

Informacje uzupełniające: Określanie smukłości względnej dwuteowników walcowanych na gorąco

Przedstawiono metodę określania smukłości względnej przy zwichrzeniu bez obliczania momentu krytycznego M_{cr} . W podstawowej metodzie można brać pod uwagę geometrię przekroju i rozkład momentów zginających na długości elementu.

Spis treści

1.	Metoda uproszczona	2
2.	Korzyści z bardziej złożonego (dokładnego) podejścia	3
3.	Uwzględnianie skutków działania obciążenia destabilizującego	6

1. Metoda uproszczona

Dla prostych segmentów walcowanych na gorąco podwójnie symetrycznych dwuteowników walcowanych I i H, z bocznymi usztywnieniami stopki ściskanej na obu końcach segmentu bez sił destabilizujących, wartość $\bar{\lambda}_{LT}$ wymagana przez [EN1993-1-1 §6.3.2.2](#) lub [§6.3.2.3](#) może być bezpiecznie brana z Tablica 1.1.

Tablica 1.1 $\bar{\lambda}_{LT}$ przy różnych gatunkach stali

S 235	S 275	S 355	S420	S 460
$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{L/i_z}{104}$	$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{L/i_z}{96}$	$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{L/i_z}{85}$	$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{L/i_z}{78}$	$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{L/i_z}{75}$

Gdzie:

L to odległość między punktami bocznego podparcia półki ściskanej

i_z promień bezwładności względem osi z (osi słabszej).

Uwaga

Wzory w Tablica 1.1 otrzymano z równania (1) wstawiając $C_1 = 1,0$, $U = 0,9$, $V = 1,0$ i $\sqrt{\beta_w} = 1,0$.

Większe oszczędności można uzyskać przez zwiększanie złożoności obliczenia smukłości względnej. Dla belek projektowanych jako swobodnie poparte, korzyści mogą być małe, ale dla słupów z dużymi momentami, zysk może być znaczący.

Należy tak projektować konstrukcje, aby uniknąć działania sił destabilizujących. To może być osiągnięte wtedy gdy obciążenie i stopka belki nie mogą się przemieścić bocznie. Na przykład, tam gdzie płyta stropowa działa jako pozioma przepona przytrzymująca belkę, obciążenie “nie destabilizuje”.

Dla dalszej informacji, zobacz też:

Korzyści z bardziej złożonego (dokładnego) podejścia	Niejednorodny rozkład momentu zginającego powoduje redukcję wartości $\bar{\lambda}_{LT}$ nawet do 40% tam gdzie moment zginający zmienia znak. Geometria przekroju redukuje $\bar{\lambda}_{LT}$ do 15%. Niższe umowne granice plastyczności grubszych elementów zmniejszają $\bar{\lambda}_{LT}$ do 5%.
Uwzględnianie skutków działania obciążenia destabilizującego	Destabilizujące obciążenia występują rzadko, ale jeśli już występują, to zmniejszają opór na skręcanie. Destabilizujące obciążenia powinny być uwzględnione w projektowaniu.
Teoria	Pochodzenie powyższych uproszczonych równań

2. Korzyści z bardziej złożonego (dokładnego) podejścia

Mniej ostrożna wartość $\bar{\lambda}_{LT}$ może być otrzymana przez uwzględnienie wykresu momentu zginającego, geometrii przekroju i niższych umownych granic plastyczności.

To jest mało opłacalne dla belek swobodnie popartych, przez użycie $\frac{1}{\sqrt{C_1}}$, ale dla słupów z

wartościami ujemnymi współczynnika ψ (patrz tablica 2.1) i z dużymi momentami, zysk może być znaczący.

UWAGA: Dla belek w “prostych” konstrukcjach (projektowanych jako belki swobodnie podparte), patrz [EN1993-1-8 §5.1.1\(2\)](#).

