

Moment krytyczny zwichrzenia belek z blachą głowicową Lateral–torsional buckling resistance of coped beams

Grzegorz Kołodziej, Roman Bijak

Katedra Mechaniki, Konstrukcji Metalowych i Metod Komputerowych,
Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Świętokrzyska
Al. 100-lecia PP 7, 25-323 Kielce

e-mail: Grzegorz.Kołodziej@kyotecgrup.pl

Streszczenie

W pracy omówiono wpływ szczegółów połączenia na blachę głowicową, przyjmowaną w obliczeniach jako podparcie widełkowe, na nośność krytyczną zwichrzenia. W celu zbadania wpływu połączenia wykorzystano program Straus7. Wymiary geometryczne belki oraz połączenia odwzorowano za pomocą objętościowych elementów skończonych: Hexa8 i Wedge6. W pracach Maljaars i inni [4,5] stosowano elementy powłokowe, co prowadzi do problemów na styku środka i półki. W przypadku obliczeń za pomocą elementów objętościowych te trudności nie występują.

Abstract

In this paper discussed is the influence of coupling of an I-beam on the lateral-torsion buckling. Straus7 software was used. Geometry of the beam and joint connections were mapped with volumetric finite elements: Hexa8 and Wedge6. In work of Maljaars et al. [4,5] the shell elements were used. That leads to problems in the middle of the web and flange of an I-beam. These problems disappear when using volumetric finite elements.

Słowa kluczowe: moment krytyczny zwichrzenia, połączenie n na blachę głowicową, objętościowe elementy skończone
Keywords: lateral-torsional buckling moment, coupling of coped beams, volumetric finite elements

1. Wprowadzenie

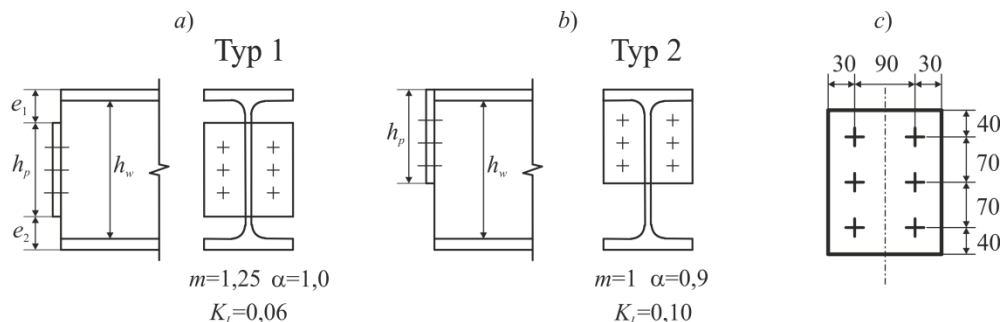
W przypadku wyznaczania momentu krytycznego zwichrzenia, połączenie na blachę głowicową traktujemy jako podparcie widełkowe. Na rysunku 1 przedstawiono geometrię połączenia ryglu ze słupem [1,2]. Wymiary połączenia przyjęto wg katalogu brytyjskiego [1]. Blacha głowicowa powinna mieć wysokość równą co najmniej $0.6h_b$ (h_b – wysokość profilu belki).

Do analizy numerycznej użyto dwóch programów MES. Za pomocą programu LTBeam (element prętowy), wyznaczono moment krytyczny zwichrzenia przyjmując widełkowe warunki brzegowe podparcia. Otrzymane wyniki porównano z rozwiązaniami MES (Straus7) z wykorzystaniem elementu objętościowego. Błąd w aproksymacji współczynnika redukcyjnego r_n (wz.2,4) odnoszono do wyników otrzymanych za pomocą elementów objętościowych (Tabela 1,2)

1. Introduction

When determining the lateral-torsional buckling moment, the coupling with header plates is regarded as the fork supported of an I-beam. Geometry of connection of beam and column is presented in Fig. 1 [1,2]. The dimensioning is after British catalogue [1]. The depth of coped beam should be at least $0.6h_b$ (h_b – depth of the beam section).

In numerical analysis two MES software were used. With LTBeam (wire element) software the critical lateral buckling moment was determined for assumed fork support of an I-beam. The results were compared against MES (Straus7) solutions with volumetric finite element methods. Approximation error in reduction coefficient r_n (eqn.2,4) is referred to results obtained with volumetric finite element methods (Table 1, 2)



Rys. 1. Analizowane połączenie
Fig. 1. Joints under investigation

Moment krytyczny zwichrzenia rygla z blachą głowicowej szacujemy za pomocą wzoru (1) [2÷4]:

$$M_{cr,red} = r_n M_{cr} \tag{1}$$

gdzie: M_{cr} jest momentem krytycznym zwichrzenia dla teoretycznego podparcia widelkowego, otrzymanym na podstawie teorii prętów cienkościennych Własowa.

