

Tính toán tôn sóng định hình theo en 1993-1-3

Calculation of profile steel sheeting based on en 1993-1-3

> TS NGUYỄN TRUNG KIÊN, TS NGUYỄN TRẦN HIẾU*, THS NGUYỄN VĂN CƯỜNG, PGS.TS VŨ ANH TUẤN

Khoa XDDD&CN, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội; *Email: hieunt2@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày quy trình tính toán tôn sóng định hình bằng phương pháp bề rộng hiệu quả theo Tiêu chuẩn châu Âu EN 1993-1-3. Quy trình tính toán đưa ra nhằm xác định tiết diện hiệu quả của tôn sóng định hình có kể đến ảnh hưởng của các sườn trung gian ở cánh cũng như sườn ở bản bụng. Ví dụ tính toán được trình bày để xác định độ bền mô men của tôn sóng nhằm minh họa quy trình tính toán tôn sóng định hình có sóng tôn hình thang.

Từ khóa: Tôn sóng định hình; decking; cấu kiện thành mỏng tạo hình nguội; sàn liên hợp trong giai đoạn thi công; độ bền mô men của tôn sóng.

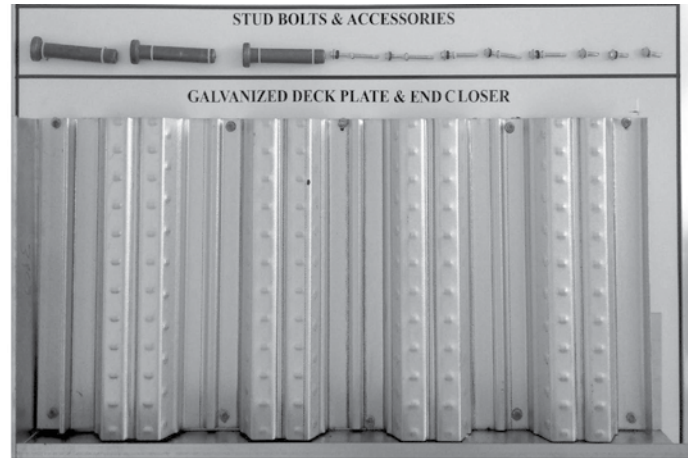
ABSTRACT

This article presents a procedure for calculating profile sheel sheeting using the effective width method according to European Standard EN 1993-1-3. The calculation procedure aims to determine the effective cross-section of the profile steel sheeting, taking into account the influence of intermediate ribs in the flange as well as in the web. An example is then presented to determine the moment resistance of the profile steel sheeting to illustrate the calculation process.

Keywords: Profile sheel sheeting; decking; CFSM; Steel-composite slab in construction stage; moment resistance of profile steel sheeting.

1. GIỚI THIỆU

Trên thế giới, cấu kiện thanh thành mỏng tạo hình nguội (CFSM) đã được sử dụng từ thế giữa thế kỷ thứ XIX và phát triển rộng rãi ở Mỹ và Anh từ những năm 1940. CFSM đã và đang được ứng dụng rộng rãi trong các cấu kiện chịu lực trong khung, thanh phẳng hoặc không gian, xà gỗ mái, tôn sóng định hình (sàn deck) hoặc được sử dụng ở các chi tiết cũng như bộ phận kiến trúc bao che mặt ngoài công trình... So với kết cấu thép cán, CFSM được làm từ thép cường độ cao, chiều dày nhỏ hơn 3 mm nên có các ưu điểm như trọng lượng cấu kiện giảm từ 25% đến 50%, giảm thời gian lắp dựng đến 30%, sử dụng các hình thức liên kết đơn giản, vận chuyển thuận tiện, bốc xếp và lưu kho gọn [1], chi phí cho kết cấu móng giảm đáng kể.



Hình 1. Mẫu tôn sóng định hình và phụ kiện dùng trong nhà cao tầng

Tôn sóng định hình là một dạng của CFSM được dùng phổ biến không những trong nhà cao tầng mà còn các công trình công nghiệp bằng thép. So với sàn bê tông cốt thép truyền thống, sàn liên hợp với tôn sóng định hình có nhiều ưu điểm như tôn sóng định hình đóng vai trò cốt pha, sàn công tác; tương tự như lớp cốt thép bên dưới khi làm việc liên hợp; giảm được trọng lượng bản thân sàn...