Kiedy obciążenie nie działa destabilizująco, $\bar{\lambda}_{LT}$ liczy się ze wzoru (1)

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{1}{\sqrt{C_1}} UV \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \sqrt{\beta_w} = \frac{1}{\sqrt{C_1}} UV \bar{\lambda}_z \sqrt{\beta_w} \quad (1)$$

gdzie

C_1 jest współczynnikiem zależnym od kształtu wykresu momentu zginającego. Wartości wyrażenia $\frac{1}{\sqrt{C_1}}$ dla wybranych wykresów momentów zginających podano w i

Tablica 2.1 i Tablica 2.2. Wartości dla innych wykresów momentów zginających mogą być otrzymane z [\[SN003\]](#).

Ostrożnie, $C_1 = 1,0$ (ta wartość była używana w uproszczonej metodzie powyżej).

U jest współczynnikiem zależnym od geometrii przekroju i jest obliczany według

$$\text{wzoru: } U = \sqrt{\frac{W_{pl,y} g}{A}} \sqrt{\frac{I_z}{I_w}}$$

We wzorze tym g uwzględnia krzywiznę belki. Jeżeli belka ma zerowe ugięcie przed obciążeniem, to można przyjmować $g = \sqrt{\left(1 - \frac{I_z}{I_y}\right)}$, lub ostrożnie $g = 1,0$

Ostrożnie, $U = 0,9$ (ta wartość była używana w uproszczonej metodzie powyżej).

V jest parametrem związanym ze smukłością. Jeśli obciążenie nie działa destabilizująco to parametr V można przyjmować następująco:

również, ostrożnie = 1,0 dla wszystkich przekrojów symetrycznych względem osi mocniejszej,

albo, $V = \frac{1}{\sqrt[4]{1 + \frac{1}{20} \left(\frac{\lambda_z}{h/t_f} \right)^2}}$ dla dwuteowników walcowanych na gorąco

Dokładna definicja parametru V , jeśli obciążenie nie działa destabilizująco, jest następująca:

$$V = \frac{1}{\sqrt[4]{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 + \frac{(\lambda_z)^2}{\frac{\pi^2 E A I_w}{G I_t I_z}}}} \quad \text{jeśli } k = k_w, \text{ wtedy } V = \frac{1}{\sqrt[4]{1 + \frac{(\lambda_z)^2}{\frac{\pi^2 E A I_w}{G I_t I_z}}}}$$

$$\lambda_z = \frac{kL}{i_z}, \text{ w którym}$$

L to odległość między punktami bocznego podparcia półki ściskanej

k to efektywny parametr długości, który i powinien być wzięty jako 1,0 chyba że można dowieść, że jest inaczej

$$\beta_w = \frac{W_y}{W_{pl,y}}$$

W_y wskaźnik wytrzymałości do obliczania $M_{b,Rd}$

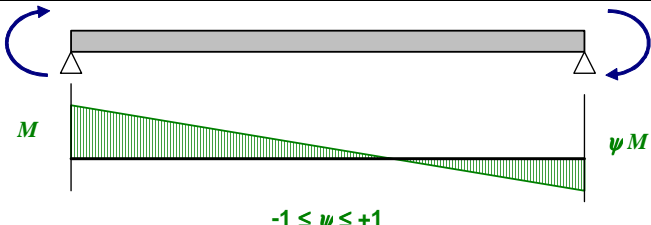
Dla klasy przekroju 1 i 2 $W_y = W_{pl,y}$

Dla klasy 3 przekroju $W_y = W_{el,y}$

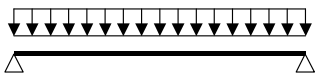
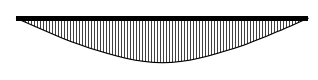
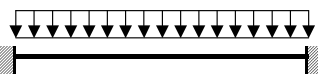
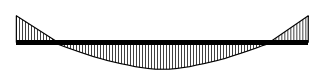
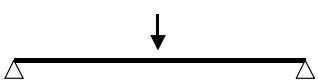
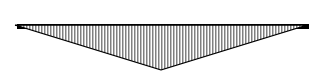
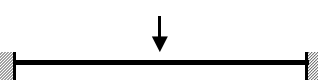
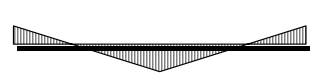
$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} \text{ w którym } f_y \text{ jest granicą plastyczności z uwzględnieniem grubości ścianek.}$$

