

# Thiết kế dầm thép bụng mảnh

Design of slenderness web girder

Nguyễn Hồng Sơn, Nguyễn Lệ Thủy

## Tóm tắt

Bài báo này giới thiệu về dầm bụng mảnh sử dụng trong các công trình xây dựng dân dụng và công nghiệp khi chịu tải trọng không lớn, loại dầm này lần đầu được đề cập trong TCVN 5575:2024. Dầm bụng mảnh là cùng loại dầm tổ hợp hàn từ các bản thép có tiết diện chữ I với tỷ số chiều dày và chiều cao bản bụng khá lớn, lớn hơn các dầm thép thông thường được quy định trong TCVN 5575:2012. Theo đó, trình bày về phạm vi áp dụng, các yêu cầu cấu tạo và tính toán dầm bụng mảnh theo điều kiện bền và điều kiện ổn định cục bộ, cũng như về độ võng nhằm làm sáng tỏ sự khác biệt khi tính toán dầm bụng mảnh so với việc tính toán các dầm thông thường được tổ hợp từ các bản thép. Đồng thời, thực hiện ví dụ số nhằm làm sáng tỏ các bước thiết kế dầm bụng mảnh.

**Từ khóa:** Dầm thép, dầm bụng mảnh, độ bền, ổn định, TCVN 5575:2024

## Abstract

This paper introduces slenderness web girder used in civil and industrial engineering when the load is not large. This type of beam is first mentioned in TCVN 5575:2024. The slenderness web girder is also a build-up of welded beams from steel versions with a web plate with the ratio of thickness and height is large, larger than the common steel beams specified in TCVN 5575:2012. Accordingly, presenting the scope of application, structural requirements and calculation of slenderness web girder according to strength and local buckling conditions, as well as deflection, to clarify the differences when calculating common beams are combined from steel plates. Also, a numerical example is done to clarify the steps in designing a slenderness web girder.

**Key words:** Steel beam, slenderness web girder, strength, stability, TCVN 5575:2024

**PGS.TS. Nguyễn Hồng Sơn**

Bộ môn Kết cấu thép - gỗ, Khoa Xây dựng  
Email: nguyenhongsondhkt@gmail.com;  
ĐT: 0913514110

**TS. Nguyễn Lệ Thủy**

Bộ môn Kết cấu thép - gỗ, Khoa Xây dựng  
Email: nlthuy.hau@gmail.com  
Tel: 0903226382

Ngày nhận bài: 15/2/2023

Ngày sửa bài: 9/3/2023

Ngày duyệt đăng: 02/7/2024

## 1. Đặt vấn đề

Dầm thép có mặt ở nhiều công trình dân dụng và công nghiệp, tùy thuộc vào tiêu chí mà có thể phân loại chúng như sau: theo dạng tiết diện (định hình hoặc tổ hợp); theo chế tạo (dầm tổ hợp hàn hoặc bu lông); theo sơ đồ kết cấu (một nhịp, nhiều nhịp); theo vật liệu (dầm một loại thép, hai loại thép); theo giải pháp cấu tạo hoặc kết cấu (dầm bụng lượn sóng, dầm bụng lỗ, dầm bụng mảnh, dầm bụng ổn định, dầm ứng suất trước). Đối với mỗi giải pháp cấu tạo dầm, chúng có những ưu điểm và nhược điểm nhất định, việc lựa chọn loại dầm để sử dụng chúng trong thực tiễn phù hợp với điều kiện tải trọng, sự làm việc, khả năng gia công và chế tạo v.v. cũng cần quan tâm.

Gần đây, tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép mới của Việt Nam TCVN 5575:2024 được biên soạn và ban hành (thay thế tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép hiện hành của Việt Nam TCVN 5575:2012). Tiêu chuẩn TCVN 5575:2024 được biên soạn dựa trên Tiêu chuẩn cùng tên của Liên bang Nga SP 16.13330.2017, có cập nhật bản sửa đổi 1 đến 5 của các năm 2018 đến năm 2023, ngoài ra còn bổ sung nhiều nội dung của SP 294.1325800.2017 và SP 43.13330.2012.

Như trên đã nói, giải pháp cấu tạo dầm rất đa dạng, vì thế việc tính toán thiết kế chúng cũng có nhiều điểm khác biệt so với thiết kế các dầm thép thông thường. Theo đó, sẽ có các bài báo đề cập đến từng loại dầm ứng với mỗi giải pháp cấu tạo, trong khuôn khổ bài báo này sẽ giới thiệu chi tiết việc cấu tạo và tính toán dầm bụng mảnh được đề cập trong TCVN 5575:2024.

## 2. Cấu tạo và tính toán dầm bụng mảnh

### 2.1. Phạm vi áp dụng

Dầm đơn giản tiết diện chữ I đối xứng, chịu tải trọng tĩnh và uốn trong mặt phẳng bụng, được sử dụng khi chịu tải trọng (tương đương với tải trọng phân bố đều) đến 50 kN/m và được thiết kế bằng thép có giới hạn chảy đến 345 MPa.

### 2.2. Yêu cầu cấu tạo

Dầm bụng mảnh (bụng mỏng) có chiều dày bản bụng so với chiều cao tiết diện khá lớn, thỏa mãn điều kiện về độ mảnh quy ước.

- Độ mảnh quy ước của bụng:

$$\bar{\lambda}_w = (L_{ef}/b_f) \sqrt{f_{yd}/E} \geq 0,21$$

(trong đó  $b_f$  là chiều rộng cánh chịu nén).