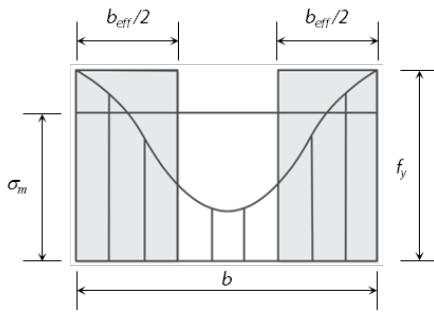
Nhiều quốc gia và vùng lãnh thổ đã ban hành tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép thành mỏng tạo hình nguội như tiêu chuẩn AISI S100-16 tại Mỹ, Canada, Mexico, AS/NZS 4600:2018 tại Úc và New Zealand, EN 1993-1-3:2006 cho cộng đồng chung châu Âu, SP 260.1325800.2016 tại LB Nga, GB 50018-2002 tại Trung Quốc... Cho đến nay ở Việt Nam, tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép mới nhất TCVN 5575:2024 cũng chưa dùng để thiết kế loại cấu kiện này. Trong những năm gần đây, có rất nhiều tiêu chuẩn và hướng dẫn thiết kế được xây dựng theo Đề án hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật xây dựng (198/QĐ-TTg) như biên soạn dự thảo bộ tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép theo định hướng tiêu chuẩn châu Âu (TC29-20/BXD) và hướng dẫn thiết kế kết cấu thép tạo hình nguội theo EN 1993-1-3 (RD 26-22/BXD).

Với mục đích giúp cho người thiết kế làm quen với hệ thống tiêu chuẩn mới, bài báo trình bày hướng dẫn cơ bản cũng như quy trình tính toán tôn sóng định hình bằng phương pháp bề rộng hiệu quả (EWM) dựa trên EN 1993-1-3 [2], EN 1993-1-5 [3] sau đó áp dụng tính toán cho tôn sóng định hình chịu uốn.

2. PHƯƠNG PHÁP BỀ RỘNG HIỆU QUẢ (EWM)

2.1. Giới thiệu và phạm vi áp dụng

Tấm mỏng khi chịu ứng suất nén trong mặt phẳng có thể sẽ mất ổn định. Rõ ràng ứng suất sẽ không phân bố đều trên mặt cắt ngang tấm, với giá trị nhỏ hơn ở vùng giữa tấm và ứng suất lớn nhất đạt tới giới hạn chảy tại mép biên tấm (Hình 2).



Hình 2. Ý tưởng phương pháp bể rộng hiệu quả

Phương pháp bể rộng hiệu quả (EWM) được phát triển bởi Karman từ năm 1932 và sau đó được điều chỉnh có xét đến ảnh hưởng của sự không hoàn hảo của hình học cũng như ứng suất dư bởi Winter [4]. Ý tưởng của phương pháp EWM là thay thế tấm mỏng với bể rộng b chịu ứng suất nén bằng tấm với bể rộng hiệu quả b_{eff} có ứng suất phân bố bằng với ứng suất chảy như thể hiện ở Hình 2. Theo [1], giá trị của ứng suất nén tối hạn tức f_{cr} là ứng suất gây mất ổn định tấm được thể hiện bởi công thức (1):

$$f_{cr} = \frac{k_{\sigma} \pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(b/t)^2} \quad (1)$$

Trong đó:

k_{σ} - hệ số phụ thuộc vào điều kiện gối tựa của tấm và ứng suất;

E - mô đun đàn hồi của thép;

μ - hệ số Poisson;

t - bề dày tấm.