Tablica 2.1 Wartości $\frac{1}{\sqrt{C_1}}$ przy obciążeniu momentami na końcach, przy użyciu $k=1,0$

ψ	$\frac{1}{\sqrt{C_1}}$
+1,00	1,00
+0,75	0,94
+0,50	0,87
+0,25	0,81
0,00	0,75
-0,25	0,70
-0,50	0,66
-0,75	0,62
-1,00	0,63



Tablica 2.2 Wartości $\frac{1}{\sqrt{C_1}}$ w przypadku obciążenia poprzecznego, przy użyciu $k=1,0$

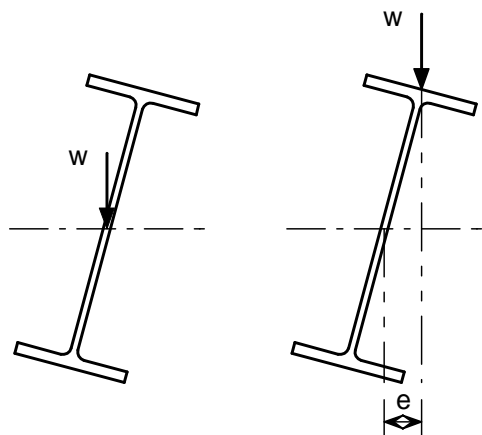
Obciążenie i warunki podparcia	Wykres momentu zginającego	$\frac{1}{\sqrt{C_1}}$
		0,94
		0,62
		0,86
		0,77

3. Uwzględnianie skutków działania obciążenia destabilizującego

Skutek obciążenia działającego destabilizująco może być uwzględniony w obliczeniach przez powiększanie wartości smukłości względnej.

3.1 Belki poddane obciążeniu destabilizującemu

Belka z obciążeniem działającym w pewnej odległości powyżej środka ścinania przekroju jest pokazana na Rys. 3.1b). Jeżeli zarówno obciążenie jak i belka mogą się bocznie przemieścić, to takie obciążenie jest określane jako działające destabilizująco. Skutek destabilizujący powstaje, ponieważ kiedy belka odchyła się w bok i skręca, linia działania obciążenia pozostaje pionową, ale przemieszcza się względem środka skręcania przekroju. Obciążenie



- a) Obciążenie przyłożone w środku ścinania b) Obciążenie przyłożone do górnej półki (obciążenie destabilizujące)

Rys. 3.1 Przykład obciążenia destabilizującego

wywołuje dodatkowy moment skręcający, powiększając skutek zwichrzenia.

3.2 Smukłość względna z obciążeniem destabilizującym

Kiedy obciążenie działa destabilizująco, $\bar{\lambda}_{LT}$ liczy się ze wzoru (2)

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{1}{\sqrt{C_1}} UVD \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \sqrt{\beta_w} = \frac{1}{\sqrt{C_1}} UVD \bar{\lambda}_z \sqrt{\beta_w} \quad (2)$$

gdzie

$$V = \frac{1}{\left[\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 + \frac{(\lambda_z)^2}{\frac{\pi^2 E A I_w}{G I_t I_z}} + (C_2 z_g)^2 \frac{I_z}{I_w} \right]^{0,25}}$$

Dla dwuteowników walcowanych na gorąca, V może być ostrożnie obliczane jako:

$$V = \frac{1}{\sqrt[4]{1 + \frac{1}{20} \left(\frac{\lambda_z}{h/t_f} \right)^2 + (C_2 z_g)^2 \frac{I_z}{I_w}}}$$

C_2 jest parametrem zależnym od kształtu wykresu momentu zginającego. Wartości C_2 są dane w [SN003](#).

z_g wysokość od środka ścinania przekroju do leżącego wyżej punktu przyłożenia obciążenia destabilizującego

$$D = \frac{1}{\left(1 - V^2 C_2 z_g \sqrt{\frac{I_z}{I_w}} \right)^{0,5}}$$

Załącznik A Podłoże teoretyczne

Teoretyczna zgodność między metodą uproszczoną a metodą zaawansowaną używającą M_{cr} dla obliczania wartości $\bar{\lambda}_{LT}$ z jest zademonstrowana poniżej.