- Tỷ số chiều rộng phần vươn cánh trên chiều dày cánh lấy không lớn hơn  $0,38\sqrt{E/f_{yd}}$ .

- Tỷ số các diện tích tiết diện của cánh và bụng  $\alpha_f = A_f/(t_w h_w)$  không được vượt quá giá trị giới hạn  $\alpha_{fu}$  xác định theo công thức:

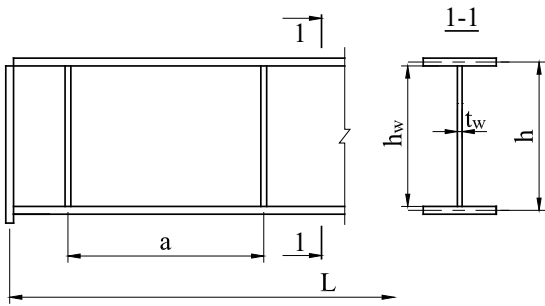
$$\alpha_{fu} = \frac{10^3}{\bar{\lambda}_w^3} \left( 1,34 - 412 \frac{f_{yd}}{E} \right) \quad (1)$$

- Đoạn bụng dầm trên gối tựa cần được tăng cứng bằng sườn cứng gối hai bên và được tính toán theo 8.5.17 của TCVN 5575:2024.

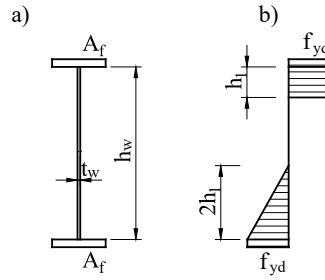
Trong khoảng không nhỏ hơn chiều rộng sườn và không lớn hơn  $1,3t_w\sqrt{E/f_{yd}}$  tính từ sườn gối cần bố trí sườn cứng hai bên bổ sung với kích thước phù hợp với yêu cầu cấu tạo.

- Ứng suất cục bộ dọc trong bụng dầm xác định theo công thức (46) của TCVN 5575:2024 không được lớn hơn  $0,75f_{yd}$ , khi đó giá trị  $L_{ef}$  cần được tính theo công thức (47) của TCVN 5575:2024.

trong đó:  $f_{yd}$  là cường độ chịu kéo, nén, uốn tính toán của thép theo giới hạn chảy;  $L_{ef}$  là chiều dài tính toán.

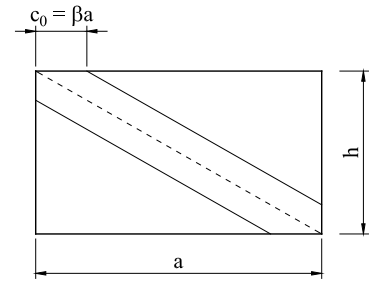


Hình 1 - Sơ đồ dầm bụng mảnh



a - tiết diện dầm;  
b - biểu đồ ứng suất

Hình 2 – Biểu đồ ứng suất giới hạn của tiết diện dầm khi uốn



Hình 3 - Sơ đồ ô bản bụng dầm khi trượt khi uốn

### 2.3. Tính toán độ bền

Độ bền của dầm đơn giản tiết diện chữ I đối xứng chịu tải trọng tĩnh, uốn trong mặt phẳng bụng, được tăng cường chỉ bằng các sườn cứng ngang (Hình 1), có độ mảnh quy ước của bụng  $6 \leq \bar{\lambda}_w \leq 13$ , cần được kiểm tra theo công thức:

$$\left(\frac{M}{M_u}\right)^4 + \left(\frac{V}{V_u}\right)^4 \leq 1 \quad (2)$$

trong đó:

M và V là giá trị mô men và lực cắt trong tiết diện đang xét của dầm;

M<sub>u</sub> là giá trị giới hạn của mô men, được tính theo công thức:

$$M_u = f_{yd} \gamma_c t_w h_w^2 \left[ \frac{A_f}{t_w h_w} + \frac{0,85}{\bar{\lambda}_w} \left( 1 - \frac{1}{\bar{\lambda}_w} \right) \right] \quad (3)$$

V<sub>u</sub> là giá trị giới hạn của lực cắt, được tính theo công thức:

$$V_u = f_{yd} \gamma_c t_w h_w \left[ \frac{\tau_{cr}}{f_v} + 3,3\beta\mu \left( 1 - \frac{\tau_{cr}}{f_v} \right) \left( \frac{1}{1 + \mu^2} \right) \right] \quad (4)$$

trong đó:

t<sub>w</sub> và h<sub>w</sub> là chiều dày và chiều cao bản bụng;

A<sub>f</sub> là diện tích tiết diện bản cánh dầm;

τ<sub>cr</sub>, μ lần lượt là ứng suất tiếp tới hạn và tỉ số các kích thước ô bản bụng, được xác định theo 8.5.3 của TCVN 5575:2024;

β là hệ số, được tính theo công thức:

$$\beta = 0,1 + 3\alpha; \beta \geq 0,15 \quad (5)$$

ở đây:

$$\alpha = \frac{8W_{\min}}{t_w h_w^2 a^2} (h_w^2 + a^2); \alpha \leq 0,1;$$

W<sub>min</sub> là mô men chống uốn nhỏ nhất (đối với trục bản thân song song cánh dầm) của tiết diện chữ T gồm cánh chịu nén của dầm và phần bụng với chiều cao  $0,5t_w \sqrt{E/f_{yd}}$  nối vào cánh này;

a là bước sườn cứng ngang.

