêu chuẩn tham khảo của TCVN 5575-2012) đối với việc kiểm tra ổn định tổng thể của dầm thép. Trong Hình 2, hệ số mất ổn định tổng thể của dầm ( $\chi_{LT}$ ) của hai tiêu chuẩn này có giá trị giống nhau khi độ mảnh của dầm ( $\lambda_{LT}$ ) lớn và có giá trị tính toán theo [2] nhỏ hơn theo [11] khi hệ số  $\lambda_{LT}$  nhỏ. Từ đó, [10] khẳng định rằng, khi so sánh với kết quả được tính toán theo [11], khả năng chịu uốn của dầm thép kể đến điều kiện ổn định tổng thể theo [2] có giá trị tương đương khi dầm thép có nhịp lớn và có giá trị thiên về an toàn hơn khi dầm thép có nhịp nhỏ hoặc trung bình. Nguyên nhân là do sự khác biệt trong các giả thuyết về hệ số khuyết tật ban đầu của tiết diện và sự làm việc dẻo của dầm thép.

Khi áp dụng TCVN 5575-2012 [1], tiêu chí kiểm tra ổn định cục bộ của dầm thép I hai bản bụng như sau: bản bụng của dầm thép chịu tải trọng tĩnh thỏa mãn điều kiện ổn định cục bộ khi  $h_w/t_w \leq [h_w/t_w] = 3,2 \sqrt{E/f}$ ; còn bản cánh thỏa mãn điều kiện ổn định cục bộ khi  $(c_0 - 0,5t_w)/t_f \leq 0,5 \sqrt{E/f}$ . Trong đó  $h_w, t_w, b_0, c_0, t_f$  được xác định theo Hình 1;  $E$  là mô đun đàn hồi và  $f$  là cường độ tính toán của vật liệu thép. Với dầm thép sử dụng vật liệu S235,  $f = 223,8$  N/mm<sup>2</sup>:  $h_w/t_w \leq 96,84$ ;  $(c_0 - 0,5t_w)/t_f \leq 15,1$ .



Hình 2. Hệ số ổn định tổng thể của dầm thép có tiết diện IPE300 và INP280, [10]

Trong EC3 [2] không có quy định riêng về kiểm tra ổn định cục bộ của dầm thép. Tuy nhiên, tiêu chuẩn này quy định các dầm thép thuộc các dạng tiết diện loại một và hai có tiết diện có thể đạt đến cường độ chảy dẻo trước khi xảy ra hiện tượng mất ổn định cục bộ. Đây có thể coi là tương đương với quy định về ổn định cục bộ trong [1] và có chiều hướng thiên về an toàn hơn về mặt giá trị. Cụ thể là, quy định của [2] để dầm thép I hai bụng thuộc dạng tiết diện loại hai như sau: tỷ số chiều cao và chiều dày bản bụng cần thỏa mãn  $h_w/t_w \leq [h_w/t_w] = 83 \sqrt{235/f_y}$ ; phần bản cánh nhô ra khỏi bản bụng cần thỏa mãn điều kiện  $(c_0 - 0,5t_w)/t_f \leq 10 \sqrt{235/f_y}$ ; phần bản cánh ở giữa hai bản bụng cần thỏa mãn điều kiện  $(b_0 - t_w)/t_f \leq 38 \sqrt{235/f_y}$ . Với dầm thép sử dụng vật liệu S235, cường độ chảy dẻo  $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ ;  $h_w/t_w \leq 83$ ;  $(c_0 - 0,5t_w)/t_f \leq 10$  và  $(b_0 - t_w)/t_f \leq 38$ .

Vậy, [1] và [2] có nhiều nét tương đồng đối với vấn đề ổn định tổng thể và ổn định cục bộ của dầm thép. Để bổ sung cho phần còn thiếu sót đã nêu của [1], có thể áp dụng các quy định của [2] về kiểm tra ổn định tổng thể của dầm thép tiết diện I hai bản bụng thuộc dạng tiết diện loại một và hai.