Tấm bị mất ổn định có thể được thay thế bằng tấm có bể rộng b_{eff} nhỏ hơn sao cho ứng suất tối hạn của tấm đạt đến giới hạn chảy dẻo f_y . Thay f_y và b_{eff} cho f_{cr} và b ở công thức (1) ta có:

$$f_y = \frac{k_{\sigma} \pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(b_{eff}/t)^2} \quad (2)$$

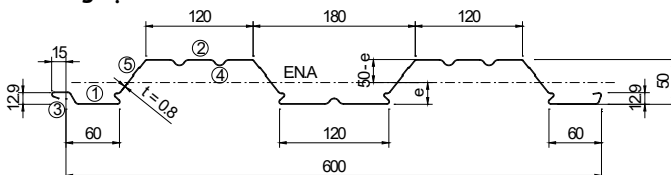
Chia công thức (1) cho (2), ta được:

$$\frac{b_{eff}}{b} = \sqrt{f_{cr}/f_y} \text{ hay } \frac{b_{eff}}{b} = \rho \quad (3)$$

Hệ số suy giảm bể rộng ρ phụ thuộc vào phân bố ứng suất trong tấm (ở bản cánh hay bản bụng của tiết diện), có hoặc không có sườn dọc, vị trí và số lượng sườn dọc...

EN 1993-1-3 là tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép tạo hình nguội và quy định cụ thể cho các ứng dụng kết cấu sử dụng các sản phẩm thép tạo hình nguội được làm từ tấm và dải cán nóng hoặc cán nguội khổ mỏng có hoặc không có lớp mạ. Tiêu chuẩn được sử dụng cho việc thiết kế các tòa nhà hoặc công trình kỹ thuật dân dụng kết hợp hệ thống tiêu chuẩn châu Âu như EN 1990, EN 1991, EN 1993-1-1 và EN 1993-1-5 dựa trên phương pháp trạng thái giới hạn. Khi tính toán tôn sóng định hình theo tiêu chuẩn châu Âu cần lưu ý giới hạn chiều dày tấm từ 0,5 mm đến 4,0 mm, vật liệu có độ bền kéo f_u từ 360 N/mm² đến 530 N/mm².

2.2. Phương pháp bể rộng hiệu quả (EWM) áp dụng tính toán tôn sóng định hình



① - Phần tử phẳng ③ - Sườn biến ⑤ - Bụng với sườn trung gian
② - Phần tử phẳng được tăng cứng ④ - Sườn trung gian

Hình 3. Mặt cắt ngang tôn sóng định hình

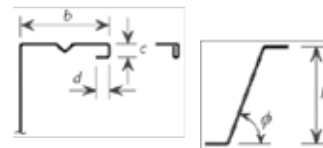
Tôn sóng định hình là một loại CFMS được áp dụng trong kết cấu sàn liên hợp thép-bê tông. Nó được cấu tạo bởi các phần tử phẳng được nối với nhau bởi góc uốn cong, các phần tử phẳng có thể có sườn biên hoặc sườn trung gian... (xem Hình 3).

a. Ảnh hưởng của góc uốn cong (điều 5.1 [2])

Tiết diện của CFMS về cơ bản chứa các phần tử phẳng được nối với nhau bằng phần tử cong và góc uốn cong. Khi phải kể đến ảnh hưởng của các góc uốn cong, bề rộng danh nghĩa b_p của phần tử phẳng được xác định từ điểm giữa của các phần tử góc liền kề như thể hiện ở Hình 5.1 của Điều 5.1 [2]. Trừ khi sử dụng phương pháp chính xác hơn để xác định các đặc trưng của tiết diện, có thể bỏ qua ảnh hưởng của góc uốn cong nếu bán kính trong $r \leq 5t$ và $r \leq 0,1b_p$; lúc này tiết diện được giả thiết gồm các phần tử phẳng nối với nhau. Lưu ý khi tính độ cứng của tiết diện, luôn phải kể đến ảnh hưởng của các góc uốn cong.

b. Tỷ lệ hình học (điều 5.2 [2])

Các giới hạn về tỷ lệ hình học của các phần tử như b/t , h/t , c/t và d/t phải nhỏ hơn giá trị tối đa được cho ở Bảng 5.1 [2] để có thể áp dụng các quy định về thiết kế được trình bày trong Phần 1-3 của EN 1993. Có thể sử dụng tiết diện có giá trị tỷ lệ hình học lớn hơn cho phép với điều kiện các trạng thái giới hạn phải được tính toán hoặc thử nghiệm trong đó kết quả được dựa trên số lượng thử nghiệm phù hợp.