Đối với dầm tiết diện chữ I đối xứng khi uốn thuần túy, biểu đồ ứng suất màng (ứng suất kéo một trục) giới hạn σ<sub>x</sub> cho thấy, trong vùng chịu kéo biểu đồ gần giống đường thẳng, nhưng ứng suất biên chưa đạt tới giới hạn chảy.

Trong tính toán thực hành, tiêu chuẩn này chấp nhận sơ đồ đơn giản hóa trạng thái giới hạn, trong đó vùng chịu nén của bản bụng có dạng hình chữ nhật với chiều cao h<sub>1</sub> và ứng suất bằng cường độ tính toán f<sub>yd</sub> (Hình 2).

Ứng suất kéo biên được lấy bằng giá trị tuyệt đối của f<sub>yd</sub>. Khi chiều dày cánh nhỏ hơn nhiều so với chiều cao bụng và  $(h_1/t) \sqrt{f_{yd}/E} = 0,85$  thì công thức (3) thu được cho giá trị M<sub>u</sub> tăng lên một chút (từ 1% đến 3,6%) vì trên biểu đồ ứng suất thực trong cánh chịu kéo ứng suất chưa đạt tới cường độ tính toán.

Lực cắt V<sub>u</sub> chịu bởi bụng gồm hai thành phần: lực V<sub>cr</sub> = τ<sub>cp</sub>ht, ứng với tải trọng tới hạn và lực bổ sung ΔV xuất hiện ở giai đoạn sau tới hạn do hình thành dải chéo hoặc gần chéo chịu kéo. Các mô hình được phân biệt khác nhau bởi góc nghiêng và chiều rộng của dải này, cũng như giá trị ứng suất kéo giới hạn (sự phân bố ứng suất được coi như là đều), trục của dải trùng với đường chéo (Hình 15.56), còn chiều rộng dải được xác định bởi vị trí khớp dẻo xuất hiện do cánh bị uốn. Dải bụng rộng từ 0 đến 30t phụ thuộc vào τ<sub>cp</sub>/f<sub>yd</sub> được tính vào tiết diện cánh. Ứng suất kéo giới hạn trong dải chéo được xác định được theo điều kiện ứng suất có giá trị bằng giới hạn chảy.

Sườn cứng ngang có tiết diện đã chọn không nhỏ hơn giá trị nêu trong 8.5.9 của TCVN 5575:2024 cần được tính toán ổn định như thanh chịu lực nén N xác định theo công thức:

$$N = 3,3f_{yd} \gamma_c t_w h_w \beta \mu \left( 1 - \frac{\tau_{cr}}{f_v} \right) \left( \frac{1}{1 + \mu^2} \right) \quad (6)$$

trong đó: tất cả các ký hiệu lấy như ở công thức (2).

Giá trị N lấy không nhỏ hơn giá trị tải trọng tập trung đặt phía trên sườn.

Chiều dài tính toán của thanh lấy bằng L<sub>ef</sub> = h<sub>w</sub>(1 - β), nhưng không nhỏ hơn 0,7h<sub>w</sub>.

Sườn cứng hai bên đối xứng cần được tính toán chịu nén đúng tâm, sườn cứng một bên – chịu nén lệch tâm với độ lệch tâm bằng khoảng cách từ trục bụng đến trọng tâm tiết diện tính toán của thanh.

Tiết diện của sườn cứng và dải bụng rộng  $0,65t_w \sqrt{E/f_{yd}}$  ở mỗi bên của sườn cần được tính vào tiết diện tính toán của thanh.

Đối với dầm trên Hình 1 có độ mảnh quy ước bụng  $7 \leq \bar{\lambda}_w \leq 10$ , khi có tác dụng của tải trọng phân bố đều hoặc khi có từ 5 tải trọng tập trung như nhau đặt cách nhau và cách gối tựa những khoảng đều nhau, thì không tăng cường bụng bằng

các sườn cứng ngang ở nhịp, khi đó tải trọng cần được đặt đối xứng đối với mặt phẳng bụng.

Độ bền của dầm nêu trên cần được kiểm tra theo công thức:

$$M \leq f_{yd} t h^2 \left[ \frac{A_f}{t h} + \frac{1,4}{\lambda_w} \left( 1 - \frac{1}{\lambda_w} \right) \right] \delta \quad (7)$$

trong đó:  $\delta$  là hệ số, kể đến ảnh hưởng của lực cắt đến khả năng chịu lực của dầm và được xác định theo công thức  $\delta = 1 - 5,6 A_f h / (A_w L)$  (trong đó  $L$  là nhịp dầm).

Khi đó, lấy chiều dày cánh  $t_f \geq 0,3 t_w$  và  $0,025 \leq A_f h / (A_w L) \leq 0,1$ .

Đối với dầm chữ I bụng mảnh, có sườn, thỏa mãn điều kiện (2), thì kích thước tiết diện được xác định theo các công thức:

$$t_w = \left( 0,19 + 29 \frac{f_{yd}}{E} \right) B \quad (8a)$$

$$h_w = \frac{t_w \bar{\lambda}_w \sqrt{E / f_{yd}}}{\gamma_c} \quad (8b)$$

$$b_f = \frac{0,76 h_w}{\sqrt{\lambda_w}} \quad (8c)$$

$$t_f = t_w \sqrt{\lambda_w} \quad (8d)$$

trong đó:

$$B = \sqrt[3]{\frac{M}{E \gamma_c}}$$

$$\bar{\lambda}_w = 12,9 - 2060 f_{yd} / E.$$

Giá trị cường độ tính toán hiệu dụng của thép dầm  $f_{yd,ef}$  cần được xác định theo công thức:

$$f_{yd,ef} = \frac{1,06 E}{\gamma_c} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{(\psi \theta)^2}} \quad (9)$$

trong đó:

$$\psi = \frac{L}{B}; \theta = \frac{n}{\rho \gamma_f}; n = \frac{L}{f_u} \quad (f_u \text{ là độ võng giới hạn});$$

$\rho$  là tham số, lấy bằng:

- 9,6 – khi tải trọng phân bố đều;
- 12 – khi tải trọng tập trung ở giữa nhịp;
- 10 – trong các trường hợp còn lại.