#### 4. Ổn định tổng thể của dầm thép tiết diện I hai bản bụng dựa theo EC3

Theo EC3 [2], điều kiện ổn định tổng thể của dầm thép có dạng tiết diện khác tiết diện I được kiểm tra theo công thức:

$$M_{Ed} \leq M_{b,Rd} \quad (5)$$

trong đó  $M_{Ed}$  là mômen uốn trong dầm thép gây ra do tải trọng và  $M_{b,Rd}$  là khả năng chịu uốn theo điều kiện ổn định tổng thể. Giá trị  $M_{b,Rd}$  được tính toán theo công thức sau:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_x \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (6)$$

trong đó  $W_x$  là mô men kháng uốn của tiết diện (với dầm thép thuộc tiết diện loại một hoặc hai,  $W_x$  lấy bằng mô men kháng uốn dẻo  $W_{x,pl}$ );  $\chi_{LT}$  là hệ số ổn định tổng thể của dầm;  $f_y$  là cường độ chảy dẻo của vật liệu dầm;  $\gamma_{M1}$  là hệ số an toàn. Hệ số  $\chi_{LT}$  của dầm thép được tính theo công thức:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}}; \chi_{LT} \leq 1 \quad (7)$$

trong đó  $\Phi$  là hệ số trung gian;  $\lambda_{LT}$  là độ mảnh ổn định tổng thể của dầm. Các giá trị này được tính toán như sau:

$$\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \lambda_{LT}^2 \right] \quad (8)$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{W_x f_y / M_{cr}} \quad (9)$$

Trong công thức (8),  $\beta$ ,  $\lambda_{LT,0}$ ,  $\alpha_{LT}$  là các tham số ổn định. Do dầm tiết diện I hai bản bụng được coi như dầm tổ hợp hàn với tiết diện có hình dạng phức tạp trong EC3 nên bài báo áp dụng phương pháp thiên về an toàn với  $\beta = 1$ ,  $\lambda_{LT,0} = 0,2$ ,  $\alpha_{LT} = 0,76$ . Trong công thức (9),  $W_x$  và  $f_y$  lấy như công thức (6),  $M_{cr}$  là mô men tới hạn của dầm thép. Giá trị  $M_{cr}$  được tính dựa theo công thức từ nghiên cứu của Trahair [12]:

$$M_{cr} = M_{cr,0} \alpha_m \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{0,4 \alpha_m \gamma_Q N_{cr,y}}{M_{cr,0}} \right)^2} + \frac{0,4 \alpha_m \gamma_Q N_{cr,y}}{M_{cr,0}} \right] \quad (10)$$

trong đó  $M_{cr,0}$  là giá trị mô men tới hạn sơ bộ;  $N_{cr,y}$  là lực nén tới hạn của dầm;  $y_Q$  là khoảng cách giữa vị trí đặt tải trọng và tâm xoắn của tiết diện;  $\alpha_m$  là hệ số do ảnh hưởng của phân bố tải trọng trên dầm thép. Các giá trị này được tính như sau:

$$M_{cr,0} = \sqrt{\frac{\pi^2 EI_y}{L^2} \left( GI_t + \frac{\pi^2 EI_w}{L^2} \right)} \quad (11)$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{L^2} \quad (12)$$

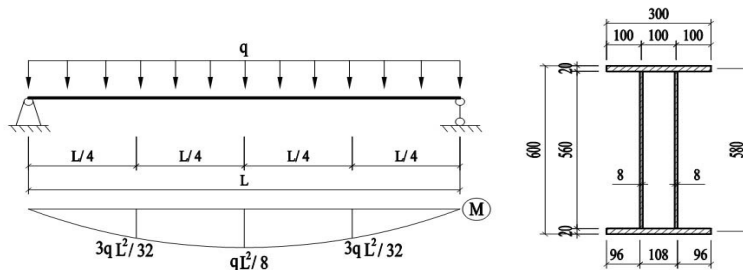
$$y_Q = -\frac{h}{2} \text{ khi tải trọng đặt ở cánh trên và } y_Q = +\frac{h}{2} \text{ khi tải trọng đặt ở cánh dưới}$$