Hình 4. Ký hiệu kích thước hình học của các phần tử thuộc tiết diện

c. Phần tử phẳng không có sườn cứng (điều 5.5.2 [2])

Bể rộng hiệu quả của phần tử phẳng không có sườn cứng được áp dụng theo EN 1993-1-5 [3] sử dụng bể rộng phẳng quy ước b_p cho $\bar{b}$ bằng cách xác định hệ số giảm mất ổn định dựa trên độ mảnh của tấm $\bar{\lambda}_p$. Khi áp dụng phương pháp trong [3], có thể sử dụng quy trình sau:

(a) Xác định đặc trưng hình học của tiết diện nguyên;

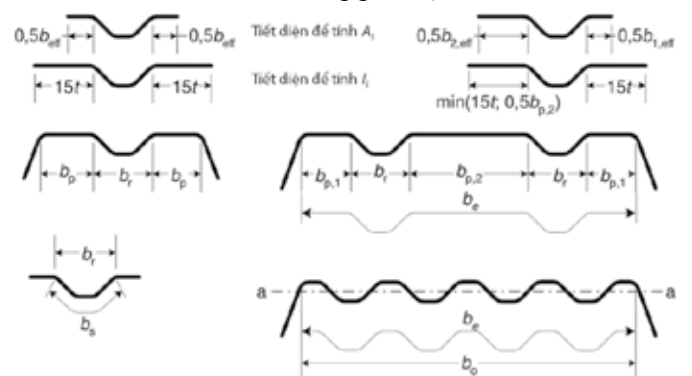
(b) Dựa trên vị trí và tỷ số ứng suất η trên phần tử (Điều 4.4(2),

Bảng 4.1 và Bảng 4.2 [3]) để xác định được độ mảnh quy ước $\bar{\lambda}_p$ và hệ số suy giảm ρ qua đó tính được bể rộng hiệu quả ban đầu b_{eff} ;

(c) Các đặc trưng của tiết diện hiệu quả có thể được xác định chính xác hơn bằng cách sử dụng tỷ số ứng suất η dựa trên tiết diện hiệu quả tìm được ở (b). Các bước tối thiểu trong quá trình lặp với trường ứng suất là hai lần.

d. Tôn sóng định hình với sóng hình thang có sườn trung gian (điều 5.5.3.4 [2])

(a) Bản cánh có các sườn trung gian chịu nén



Hình 5. Cảnh chịu nén của một hoặc nhiều sườn trung gian

Với các sườn cứng trung gian, ứng suất mất ổn định tới hạn đàn hồi phụ thuộc vào số lượng (một, hai hay nhiều) sườn ở cánh (Hình 5) và được tính toán theo các công thức 5.22, 5.23a và 5.23c ở điều 5.5.3.4.2(2).

Khi chịu mô men uốn dương thì cánh trên của tôn sóng chịu nén, lúc này ứng suất tới hạn đàn hồi cho trường hợp có hai sườn trung gian đối xứng được xác định theo công thức sau:

$$\sigma_{cr,s} = \left(\frac{4,2k_w E}{A_s} \right) \sqrt{\frac{I_s t^3}{8b_1^2 (3b_e - 4b_1)}} \quad (4)$$

$$b_e = 2b_{p,1} + b_{p,2} + 2b_s; b_1 = b_{p,1} + 0,5b_r$$

Trong đó:

$b_{p,1}$, $b_{p,2}$, b_r - lần lượt là bề rộng phẳng danh nghĩa của phần tử ngoài, phần tử trong và tổng bề rộng của sườn (Hình 5)

k_w - hệ số có kể đến ngăn cản chống xoay một phần của bản cánh có sườn do bản bụng hoặc các phần tử liền kề, theo điều 5.5.3.4.2(5)(6) và phụ thuộc vào chiều dài tính toán l_b . Giá trị của l_b được xác định theo công thức 5.27.