$\gamma_f$  là hệ số độ tin cậy về tải trọng, được xác định bằng tỉ số giá trị tính toán của tải trọng tương đương (tương đương về giá trị mô men uốn) và giá trị tiêu chuẩn của nó.

Để thỏa mãn điều kiện (2) cần tăng số sườn cứng hoặc chiều dày bụng trong ô dầm nằm ở gối tựa.

Khi lựa chọn thép, cần thỏa mãn điều kiện:  $f_{yd} \leq f_{yd,ef}$ .

Dầm chữ I hàn có bụng không tăng cứng bằng các sườn cứng ngang, trừ đoạn dầm gần gối tựa, có độ mảnh  $7 \leq \bar{\lambda}_w \leq 10$ , cần được thiết kế bằng thép có giới hạn chảy đến 430 MPa.

Để tiết diện ngang ở nhịp và trong vùng gối tựa dầm có độ bền như nhau, giá trị

$$\psi = \frac{A_w}{A_f} \cdot \frac{L}{h} \cdot \frac{f_{yw}}{f_{yf}}$$

được lựa chọn trong khoảng  $22 \leq \psi \leq 26$ .

Độ bền tiết diện của dầm chịu tải trọng chất không đều cần được kiểm tra theo các công thức:

Khi  $M/M_u \leq 0,5$   $V/V_u \leq 1$ ;

Khi  $0,5 < M/M_u < 1$   $V/V_u - 0,5)^2 + (M/M_u - 0,5)^2 \leq 0,25$ ;

Khi  $M/M_u = 1$   $V/V_u = 0,5$ ,

trong đó:

$M$  và  $V$  là mô men và lực cắt trong tiết diện đang xét của dầm;

$M_u$  là mô men giới hạn, được tính theo công thức:

$$M_u = f_{yf} A_w h_w \left[ 0,95 \frac{A_f}{A_w} + \frac{f_{yw}}{f_{yf}} \cdot \frac{25}{\lambda} \left( 1 - \frac{25}{\lambda} \right) \right]$$

(trong đó  $\lambda = h w / t$ );

$V_u$  là lực cắt tới hạn, tính bằng Newton (N), được tính theo công thức:

$$V_u = h_w t \left[ \frac{27 \cdot 10^4}{\lambda^2} + 31 \left( \frac{A_w + 0,25 A_f}{A_w} + \frac{h_w}{L} \right) \right] \sqrt{\frac{f_{yw}}{210}}$$

$f_{yw}$  tính bằng megapascal, MPa.

Khi tải trọng truyền lên cánh trên, cần có giải pháp cấu tạo để loại trừ sự xuất hiện độ lệch tâm vượt quá 1/2 chiều dày bụng.

#### 2.4. Tính toán độ võng

Khi xác định độ võng của dầm, mô men quán tính của tiết diện nguyên của dầm cần được nhân với hệ số  $\alpha = 1,2 - 0,033 \bar{\lambda}_w$  đối với dầm có sườn cứng trong nhịp và với hệ số  $\alpha = 1,2 - 0,033 \bar{\lambda}_w - h/L$  đối với dầm không có sườn cứng trong nhịp.

Độ võng ngang ban đầu của bụng dầm (so với mặt phẳng thẳng đứng) không được vượt quá giá trị  $h_w \bar{\lambda}_w \times 10^{-3}$  cm.

Độ võng giới hạn đối với dầm được quy định trong TCVN 2737:2023.

#### 2.5. Liên kết trong dầm

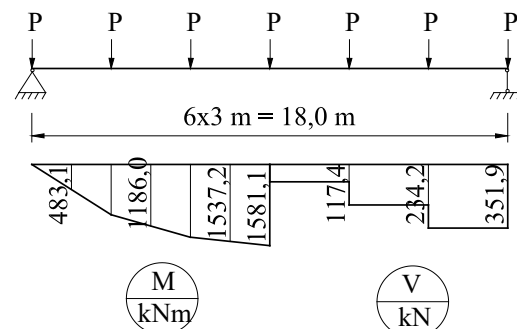
Mối nối hàn bụng dầm trong nhà máy cần được bố trí cách sườn gối tựa một khoảng không nhỏ hơn  $3h_w$ .