$$\alpha_m = \frac{1,75 M_{max}}{\sqrt{(M_2^2 + M_3^2 + M_4^2)}} \leq 2,5 \quad (13)$$

với giá trị  $L$  là chiều dài tính toán của nhịp dầm;  $E$  và  $G$  là các mô đun đàn hồi chống kéo và cắt của vật liệu dầm;  $I_y$  là mô men quán tính theo trục  $y$  (Hình 1);  $I_t$  là mô men quán tính chống xoắn;  $I_w$  là mô men quán tính quật;  $h$  là chiều cao của tiết diện;  $M_{max}$  là mô men uốn lớn nhất trên dầm;  $M_2$ ,  $M_3$  và  $M_4$  tương ứng lần lượt là mô men uốn tại các vị trí  $1/4$ ,  $1/2$  và  $3/4$  nhịp dầm. Đối với một số sơ đồ tải trọng thường gặp với biểu đồ mô men tương ứng, hệ số  $\alpha_m$  được tính chính xác hơn theo như Bảng 2 dưới đây.

### 5. Ví dụ kiểm tra điều kiện ổn định tổng thể của dầm thép tiết diện I hai bản bụng

Yêu cầu kiểm tra điều kiện ổn định tổng thể của một dầm thép tiết diện I hai bản bụng, với sơ đồ tính được trình bày trong Hình 3: dầm đơn giản (dầm có nhịp tính toán  $L = 12$  m) chịu tải trọng tính toán phân bố đều  $q = 40$  KN/m. Các kích thước tiết diện cũng được trình bày cụ thể trong Hình 3. Vật liệu thép là S235:  $E = 205\,000$  N/mm<sup>2</sup>;  $G = 78\,846$  N/mm<sup>2</sup>;  $f_y = 235$  N/mm<sup>2</sup>.



Hình 3. Sơ đồ tính và tiết diện của dầm thép

Các bước tính toán được thực hiện như sau.

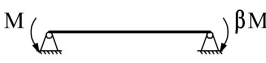

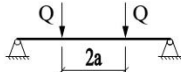

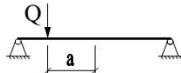
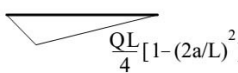
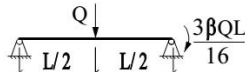
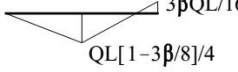
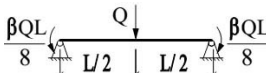
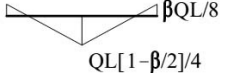
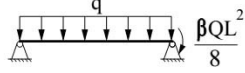
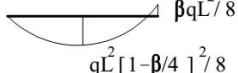
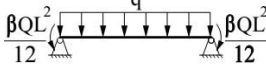
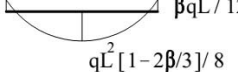
B1: xét thấy tiết diện dầm thép (Hình 3) là thuộc dạng tiết diện loại hai theo EC3 [2].

B2: tính các đặc trưng hình học của tiết diện dầm thép trên:  $W_{x,pl} = 4\,734\,400$  mm<sup>3</sup>;  $I_y = 112\,447\,787$  mm<sup>4</sup>;  $I_t = 87\,879\,570$  mm<sup>4</sup>;  $I_w = 7\,154\,561\,734\,305$  mm<sup>6</sup>.

B3: tính giá trị mô men tới hạn  $M_{cr}$  như sau: với trường hợp dầm đơn giản chịu tải phân bố đều,  $\alpha_m = 1,13$ ; tải trọng được đặt ở cánh trên của dầm nên  $y_Q = -300$  mm; theo (12),  $N_{cr,y} = 1\,579\,945,21$  N; theo (11),  $M_{cr,0} = 3332,6$  KNm; theo (10),  $M_{cr} = 3531,52$  KNm.