Khi chịu mô men uốn âm thì cánh dưới của tôn sóng chịu nén, lúc này ứng suất tới hạn đàn hồi cho trường hợp có một sườn ở giữa cánh được xác định theo công thức sau:

$$\sigma_{cr,s} = \left(\frac{4,2k_w E}{A_s} \right) \sqrt{\frac{I_s t^3}{4b_p^2 (2b_p + 4b_s)}} \quad (5)$$

Trong đó:

b_p , b_s - lần lượt là bề rộng phẳng danh nghĩa của phần tử phẳng và bề rộng của sườn (Hình 5);

A_s , I_s - diện tích và mô men quán tính của sườn (Hình 5);

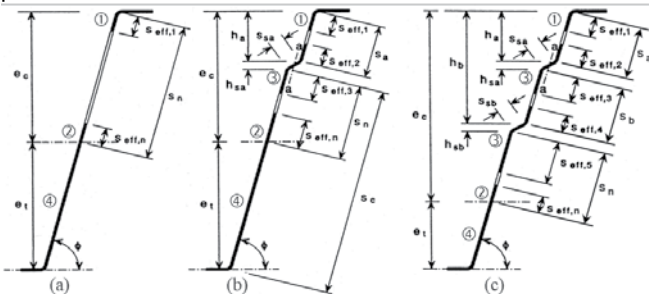
k_w - hệ số có kể đến ngăn cản chống xoay một phần của bản cánh có sườn do bản bụng hoặc các phần tử liền kề, theo điều 5.5.3.4.2(5)(6) và phụ thuộc vào chiều dài tính toán l_b . Giá trị của l_b được xác định theo công thức 5.25.

Hệ số suy giảm χ_d cho độ bền mất ổn định méo (mất ổn định uốn của sườn) phụ thuộc vào độ mảnh quy ước $\bar{\lambda}_d$ theo điều 5.5.3.1(7). Bề dày suy giảm của bản cánh nén được xác định theo công thức:

$$t_{red} = t \chi_d \quad (6)$$

(b) Bản bụng có không quá hai sườn trung gian chịu nén (điều 5.5.3.4.3)

Tiết diện hiệu quả của bản bụng chịu nén (Hình 6) được giả định gồm một tiết diện của các phần tử liền kề vùng nén $S_{eff,1}$, phần tử liền kề với trục trọng tâm hiệu quả $S_{eff,n}$, phần tử chịu kéo và phần hiệu quả của các sườn $S_{eff,i}$, S_{sa} , S_{sb} (nếu có).



① - Phần tử liền kề với bản cánh chịu nén
② - Phần tử liền kề với trục trọng tâm hiệu quả
③ - Phần tử liền kề với sườn
④ - Phần tử chịu kéo

Hình 6. Tiết diện hiệu quả của bụng tôn sóng định với sóng hình hình thang

Ban đầu, vị trí của trục trọng tâm hiệu quả được xác định dựa trên tiết diện hiệu quả của bản cánh, không phải tiết diện nguyên của bản bụng. Trong trường hợp này bề rộng hiệu quả cơ sở $S_{eff,0}$ được xác định:

$$S_{eff,0} = 0,76 \sqrt{E / \gamma_{M0} \sigma_{com,Ed}} \text{ hay } S_{eff,0} = 0,76 \sqrt{E / f_{yb}} \quad (7)$$

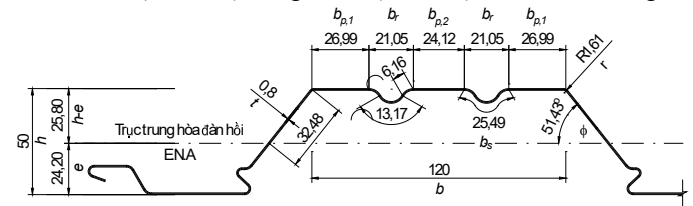
Xác định các kích thước ban đầu của $S_{eff,1}$ đến $S_{eff,n}$, trong trường hợp bản bụng không hiệu quả toàn bộ theo các từ công thức 5.33a đến 5.33f, sau đó các kích thước này cần được kiểm tra lại nếu phần tử phẳng thích hợp là hiệu quả theo điều 5.5.3.4.3(6) trong trường hợp bản bụng không có sườn (công thức 5.34a,b), có sườn (công thức 5.35a,b) có một sườn (công thức 5.36a,b) hoặc hai sườn (công thức 5.37a,b)