### 3. Ví dụ tính toán

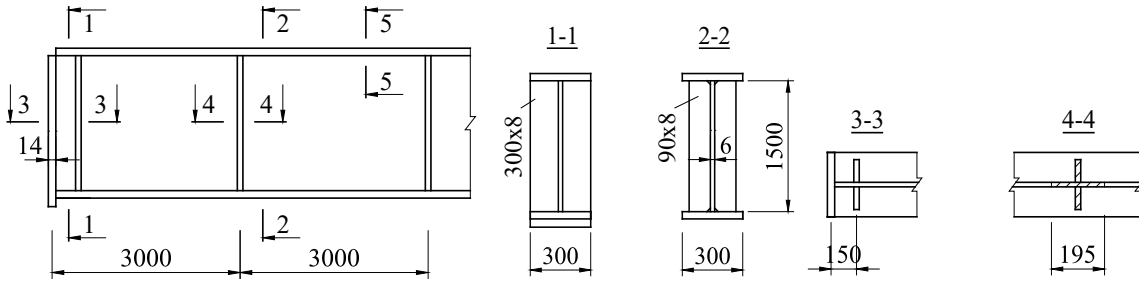
#### 3.1. Số liệu ban đầu

Lựa chọn tiết diện và xác định kích thước các phần tử của dầm bụng mảnh dùng để đỡ mái nhà công nghiệp nhịp  $L = 18$  m. Dầm gối tự do trên các cột.

Tải trọng tính toán phân bố từ tấm mái: tải thường xuyên từ tấm tôn mái có lớp cách nhiệt là 26 kN/m, tải tạm thời là 13 kN/m, tổng cộng là 39 kN/m ( $q_0 = 31,2$  kN/m). Các xà gồ



Hình 4 – Sơ đồ tính dầm và biểu đồ nội lực



Hình 5. Tính toán sườn cứng

đỡ tấm mái được đặt cách nhau 3,0m, truyền tải trọng trực tiếp lên dầm dưới dạng lực tập trung.

Các biểu đồ mô men M và lực cắt V xem trên Hình 4.

### 3.2. Cấu tạo và tính toán

Dầm bụng mảnh với các cánh song song tiết diện không đổi dưới dạng chữ I hàn với các cánh từ các tấm.

#### 1. Chọn vật liệu phù hợp

Theo quy định về phạm vi sử dụng, chọn thép có  $f_y \leq 345$  MPa. Theo Phụ lục B.2 của TCVN 5575:2024 chọn mác thép S275B như nhau cho bụng và các cánh, điều đó tương ứng với các yêu cầu của tiêu chuẩn:  $f_{yw} = 275/1,05 = 261,9$  MPa cho các tấm bụng dày  $< 16$  mm;  $f_{yr} = 265/1,05 = 252,4$  MPa khi chiều dày các tấm cánh  $> 16$ ;  $< 40$  mm. Đối với sườn cứng ta lấy thép mác S235B;  $f_{yr} = 235/1,05 = 223,8$  MPa cho chiều dày tấm  $< 16$  mm. Giá trị cường độ tính toán hiệu dụng của thép dầm  $f_{yd,ef}$  được xác định theo công thức (9)

$$f_{yd,ef} = \frac{1,06E}{\gamma_c} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{(\psi\theta)^2}}$$

$$= \frac{1,06 \times 2,1 \times 10^5}{1 \times \sqrt[3]{(918,4 \times 20,83)^2}} = 311,2 \text{ MPa}$$

trong đó:

$$\theta = \frac{n}{\rho\gamma_f} = \frac{250}{9,6 \times 1,25} = 20,83 \quad \text{vì } \gamma_f = \frac{39}{31,2} = 1,25;$$

$$\psi = \frac{L}{B} = \frac{18000}{19,6} = 918,4$$

$$\text{vì } B = \sqrt[3]{\frac{M}{E\gamma_c}} = \sqrt[3]{\frac{1581,1 \times 10^6}{2,1 \times 10^5 \times 1}} = 19,6 \text{ mm}$$

Như vậy  $f_{yw} = 261,9 < 311,2$  MPa =  $f_{yd,ef}$  thỏa mãn yêu cầu tiêu chuẩn.

#### 2. Xác định kích thước tiết diện

- Xác định chiều dày bụng mảnh theo công thức (8a):

$$t_w = \left( 0,19 + 29 \frac{f_{yd}}{E} \right) B$$

$$= \left( 0,19 + 29 \times \frac{261,9}{2,1 \times 10^5} \right) \times 19,6 = 4,4 \text{ mm}$$

Khi đó theo bảng quy cách chọn chiều dày bụng  $t_w = 6$  mm.

- Chiều cao của dầm được xác định theo công thức (8b):

$$h_w = \frac{t_w \bar{\lambda}_w \sqrt{E/f_{yd}}}{\gamma_c}$$

$$= 0,44 \times 10,33 \times \frac{\sqrt{2,1 \times 10^5}}{1} = 128,7 \text{ cm}$$

trong đó:

$$\bar{\lambda}_w = 12,9 - 2060 \frac{f_{yd}}{E}$$

$$= 12,9 - 2060 \times \frac{261,9}{2,1 \times 10^5} = 10,33$$

Ta lấy chiều cao bụng bằng 1250 mm.

Độ mảnh tương đối của bụng bằng

$$\bar{\lambda}_w = \frac{1250}{6} \times \sqrt{261,9 / (2,1 \times 10^5)} = 7,36 < 13,$$

phù hợp với yêu cầu tiêu chuẩn.

- Chiều dày cánh dầm được xác định theo công thức (8d)

$$t_f = t_w \sqrt{\bar{\lambda}_w} = 4,4 \times \sqrt{10,33} = 14,1 \text{ mm}$$

Theo bảng quy cách chọn chiều dày cánh  $t_f = 16$  mm.

- Chiều rộng cánh dầm xác định theo công thức (8c):

$$b_f = \frac{0,76 h_w}{\sqrt{\bar{\lambda}_w}} = \frac{0,76 \times 125}{\sqrt{10,33}} = 29,6 \text{ cm}$$

Theo yêu cầu:

$$\frac{b_0}{t_f} = \frac{b_f - t_w}{2t_f} \leq 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_{yd}}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{2,1 \times 10^5}{252,4}} = 10,96$$

Từ đó tìm được  $b_f \leq 35,7$  cm.