B4: tính khả năng chịu uốn của dầm theo điều kiện ổn định tổng thể  $M_{b,Rd}$ : theo (9), độ mảnh ổn định tổng thể của dầm thép là  $\lambda_{LT} = 0,561$ ; đối với tiết diện I hai bản bụng, việc kiểm tra ổn định

Bảng 2. Hệ số do ảnh hưởng của phân bố tải trọng trên dầm thép [12]

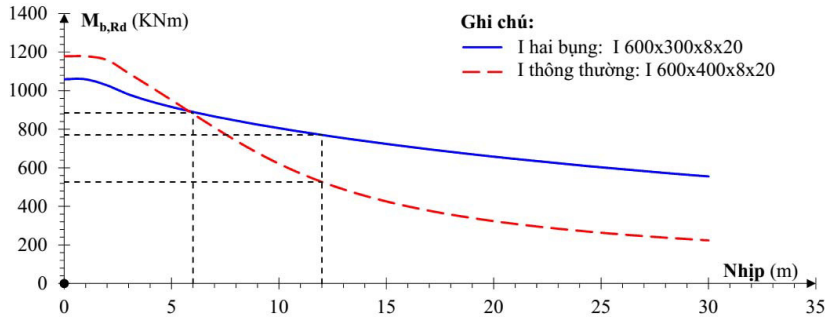
Sơ đồ tải trọng	Phân bố mô men	$\alpha_m$	Giới hạn
		$1,75 + 1,05\beta + 0,3\beta^2$ 2,5	$-1 \leq \beta \leq 0,6$ $0,6 \leq \beta \leq 1$
		$1 + 0,35(1 - 2a/L)^2$	$0 \leq 2a/L \leq 1$
		$1,35 + 0,4(2a/L)^2$	$0 \leq 2a/L \leq 1$
		$1,35 + 0,15\beta$ $-1,2 + 3,0\beta$	$0 \leq \beta \leq 0,9$ $0,9 \leq \beta \leq 1$
		$1,35 + 0,36\beta$	$0 \leq \beta \leq 1$
		$1,13 + 0,10\beta$ $-1,25 + 3,5\beta$	$0 \leq \beta \leq 0,7$ $0,7 \leq \beta \leq 1$
		$1,13 + 0,12\beta$ $-1,25 + 3,5\beta$	$0 \leq \beta \leq 0,75$ $0,75 \leq \beta \leq 1$

tổng thể sẽ được tiến hành theo phương pháp thiên về an toàn nên  $\beta = 1$  và  $\lambda_{LT,0} = 0,2$ ; theo EC3 đối với các tiết diện khác với tiết diện I thông thường thì  $\alpha_{LT} = 0,76$  (với tiết diện I thông thường, tỷ số  $h/b$  nhỏ hơn 2 thì  $\alpha_{LT} = 0,49$ ); theo (8),  $\Phi = 0,795$ ; hệ số ổn định tổng thể của dầm thép được xác định theo (7),  $\chi_{LT} = 0,737$ ; theo (6) với hệ số an toàn  $\gamma_{M1} = 1,05$ ,  $M_{b,Rd} \approx 780,5$  KNm.

B5: tính giá trị mô men uốn lớn nhất trong dầm:  $M_{Ed} = qL^2/8 = 720$  KNm. Do  $M_{Ed} < M_{b,Rd}$  nên theo (5), dầm thép tiết diện I hai bản bụng đã chọn thỏa mãn điều kiện ổn định tổng thể.

Tính toán tương tự với một dầm thép chữ I truyền thống có cùng diện tích tiết diện với dầm trên ( $h = 600$  mm;  $b_f = 400$  mm;  $t_f = 20$  mm;  $t_w = 8$  mm):  $M_{b,Rd} = 527,1$  KNm  $< M_{Ed}$ . Theo (5), dầm thép này không thỏa mãn điều kiện ổn định tổng thể. Ngoài ra, Hình 4 được lập để so sánh khả năng chịu uốn theo điều kiện ổn định tổng thể của hai dầm thép trên với nhịp thay đổi từ 1 m đến 30 m.