e. Xác định các đặc trưng của tôn sóng định hình với sóng hình thang

Sau khi xác định được kích thước tiết diện hiệu quả của tôn sóng định hình, cần xác định các đặc trưng hình học như diện tích hiệu quả A_{eff} , mô men quán tính hiệu quả I_{eff} , vị trí trục trung hòa z , mô men chống uốn hiệu quả W_{eff} ... Do tiết diện hiệu quả phụ thuộc vào hình dạng và sườn trong sóng tôn, nên việc thường sử dụng phần mềm để tính toán các đặc trưng hình học, một trong số các phần mềm hay được sử dụng đó là CFS (RSG Software - Mỹ) [5]. Sau khi có đầy đủ các đặc trưng hình học, tiến hành kiểm tra tôn sóng theo EN 1993-1-1.

3. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

Xác định độ bền mô men dương của tôn sóng định hình loại QL-99-50-08 [6], các đặc trưng hình học của tôn được thể hiện ở Hình 3. Các đặc trưng vật liệu như giới hạn chảy $f_{yb}=307$ (N/mm²); mô đun đàn hồi $E=210000$ (N/mm²); hệ số riêng $\gamma_{M0}=1,0$. Các ký hiệu và kích thước hình học của một sóng tôn được thể hiện ở Hình 7 và Bảng 1.



Hình 7. Ký hiệu và kích thước hình học của một sóng tôn

Bảng 1. Thông số hình học phần tử của một sóng tôn

Thông số phần tử	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Bề rộng phẳng danh nghĩa của phần tử ngoài	$b_{p,1}$	26,99	mm
Bề rộng phẳng danh nghĩa của phần tử trong	$b_{p,2}$	24,12	mm
Tổng bề rộng sườn	b_r	21,05	mm
Tổng chiều dài sườn	b_s	25,49	mm
Góc nghiêng giữa sườn và trục trung hòa đàn hồi	ϕ	51,43	độ

Bước 1. Xác định ảnh hưởng của góc uốn cong

Theo điều 5.1(3), điều kiện để bỏ qua góc uốn cong là $1,61 < 4,0$ và $1,61 < 2,7$ đã thỏa mãn, tuy nhiên trong ví dụ này góc uốn cong vẫn được kể đến trong tính toán chính xác các đặc trưng hình học và độ cứng của tiết diện.

Bước 2. Kiểm tra tỷ lệ hình học

Giới hạn tỷ lệ hình học của phần tử thuộc tiết diện như tỷ lệ của bản cánh $150 < 500$, bản bụng $62,5 < 390,9$ và góc nghiêng $45^\circ < 51,4^\circ < 90^\circ$ đều thỏa mãn.

Bước 3. Xác định bề rộng hiệu quả ban đầu phần tử phẳng của cánh chịu nén

Bảng 2. Bề rộng hiệu quả ban đầu của phần tử ngoài

Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị	Tham chiếu
Độ mảnh quy ước	$\bar{\lambda}_{p,1}$	0,679		Điều 4.4(2) [3]
Hệ số suy giảm	ρ_1	0,996		Điều 4.4(2) [3]
Bề rộng hiệu quả ban đầu	$b_{eff,p,1}$	26,873	mm	Bảng 4.1 [3]
Bề rộng hiệu quả cạnh bụng	$b_{1,eff,p,1}$	13,436	mm	Bảng 4.1 [3]
Bề rộng hiệu quả cạnh sườn	$b_{2,eff,p,1}$	13,436	mm	Bảng 4.1 [3]

Giả thiết tỷ số phân bố ứng suất nén đều, theo Bảng 4.1 [3], có tỷ số $\psi=1$ và hệ số mất ổn định $k_{\sigma}=4$. Bề rộng hiệu quả ban đầu của phần tử ngoài và trong được lần lượt thể hiện ở Bảng 2 và Bảng 3.