W dalszych analizach będziemy rozpatrywać belki z obciążeniem rozłożonym przyłożonym do górnej półki.

Wg Lindnera [2,3] współczynnik redukcyjny r_n obliczamy na podstawie formuły aproksymacyjnej (2)

$$r_n = \frac{1 - k_p}{\alpha - 1/3} \cdot \left(\frac{h_p}{h_w} - \frac{1}{3} \right) + k_p \tag{2}$$

gdzie:

where:

$$k_p = 1 - mK, K = \sqrt{\frac{EI_w}{GI_T L^2}}, \tag{3ab}$$

Przyjęto następujące oznaczenia: E – moduł sprężystości, G – moduł sprężystości ścinania, I_T – moment bezwładności skręcania St. Venanta, I_w – wycinkowy moment bezwładności, L – długość belki. Pozostałe oznaczenia geometrii złącza przyjmujemy wg Rys.1. Współczynnik K musi spełniać zależność: $K_1 \leq K \leq 0,5$.

Na podstawie badań numerycznych Maljaars i inni [4,5] opracowali następujący wzór:

$$r_n = 1 - A_1 \frac{e_1}{h} \left(\frac{h}{L} \right)^{A_2} - A_3 \frac{e_2}{h} \left(\frac{h}{L} \right)^{A_4} \tag{4}$$

gdzie: $A_1=22,7; A_2=1,44; A_3=0,875; A_4=0,450$.

Lateral-torsional buckling resistance of coped beams is estimated with equation (1) [2÷4]:

where: M_{cr} is the critical lateral buckling moment for the the fork supported beam. It is derived from Wlasow's theory of thin-walled rods.

We'll consider further beams under load applied to upper beam flange.

Reduction coefficient r_n is calculated with approximation formula (2), after Lindner [2, 3]

The following notation was adopted: E – elasticity modulus, G – shear elasticity modulus, I_T – St. Venant torsion constant, I_w – warping constant, L – beam's length. The remaining notation is presented in Fig. 1. K -coefficient must fulfil the condition: $K_1 \leq K \leq 0,5$.

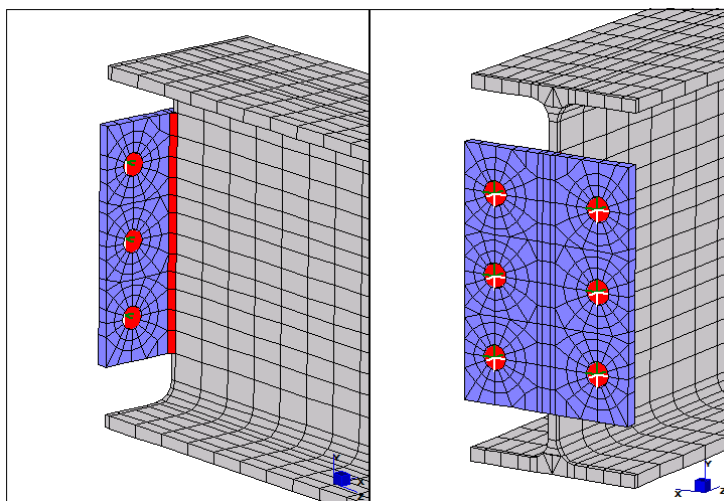
Maljaars et al [4, 5] give the following equation, based on results of their numerical investigations:

2. Przykład liczbowy

Analizowano belki wykonane z profilu IPE330, o długościach w zakresie 4.00-8.00m. Obliczenia MES wykonano za pomocą programu Straus7, wykorzystując elementy przestrzenne: Hexa8 i Wedge6.

2. Numerical example

The IPE330 beams of 4.00-8.00 m length were investigated. Straus7 software and volumetric elements: Hexa8 and Wedge6 were used for MES computations.



Rys. 2. Połączenie na kątowniki a) b) śruby łączące kątownik z elementem podpierający belkę, c) d) e) śruby łączące kątownik
 Fig. 2. Joints with angle cleats: a) b) bolts connecting [joining] the angle cleat to element supporting the I-beam; c) d) e) bolts

Ze względu na symetrię zagadnienia obliczenia dotyczyły połowy belki.