Theo Hình 4, khả năng chịu uốn của dầm thép tiết diện I hai bản bụng bị giảm dần khi nhịp tăng do ảnh hưởng của việc mất ổn định tổng thể. Dầm thép tiết diện chữ I thông thường có khả năng chịu uốn tốt hơn dầm tiết diện chữ I hai bản bụng với nhịp ngắn. Với nhịp dài ( $L > 6$  m), dầm I hai bản bụng có khả năng chịu uốn tốt hơn do có lợi thế về mặt ổn định tổng thể. Cụ thể là so với dầm thép I thông thường, khả năng chịu uốn của dầm thép I hai bản bụng bằng 1,48 lần khi  $L = 12$  m; 1,72 lần khi  $L = 15$  m và 2,07 lần khi  $L = 20$  m.



Hình 4. So sánh khả năng chịu uốn theo điều kiện ổn định tổng thể của dầm thép với tiết diện I hai bản bụng và tiết diện I thông thường

## 6. Kết luận

Trong bài báo này, các kết quả tính toán đã chỉ ra rằng, việc kiểm tra ổn định tổng thể là cần thiết đối với dạng tiết diện I hai bản bụng. Các giá trị mô men quán tính quạt  $I_w$  và mô men quán tính chống xoắn  $I_t$  có thể được tính theo các công thức (1) và (4), đồng thời việc kiểm tra ổn định tổng thể của dầm thép có dạng tiết diện này có thể được áp dụng theo EC3 [2]. Phần ví dụ tính toán đã chỉ ra rằng với nhịp dầm từ 12 m trở lên, dầm thép I hai bản bụng có khả năng chịu uốn theo điều kiện ổn định tổng thể tốt hơn dầm thép I thông thường, với sự chênh lệch là hơn 48%.

## Tài liệu tham khảo

- [1] TCVN 5575 (2012). *Kết cấu thép - tiêu chuẩn thiết kế*. Hà Nội.
- [2] EN1993-1-1 (2005). *Eurocode 3 design of steel structures. General rules and rules for buildings*.
- [3] Tuyền, N. M., Cường, B. H. (2015). Tính toán đặc trưng hình học của thanh thành mỏng tiết diện kín chịu xoắn. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng*, (25):43–51.
- [4] Vlasov, V. Z. (1961). *Thin-walled elastic beams*. Israel Program for Scientific Translation, Jerusalem.
- [5] Karman, Th. V., Christensen, N. B. (1944). Method of analysis for torsion with variable twist. *Journal of the Aeronautical Sciences*, (2):110–124.
- [6] Murray, N. W. (1984). *Introduction to the theory of thin-walled structures*. Clarendon Press.
- [7] Tùng, V. S., Cường, B. H. (2017). Hiệu quả của dầm thép tổ hợp hàn tiết diện chữ I cánh rộng. *Tạp chí Khoa học Kiến trúc và Xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội*, (27):54–56.
- [8] Venant, St. (1856). Memoire sur la flexion des prismes. *Journal de Mathématique Pures et Appliquées*, (1):89–89.
- [9] Dlubal, Shape-thin (trial version). <https://www.dlubal.com/en/products/cross-section-properties-software/shape-thin>.
- [10] Loorits, K., Talvik, I. (2006). Comparative study of the buckling of steel beams in Eurocode 3 and the Russian code. *Journal of Constructional Steel Research*, (62): 1290–1294.
- [11] SNiP II-23-81\* (1990). *Building codes. Design of steel structures*. Moscow.
- [12] Trahair, N. S., Bradford, M. A., Nethercot, D. A., Gardner, L. (2008). *The behaviour and design of steel structures to EC3*. Taylor & Francis, London.