Bảng 3. Bề rộng hiệu quả ban đầu của phần tử trong

Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị	Tham chiếu
Độ mảnh quy ước	$\lambda_{p,2}$	0,607		Điều 4.4(2) [3]
Hệ số suy giảm	ρ_2	1,0		Điều 4.4(2) [3]
Bề rộng hiệu quả ban đầu	$b_{eff,p,2}$	24,12	mm	Bảng 4.1 [3]
Bề rộng hiệu quả cạnh sườn	$b_{1,eff,p,2}$	12,06	mm	Bảng 4.1 [3]
Bề rộng hiệu quả cạnh sườn	$b_{2,eff,p,2}$	12,06	mm	Bảng 4.1 [3]

Bước 4. Xác định ứng suất tới hạn đàn hồi

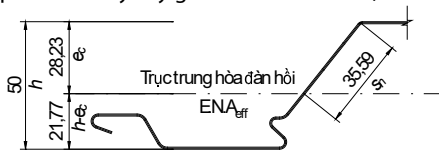
Bản cánh chịu nén của tôn sóng QL-99-50-08 có hai sườn trung gian đối xứng, chịu mô men uốn dương, ứng suất tới hạn đàn hồi được xác định theo công thức (4) và được trình bày ở Bảng 4.

Bảng 4. Ứng suất tới hạn đàn hồi và hệ số suy giảm bề dày bản cánh

Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị	Tham chiếu
Diện tích của sườn	A_s	40,79	mm ²	Hình 5
(Tính) mô men quán tính của sườn	I_s	195,3	mm ⁴	Hình 5, Theo [5]
Tổng chiều dài của cánh chịu nén	b_e	129,08	mm	Công thức ((4))
Hệ số suy giảm	b_1	37,515	mm	Công thức ((4))
Chiều cao của bụng	h_w	26,873	mm	Hình 5.1(c) [2]
Chiều dài của bụng	s_w	62,928	mm	Hình 5.1(c) [2]
Chiều dài tính toán	l_b	387,724	mm	Công thức 5.27 [2]
Hệ số kể đến ngăn cản chống xoay một phần	k_{wo}	1,716		Công thức 5.28 [2]
	k_w	1,716		Điều 5.5.3.4.2(5) [2]
Ứng suất tới hạn đàn hồi	$\sigma_{cr,s}$	227,11	N/mm ²	Công thức ((4))
Độ mảnh quy ước	λ_d	1,163		Công thức 5.12(d) [2]
Hệ số giảm do mất ổn định méo	χ_d	0,629		Điều 5.5.3.1(7) [2]
Bề dày suy giảm của bản cánh nén	t_{red}	0,504	mm	Công thức ((6))

Bước 5. Xác định tiết diện hiệu quả của bản bụng tôn sóng định hình chịu nén

Xác định vị trí mới của trục trung hòa đàn hồi (E.N.A_{eff}) với bề rộng hiệu quả và bề dày suy giảm của bản cánh (Hình 8).



Hình 8. Ký hiệu và kích thước hình học để xác định trục trung hòa mới

Do cấu tạo của tôn sóng không có sườn ở bản bụng (xem Hình 6(a)), vị trí mới của trục trung hòa tính từ mặt trên của sóng tôn là $e=28,23$ mm, chiều dài bản bụng chịu nén $s_n=35,39$ mm (Hình 8). Kết quả xác định bề rộng hiệu quả của các phần tử thuộc bản bụng chịu nén được trình bày ở Bảng 5.

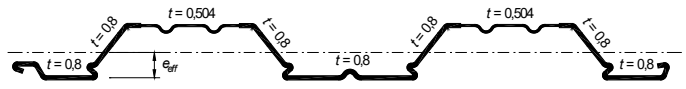
Bảng 5. Ứng suất tới hạn đàn hồi và bề rộng hiệu quả của bản bụng

Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị	Tham chiếu
Ứng suất trong bản cánh nén khi tiết diện đạt tới độ bền	$\sigma_{com,red}$	307	N/mm ²	Điều 5.5.3.4.3(4) [2]
Bề rộng hiệu quả cơ sở	$S_{eff,0}$	15,9	mm	Công thức ((7))
Bề rộng hiệu quả của phần tử bụng liên kết với bản cánh chịu nén	$S_{eff,1}$	15,9	mm	Công thức 5.33(a) [2]
Bề rộng hiệu quả của phần tử bụng liên kết với vị trí trục trung hòa mới	$S_{eff,n}$	23,9	mm	Công thức 5.33(f) [2]

Tổng bề rộng hiệu quả của bản bụng $S_{eff,1} + S_{eff,n} = 39,8$ mm; Bề rộng hiệu quả này lớn hơn chiều dài bản bụng chịu nén $s_n = 35,39$ mm. Như vậy toàn bộ tiết diện bản bụng hiệu quả.