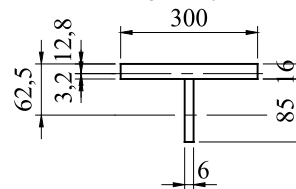
Theo yêu cầu  $\alpha_f \leq \alpha_{fu}$  với  $\alpha_f = A_f / (t_w h_w) = b_f t_f / (t_w h_w)$  còn  $\alpha_{fu}$  được tính theo công thức (1)

$$\alpha_{fu} = \frac{10^3}{\bar{\lambda}_w^3} \left( 1,34 - 412 \frac{f_{yd}}{E} \right)$$

$$= \left( \frac{10}{10,33} \right)^3 \times \left( 1,34 - 412 \times \frac{261,9}{2,1 \times 10^5} \right) = 0,75$$

Từ đó tìm được  $b_f \leq 35,2$  cm.

Cuối cùng ta lấy  $b_f = 300$  mm.



Hình 6. Tiết diện tính toán

#### 3. Xác định kích thước sườn

Ta dự kiến mỗi nối lắp ráp ở giữa nhịp; chiều dài mã vận chuyển 9 m. Sườn được bố trí với khoảng cách  $a \leq 2h_{er} = 2 \times 125 = 250$  cm. Sẽ đặt các sườn ngang ở khoảng cách 1,5 m, phù hợp với vị trí gối đỡ của tấm mái cách nhau 3 m. Tỷ lệ kích thước của khoang  $m = 150/125 =$

1,2. Kích thước sườn lấy theo tiêu chuẩn:

$$b_r \geq h_w / 30 + 25\text{mm} = 1250 / 30 + 25 = 66,7\text{mm} .$$

Chọn  $b_r = 70\text{ mm}$ . Chiều dày sườn

$$t_r \geq 2 \times 70 \times \sqrt{223,8 / (2,1 \times 10^5)} = 4,6\text{ mm} .$$

Ta lấy  $t_r = 6\text{ mm}$ . Sườn bổ sung lắp đặt ở khoảng cách 150 mm kể từ gối, xuất phát từ điều kiện

$$b_r \leq b \leq 1,3t_w \sqrt{E/f_{yd}} \text{ hoặc } 70 \leq b \leq 239 .$$

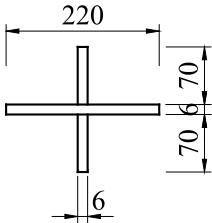
Quy định chiều rộng sườn gối không hơn chiều rộng cánh (300 mm), còn chiều dày theo độ bền ép mặt:

$$t_{r0} \geq 3 \times 150 \times \sqrt{\frac{223,8}{2,1 \times 10^5}} = 14,7\text{mm} .$$

Ngoài ra theo yêu cầu

$$t_{r0} \geq 3 \times 150 \times \sqrt{\frac{223,8}{2,1 \times 10^5}} = 14,7\text{mm}$$

Ta lấy  $t_{r0} = 16\text{ mm}$ .



**Hình 7 - Tiết diện tính toán sườn**

4. Kiểm tra độ bền dầm tại tất cả ba khoang theo tiết diện giữa. Xác định các đặc trưng cần thiết của tiết diện và giá trị giới hạn khả năng chịu lực của các khoang khi uốn thuần túy  $M_u$  và  $V_u$  [công thức (3) và (4)].

$M_u$  theo công thức (3):

$M_u =$

$$M_u = 26,19 \times 0,6 \times 125^2 \times \left[ \frac{30 \times 1,6}{0,6 \times 125} + \frac{0,85}{7,36} \times \left( 1 - \frac{1}{7,36} \right) \right] = 1816\text{kN.m}$$

Các đặc trưng của cánh – chữ T:

$$h_{f1} = 0,5 \times 6 \times \sqrt{2,1 \times 10^5 / 261,9} = 85\text{ mm};$$

$$A_f = 30 \times 1,6 + 8,5 \times 0,6 = 53,1\text{cm}^2 ;$$

$$y_f = (48 \times 0,8 + 5,1 \times 5,85) / 53,1 = 1,28\text{ cm};$$

$$I_f = \frac{30 \times 1,6^3}{12} + \frac{0,6 \times 8,5^3}{12} + 48 \times 0,48^2 + 5,1 \times 4,57^2 = 158,52\text{cm}^4$$

$$W_f = I_f / y_{\max} = 158,52 / 8,82 = 17,97\text{cm}^3 ;$$

Kiểm tra tiết diện dầm.

$$\alpha = 8 \times 17,97 \times (1252 + 1352) / (0,6 \times 1252 \times 1352) = 0,028;$$

$$\beta = 0,1 + 3 \times 0,028 = 0,184 > 0,15.$$

Ứng suất tiếp tới hạn theo công thức (82):

$$\tau_{cr} = 10,3 \times \left( 1 + \frac{0,76}{1,08^2} \right) \times 0,58 \times \frac{26,2}{7,36^2} = 4,77\text{kN/cm}^2$$

Kiểm tra khoang thứ nhất theo điều kiện cắt (4). Khả năng chịu lực của khoang:

$$V_u = 15,19 \times 0,6 \times 125$$

$$\times \left[ \frac{4,77}{15,19} + 3,3 \times \left( 1 - \frac{4,77}{15,19} \right) \times \frac{0,184 \times 1,08}{1 + 1,08^2} \right] = 594\text{kN} > V_{\max} = 351,4\text{kN}$$