W modelu oznaczonym jako **A2**, blacha czołowa jest bez otworów. Zamodelowano dwustronną spoinę pachwinową o grubości 4mm. W osiach śrub (w zewnętrznej płaszczyźnie blachy) zablokowano przemieszczenie X, Y.

W modelu oznaczonym jako **C2**, blacha czołowa jest zamodelowana z otworami i spoinami pachwinowymi. Zablokowano przemieszczenia X, Y z zasymulowanymi śrubami M20.

Wyniki przedstawione poniżej pokazują lepszą zgodność aproksymacji Lindnera [2,3], z wynikami numerycznymi otrzymanymi za pomocą elementu objętościowego.

Because of the symmetry, computations were done for half of the length of the beam.

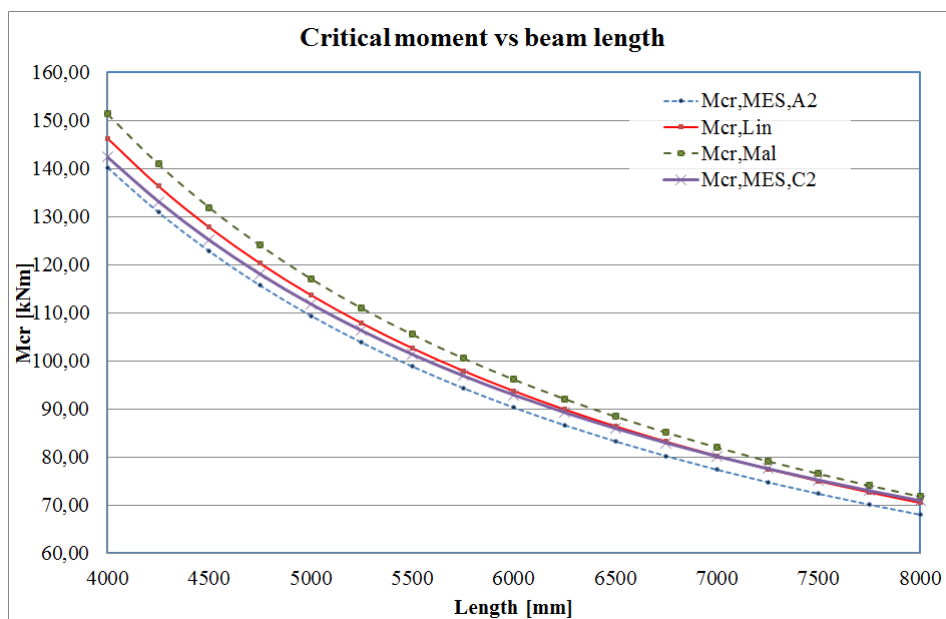
In model denoted as **A2** the front sheet is w/o the holes. Modelled was two-sided fillet weld being 4 mm thick. In axes of bolts (i.e. in outer plane of the sheet) the displacements X, Y were blocked.

In model denoted as **C2**, the front sheet is modeled with holes and fillet weld. The X, Y displacements with simulated M20 bolts were blocked.

The results presented below show better agreement of Lindner's approximation [2, 3] and numerical simulation with volumetric finite elements.

Tabela 1. Zależność pomiędzy długością belki a momentem krytycznym zwichrzenia dla różnych modeli obliczeniowych (TYP 1)
Table 1. Relation between the length of the beam and critical lateral buckling moment for diverse computation models (TYPE 1)