Sprężysty moment krytyczny może być zapisany następująco:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL)^2 g} \left(\sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g)^2} - C_2 z_g \right)$$

gdzie g jest współczynnikiem uwzględniającym wzrost momentu krytycznego wraz ze

wzrostem krzywizny belki, który może być liczony jako $g = \sqrt{\left(1 - \frac{I_z}{I_y}\right)}$, lub ostrożnie $g = 1,0$

EN 1993-1-1 definiuje smukłość względną jako $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$

$$\begin{aligned} &= \sqrt{\frac{W_y f_y}{C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL)^2 g} \left(\sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g)^2} - C_2 z_g \right)}} \\ &= \sqrt{\frac{1}{C_1} \frac{W_y g (kL)^2}{A} \frac{1}{\left(\frac{I_z}{A}\right) \frac{\pi^2 E}{f_y}} \frac{1}{\left(\sqrt{\frac{I_w}{I_z} \left[\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 + \frac{(kL)^2}{\left(\frac{I_z}{A}\right) A \pi^2 E} \frac{I_z}{I_w} + (C_2 z_g)^2 \frac{I_z}{I_w} \right]} - C_2 z_g \right)}}} \\ &= \sqrt{\frac{1}{C_1} \frac{W_y g (kL)^2}{A} \frac{1}{(i_z)^2} \frac{1}{\frac{\pi^2 E}{f_y}} \frac{1}{\sqrt{\frac{I_w}{I_z}} \left(\sqrt{\left[\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 + \frac{(kL)^2}{(i_z)^2} \frac{G}{\pi^2 E} \frac{I_t I_z}{A I_w} + (C_2 z_g)^2 \frac{I_z}{I_w} \right]} - C_2 z_g \sqrt{\frac{I_z}{I_w}} \right)}}} \end{aligned}$$

definiując $\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ i $\lambda_z = \frac{kL}{i_z}$

$$= \sqrt{\frac{1}{C_1} \frac{W_y g}{A} \sqrt{\frac{I_z}{I_w}} (\lambda_z)^2 \frac{1}{(\lambda_1)^2} \frac{1}{\left(\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 + \frac{(\lambda_z)^2}{\frac{\pi^2 E A I_w}{G I_t I_z}} + (C_{2z_g})^2 \frac{I_z}{I_w} - C_{2z_g} \sqrt{\frac{I_z}{I_w}}}\right)}}$$

definiując $V = \sqrt{\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 + \frac{(\lambda_z)^2}{\frac{\pi^2 E A I_w}{G I_t I_z}} + (C_{2z_g})^2 \frac{I_z}{I_w}}}}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1}{C_1} \frac{W_y}{W_{pl,y}} \frac{W_{pl,y} g}{A} \sqrt{\frac{I_z}{I_w}} \frac{(\lambda_z)^2}{(\lambda_1)^2} \frac{1}{\left(\frac{1}{V^2} - C_{2z_g} \sqrt{\frac{I_z}{I_w}}\right)}}$$

definiując $\beta_w = \frac{W_y}{W_{pl,y}}$ and $U = \sqrt{\frac{W_{pl,y} g}{A} \sqrt{\frac{I_z}{I_w}}}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1}{C_1} \beta_w U^2 \frac{(\lambda_z)^2}{(\lambda_1)^2} \frac{V^2}{\left(1 - V^2 C_{2z_g} \sqrt{\frac{I_z}{I_w}}\right)}}$$

definiując $D = \sqrt{\frac{1}{\left(1 - V^2 C_{2z_g} \sqrt{\frac{I_z}{I_w}}\right)}}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1}{C_1} \beta_w U^2 \frac{(\lambda_z)^2}{(\lambda_1)^2} V^2 D^2}$$

$$\therefore \bar{\lambda}_{LT} = \frac{1}{\sqrt{C_1}} U V D \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \sqrt{\beta_w}$$