Các ô thứ 2 và ô khác có  $\mu = 150/125 = 1,2$ ;

$$\tau_{cr} = 10,3 \times (1 + 0,76/1,22) \times 0,58 \times 261,9 / 7,36 = 44,13\text{ MPa};$$

$$\alpha = 8 \times 17,97 \times (1252 + 1502) / (0,6 \times 1252 \times 1502) = 0,026;$$

$$\beta = 0,1 + 3 \times 0,026 = 0,178 > 0,15.$$

$$V_u = 15,19 \times 0,6 \times 125 \times$$

$$\left[ \frac{44,13}{151,9} + 3,3 \left( 1 - \frac{44,13}{151,9} \right) \times \frac{0,178 \times 1,2}{1 + 1,2^2} \right] = 564\text{ kN};$$

Kiểm tra khoang thứ hai và thứ ba theo công thức (K.33):

Trong khoang thứ hai:

$$\left( \frac{1185,8}{1816} \right)^4 + \left( \frac{234,2}{564} \right)^4 = 0,21 < 1;$$

Trong khoang thứ ba:

$$\left( \frac{1537,2}{1816} \right)^4 + \left( \frac{117,1}{564} \right)^4 = 0,51 < 1.$$

Như vậy, khả năng chịu lực của dầm được xác định bởi độ bền của khoang thứ nhất.

Tính toán theo nhóm hai trạng thái giới hạn (kiểm tra độ võng giữa dầm do tải trọng tiêu chuẩn) được thực hiện kể đến hệ số quy đổi  $\alpha$ .

Mô men quán tính của tiết diện dầm

$$I_x = \frac{0,6 \times 125^3}{12} + 2 \times 30 \times 1,6 \times 63,3^2 = 482318\text{ cm}^4.$$

Độ võng tương đối của dầm

$$\frac{f}{L} = \frac{5q_h L^3}{384EI_x \alpha} = \frac{5 \times 31,2 \times 1800^3}{384 \times 2,1 \times 10^6 \times 482318 \alpha}$$

$$\text{Khi } \alpha = 1,2 - 0,033 \times 7,36 = 0,96 ,$$

$$f/L = 1/410 < [f/L] = 1/400$$

Kiểm tra ổn định sườn ngoài mặt phẳng dầm do lực nén

N. Lực nén N được xác định theo công thức (6)

$$N = 3,3 \times 15,19 \times 0,6 \times 125 \times (1 - 47,7/152) \times 0,184 \times 1,08 / (1 + 1,082) = 237\text{ kN};$$

Chiều dài tính toán của sườn:

$$L_{ef} = 125 \times (1 - 0,184) = 102\text{ cm}.$$

Chiều rộng dải bụng:

$$b = 2 \times 0,65 \times 0,6 \times \sqrt{\frac{2,1 \times 10^4}{26,19}} = 22\text{ cm}.$$

Các đặc trưng hình học:

$$A_{ef} = 2 \times 0,6 \times 7 + 22 \times 0,6 = 21,6\text{ cm}^2;$$

$$I_{fy} = \frac{0,8 \times 14,6^3}{12} + \frac{22 \times 0,6^3}{12} = 156\text{ cm}^4;$$

$$i_y = \sqrt{156 / 21,6} = 2,69\text{ cm};$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{102}{2,69} \times \sqrt{\frac{223,8}{2,1 \times 10^5}} = 1,24 ;$$

(Xem tiếp trang 61)

hiệu vệ tinh. Những vệ tinh yếu, nhiều thì cần phải cắt tín hiệu yếu, nhiều của vệ tinh đó ra khỏi chương trình. Sau khi can thiệp tín hiệu vệ tinh thì cần kiểm tra sai số khép đồ hình của lưới. Sai số khép đồ hình của lưới nhỏ hơn sai số khép hình giới hạn theo tiêu chuẩn thì tiếp tục tiến hành xử lý số liệu [8].

Trong quá trình bình sai, nếu coi độ chính xác đo góc và độ chính xác đo cạnh là bằng nhau thì chọn trọng số đơn vị bằng  $M_0=1$  [5].

### 3. Kết quả nghiên cứu thành lập lưới khống chế hạng IV bằng công nghệ GPS

Lưới khống chế hạng IV trong thành lập bản đồ hiện trạng tỉ lệ 1:500 phục vụ thiết kế, thi công tuyến đường tại Bắc Giang được xây dựng bảo đảm các tiêu chí kỹ thuật Nhà nước quy định trong tài liệu [7], đồ hình lưới như hình 4.

Kết quả tọa độ và độ cao sau bình sai lưới khống chế

hạng IV trong thành lập bản đồ hiện trạng tỉ lệ 1:500 phục vụ thiết kế, thi công tuyến đường tại Bắc Giang được thể hiện trong Bảng 3 [8].