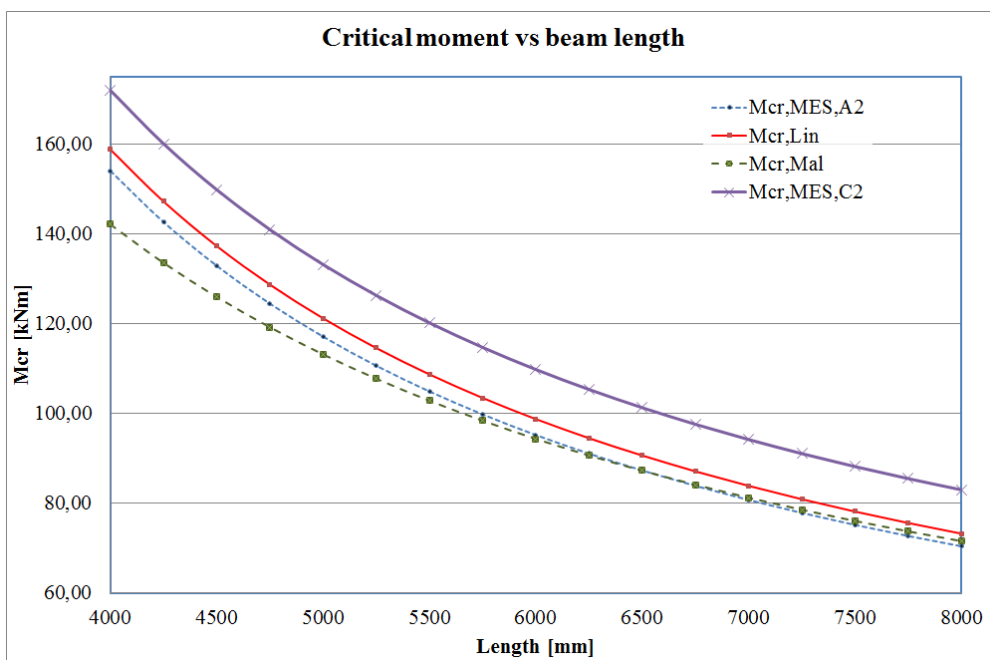
	LTBeam		Straus7		r_n	Lindner [2]		r_n	Maljaars [3,4]	
	L	M_{cr}	M_{cr} (A2)	M_{cr} (C2)		Błąd (A2)	Błąd (C2)		Błąd (A2)	Błąd (C2)
1	4000	178,36	140,19	142,37	0,820	4,34%	2,74%	0,848	7,94%	6,28%
2	5000	132,85	109,44	111,87	0,856	3,92%	1,66%	0,882	7,02%	4,70%
3	6000	106,55	90,33	92,95	0,880	3,80%	0,87%	0,902	6,44%	3,44%
4	7000	89,49	77,42	80,20	0,897	3,71%	0,11%	0,917	5,95%	2,28%
5	8000	77,50	68,06	70,99	0,910	3,61%	-0,66%	0,927	5,53%	1,18%



Rys. 3. Zależność pomiędzy długością belki a momentem krytycznym zwichrzenia dla różnych modeli obliczeniowych (TYP 1)
Fig. 3. Relation between the length of the beam and critical lateral buckling moment for diverse computation models (TYPE 1)

Tabela 2. Zależność pomiędzy długością belki a momentem krytycznym zwichtwienia dla różnych modeli obliczeniowych (TYP 2)
 Table 2. Relation between the length of the beam and critical lateral buckling moment for diverse computation models (TYPE 2)

	LTBeam		Straus7		Lindner [2]			Maljaars [3,4]		
	L	M_{cr}	M_{cr} (A2)	M_{cr} (C2)	r_n	Błąd (A2)	Błąd (C2)	r_n	Błąd (A2)	Błąd (C2)
1	4000	178,36	154,05	172,00	0,890	3,89%	-7,66%	0,797	-7,02%	-17,36%
2	5000	132,85	117,12	133,19	0,912	4,12%	-9,00%	0,852	-2,77%	-15,03%
3	6000	106,55	95,21	109,81	0,927	4,26%	-10,06%	0,886	-0,40%	-14,08%
4	7000	89,49	80,74	94,20	0,937	4,35%	-10,95%	0,908	1,06%	-13,76%
5	8000	77,50	70,42	83,00	0,945	4,42%	-11,75%	0,924	2,03%	-13,76%



Rys. 4. Zależność pomiędzy długością belki a momentem krytycznym zwichtwienia dla różnych modeli obliczeniowych (TYP 2)
 Fig. 4. Relation between the length of the beam and critical lateral buckling moment for diverse computation models (TYPE 2)

Literatura •References

[1] Joints in Steel Construction – Simple Joints to Eurocode 3 P358, (2013),The Steel Construction Institute and The British Constructional Association Ltd., 2013.
 [2] Stahlbau-Kalender 2009. Herausgegeben von Kuhlman U. Ernst & Sohn, Berlin 2009.
 [3] Lindner J. Influence of constructional details on the load carrying capacity of beams. En-gineering Structures 1996;18(10):752–8.
 [4] Maljaars J., Stark. J.W.B, Steenbergen H.M.G.M, Abspoel R.: Lateral-torsional buckling resistance of coped beams, Journal of Constructional Steel Research 61(2005) 1559-1575.
 [5] Maljaars J., Stark. J.W.B, Steenbergen H.M.G.M, Abspoel R.: Development and validation of a numerical model for buckling of coped beams, Journal of Constructional Steel Research 61(2005) 1576-1593.