V może być uproszczona następująco. Jeżeli $k = k_w$ i obciążenie jest przyłożone w środku ścinania przekroju, V redukuje się do

$$V = \frac{1}{\sqrt{\sqrt{1 + \frac{(\lambda_z)^2}{\frac{\pi^2 E A I_w}{G I_t I_z}}}}} = \frac{1}{\sqrt[4]{1 + \frac{(\lambda_z)^2}{\frac{\pi^2 E A I_w}{G I_t I_z}}}}$$

Dla walcowanych na gorąco dwuteowników wąskostopowych, $\frac{\pi^2 E A I_w}{G I_t I_z} \approx 20 \left(\frac{h}{t_f} \right)^2$

Dlatego, dla walcowanych na gorąco dwuteowników wąskostopowych, gdy obciążenie nie działa destabilizująco, V może być brane jako:

$$V = \frac{1}{\sqrt[4]{1 + \frac{1}{20} \left(\frac{\lambda_z}{h/t_f} \right)^2}}$$

Protokół jakości

TYTUŁ ZASOBU	Informacje uzupełniające: Określanie smukłości względnej dwuteowników walcowanych na gorąco		
Odniesienie			
DOKUMENT ORYGINALNY			
	Imię i nazwisko	Instytucja	Data
Stworzony przez	James Lim	The Steel Construction Institute	
Zawartość techniczna sprawdzona przez	Charles King	The Steel Construction Institute	
Zawartość redakcyjna sprawdzona przez	D C Iles	SCI	2/3/05
Zawartość techniczna zaaprobowana przez:			
1. WIELKA BRYTANIA	G W Owens	SCI	1/3/05
2. Francja	A Bureau	CTICM	1/3/05
3. Szwecja	A Olsson	SBI	1/3/05
4. Niemcy	C Mueller	RWTH	1/3/05
5. Hiszpania	J Chica	Labein	1/3/05
Zasób zatwierdzony przez Koordynatora Technicznego	G W Owens	SCI	21/04/06
TŁUMACZENIE DOKUMENTU			
Tłumaczenie wykonał i sprawdził:	Z. Kielbasa, PRz		
Tłumaczenie zatwierdzone przez:			

Informacje ramowe

Tytuł*	Informacje uzupełniające: Określanie smukłości względnej dwuteowników walcowanych na gorąco	
Seria		
Opis*	Przedstawiono metodę określania smukłości względnej przy zwichrzeniu bez obliczania momentu krytycznego M_{cr} . W podstawowej metodzie można brać pod uwagę geometrię przekroju i rozkład momentów zginających na długości elementu.	
Poziom dostępu*	Umiejętności specjalistyczne	
Identyfikator*	Nazwa pliku	D:\ZBIGNIEW KIEŁBASA\TŁUMACZENIE ACCES STEEL\CZĘŚĆ 1\002\SN002a-PL-EU.doc
Format		Microsoft Word 9.0; 12 Pages; 482kb;
Kategoria*	Typ zasobu	Informacje uzupełniające
	Punkt widzenia	
Temat*	Obszar stosowania	Budynki wielokondygnacyjne
Daty	Data utworzenia	22/02/2005
	Data ostatniej modyfikacji	
	Data sprawdzenia	
	Ważny od	
	Ważny do	
Język(i)*		
Kontakt	Autor	James Lim, The Steel Construction Institute
	Sprawdził	Charles King, The Steel Construction Institute
	Zatwierdził	
	Redaktor	
	Ostatnia modyfikacja	
Słowa kluczowe*	Długość efektywna, Zwichrzenie, Smukłość	
Zobacz też	Odniesienie do Eurokodu	
	Przykład(y) obliczeniowy	
	Komentarz	
	Dyskusja	
	Inne	SN003
Sprawozdanie	Przydatność krajowa	
Instrukcje szczególne		