Kết quả đánh giá độ chính xác kết quả đo GPS: Hình 4

### 4. Kết luận

Xây dựng được hệ thống lưới khống chế hạng IV trong thành lập bản đồ hiện trạng phục vụ thiết kế, thi công tuyến đường tại Bắc Giang bằng công nghệ GPS, đảm bảo đủ số lượng điểm và độ chính xác, các chỉ tiêu kỹ thuật của Nhà nước đề ra. a

Ứng dụng công nghệ đo GPS trong việc thành lập lưới khống chế hạng IV tiết kiệm thời gian, chi phí, mang lại hiệu quả kinh tế cao. a

Công nghệ GPS giúp việc lập lưới khống chế hạng IV được thực hiện ở những địa hình đặc biệt, chia cắt, không thông hướng và yêu cầu thời gian xây dựng lưới nhanh./

#### Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Thành Len, “Ứng dụng công nghệ GPS thành lập lưới khống chế đo vẽ phục vụ công tác lập quy hoạch chi tiết điểm du lịch sinh thái Chiềng Yên, Xã Chiềng Yên, Vân Hồ, Sơn La”, Tạp chí Khoa học kiến trúc Xây dựng, số 37, 2/2020, tr82-85;
2. Đặng Nam Chinh, Đỗ Ngọc Đường, Công nghệ GPS. Bài giảng ngành Trắc địa, trường Đại học Mỏ - Địa Chất Hà Nội, năm 2003;
3. Nguyễn Trọng San, Đào Quang Hiếu, Định Công Hòa, Trắc địa cơ sở (Tập 1- Tập 2). Nhà xuất bản Giao thông vận tải, năm 2004;
4. Bộ tài nguyên và Môi trường, Thông tư 25/2014/TT-BTNMT Quy định về bản đồ địa chính;
5. Xử lý số liệu GPS trên phần mềm TRIMBLE TOTAL CONTROL;
6. Hướng dẫn sử dụng máy định vị GPS RTK Trimble R3 một tần số L1 phục vụ đo đạc khống chế và đo động chi tiết;
7. Bộ Tài nguyên và Môi trường, Thông tư số 68/2015/TT-BTNMT ngày 22/12/2015 Quy định kỹ thuật đo đạc trực tiếp địa hình phục vụ thành lập bản đồ địa hình và cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000;
8. Bộ Tài nguyên và Môi trường, Thông tư số 06/2009/TT-BTNMT ngày 18 tháng 06 năm 2009 Quy định về quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về xây dựng lưới tọa độ;

## Thiết kế dầm thép bụng mảnh

(tiếp theo trang 34)

$$\varphi_y = 0,923 ;$$

$$\sigma = \frac{237}{0,923 \times 21,6} = 11,9 < f_{yr} = 22,38 \text{ kN/cm}^2.$$

Các kiểm tra bền khác, ví dụ như ứng suất cục bộ trong bản bụng dưới tác dụng của lực tập trung trong trường hợp này không cần thực hiện do đã có sườn cứng. Kiểm tra điều kiện chịu cắt của bản bụng trong trường hợp này sẽ được thỏa mãn bởi quy định về cấu tạo, điều này được minh chứng khi kiểm tra độ bền các khoang (ô bụng) khi chịu đồng thời mô men và lực cắt.

Như vậy, tiết diện dầm được lấy: bụng – 1250×6; cánh -300×16; sườn -70×6; sườn gối -300×16. Chi phí thép cho dầm (không kể đường hàn): bụng – 1060 kg, cánh – 1356 kg, sườn – 185 kg, tổng cộng – 2601 kg.

### 5. Kết luận và kiến nghị

- Việc tính toán cấu kiện dầm bụng mảnh có nhiều điểm khác so với việc tính toán dầm thông thường về độ bền, ổn định cũng như về độ võng.

- Tiêu chuẩn Thiết kế kết cấu thép của Việt Nam TCVN 5575:2024 đề cập đến nhiều loại dầm (dầm bụng lượn sóng, dầm bụng lõ, dầm bụng mảnh, dầm bụng ổn định, dầm ứng suất trước). Chính vì thế, cần có những nghiên cứu nhằm hiểu đúng và khai thác hết các nội dung đề cập trong tiêu chuẩn này, cũng như áp dụng các loại dầm đó trong thực tiễn trong thời gian tới.

Việc sử dụng dầm bụng mảnh đôi khi phải dùng thêm sườn gia cường chịu các tải trọng tập trung, cần có thêm các nghiên cứu so sánh hiệu quả sử dụng với các loại dầm khác./

#### Tài liệu tham khảo

1. Tiêu chuẩn Việt Nam (2024), TCVN 5575:2024 - Thiết kế kết cấu thép.
2. Tiêu chuẩn Việt Nam (2023), TCVN 2737:2023 – Tải trọng và tác động.
3. Phạm Văn Hội, Nguyễn Quang Viên và nnk (2010), “Kết cấu thép – Cấu kiện cơ bản”, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
4. SP 16.13330.2017, Stальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\* (с Поправкой, с Изменениями N 1, 2) (Kết cấu thép – Phiên bản cập nhật của SniP II-23-81 (với đính chính, sửa đổi 1, 2, 3 và 4).
5. SP 43.13330.2012, Сооружения промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП 2.09.03-85 (с Изменениями N 1, 2) (Các công trình xí nghiệp công nghiệp – Phiên bản cập nhật của SniP 2.09.03-85 (với các sửa đổi 1, 2).
6. SP 294.1325800.2017, Конструкции стальные. Правила проектирования (с Изменением N 1, N 2) (Kết cấu thép – Quy tắc thiết kế (với các sửa đổi 1, 2).
7. Металлические конструкции. Том 2. Конструкции зданий. Учеб. для строит. вузов / В. В. Горев, Б. Ю. Уваров, В. В. Филиппов, Г. И. Белый и др.; Под ред. В. В. Горева. - 2-е изд., испр. - М.: Высш. шк., 2002. - 528 с.: ил. ISBN 5-06-003696-0 (т. 2)
8. Кудишин Ю.И.(ред.) (2011), Металлические конструкции, Издательство: Академия.