Bước 6. Xác định đặc trưng hình học của tiết diện hiệu quả

Tiết diện hiệu quả của tôn sóng QL-99-50-08 sau khi xác định được tiết diện hiệu quả của bản cánh và bản bụng chịu nén được thể hiện ở Hình 9.



Hình 9. Tiết diện hiệu quả tôn sóng QL-99-50-08 khi chịu mô men uốn dương

Việc tính toán thủ công các đặc trưng hình học của tôn sóng định hình với bề rộng hiệu quả và bề dày suy giảm mất nhiều thời gian và độ chính xác không cao, do đó các giá trị đặc trưng hình học cần thiết sẽ được xác định bằng phần mềm CFS [5]. Kết quả được trình bày trong Bảng 6.

Bảng 6. Đặc trưng hình học tiết diện hiệu quả tôn sóng định hình QL-99-50-08

Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Diện tích hiệu quả	A_{eff}	591,95	mm ²
Mô men quán tính hiệu quả	I_{eff}	236578	mm ⁴
Vị trí trục trung hòa so với bản cánh dưới	e_{eff}	21,77	mm
Vị trí trục trung hòa so với bản cánh trên	$50-e_{eff}$	28,23	mm
Mô men chống uốn hiệu quả đối với biên cánh trên	$W_{eff,top}$	8380,4	mm ³
Mô men chống uốn hiệu quả đối với biên cánh dưới	$W_{eff,bottom}$	10867,2	mm ³

Bước 7. Xác định độ bền mô men dương của tôn sóng

Độ bền mô men dương của tôn sóng được xác định theo công thức 6.4 [2].

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff} \times f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{\min(W_{eff,top}, W_{eff,bottom}) \times f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{8380,4 \times 307}{1,0} = 2,573 \text{ kNm}$$

Vậy khi tôn sóng định hình QL-99-50-08 chịu uốn, mô men dương lớn nhất mà tôn sóng chịu được là $M_{c,Rd} = 2,573 \text{ kNm}$.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày quy trình tính toán tôn sóng định hình có sơ đồ dầm đơn giản hoặc liên tục bằng phương pháp bề rộng hiệu quả (EWM) theo EN 1993-1-3. Khi tính toán tôn sóng định hình chịu mô men dương, tại bản cánh nén bề dày bản cánh có sự suy giảm rõ rệt, tuy nhiên nhờ có sự đóng góp của hai sườn trung gian mà bề rộng hiệu quả của bản cánh nén có sự suy giảm không đáng kể tại vị trí tiếp giáp với sườn biên. Trong thực tế, bản bụng của tôn sóng QL-99-50-08 không cần có sườn trung gian là hoàn toàn phù hợp với tính toán vì bản bụng phía trên trục trung hòa đàn hồi có kể đến ảnh hưởng tiết diện hiệu quả của bản cánh không bị suy giảm bề rộng hiệu quả.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Xây dựng trong đề tài mã số RD 48-22.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đ. Đ. Kiến, "Thiết kế kết cấu thép thành mỏng tạo hình nguội", NXB Xây dựng. 2018.
- [2] EN 1993-1-3, Eurocode 3: Design of steel structures - General rules - Supplementary rules for cold-formed members and sheeting. 2006.
- [3] EN 1993-1-5, Eurocode 5: Design of steel structures - Plated structural elements. 2006.
- [4] C. Couto, P. V. Real, N. Lopes, B. Zhao, "Effective width method to account for the local buckling of steel thin plates at elevated temperatures", *Thin-Walled Structures*, vol. 84, pp. 134-149, 2014, dx.doi.org/10.1016/j.tws.2014.06.003.
- [5] B. Glauz, *Cold-formed steel design software-CFS* (2023) [Software]
- [6] JFE Steel, *QL Composite slab steel deck Catalog*, 2015.