

dr hab. inż. Robert Studziński¹⁾
ORCID: 0000-0002-0906-8701
mgr inż. Paweł Ordziniak^{2)*}

Współczynnik równoważnego stałego momentu C_{my} – wymiarowanie rygla ramy portalowej

Equivalent uniform moment factor C_{my} – design of portal frame rafter

DOI: 10.15199/33.2022.09.05

Streszczenie. W artykule przedstawiono rozważania dotyczące sposobu definiowania współczynnika równoważnego stałego momentu C_{my} , który bezpośrednio wpływa na wartość współczynnika interakcji k_{yy} . Przeprowadzone analizy wykazały istotną wrażliwość parametru C_{my} na rozkład momentów zginających. Zwrócono uwagę na niejednoznaczność normową przy określaniu C_{my} . Rozważania bazują na liniowych analizach statycznych i wyboczeniowych przeprowadzonych w programie AxisVM dwuspadowej ramy portalowej obciążonej niesymetrycznie w przypadku różnych kątów nachylenia rygla.
Słowa kluczowe: konstrukcje stalowe; rama portalowa; pręt załamany; elementy wydzielone; współczynnik równoważnego stałego momentu; Eurokod 3.

Abstract. The article presents considerations on the method of defining the equivalent uniform moment factor C_{my} , which has a direct influence on the interaction parameter k_{yy} . The analysis reveals that the bending moments has significant influence on the factor C_{my} . Additionally, the standard non-consistency was pointed out in determining the C_{my} . The considerations are based on linear static and buckling analyzes carried out in AxisVM software of a duo-pitch portal frame asymmetrically loaded for different rafter inclination angles.

Keywords: steel structures; portal frame; non-straight bar; selected elements; uniform moment; Eurocode 3.

Wprowadzenie Eurokodów ustandaryzowało projektowanie konstrukcji budowlanych, narzucając określony punkt widzenia na ich **bezpieczeństwo, użyteczność i trwałość**. Kryteria te zostały opisane w **Eurokodzie 0** [1] i definiują niezawodność konstrukcji. Zgodnie z zapisami przywołanej normy przez **bezpieczeństwo** rozumiemy sytuację, w której w trakcie zakładanego okresu użytkowania konstrukcja jest zdolna przenieść zadane obciążenia z określonym poziomem niezawodności w ekonomiczny sposób. Dotyczy to bezpieczeństwa ludzi, konstrukcji i jej wyposażenia. **Trwałość** oznacza, że konstrukcja nie ulega zniszczeniu w przypadku wystąpienia niezamierzonej eksplozji, uderzenia lub innych ludzkich błędów w stopniu nieproporcjonalnym do pierwotnej przyczyny. Natomiast **użyteczność** oznacza, że projektowany obiekt w trakcie zakładanego okresu użytkowania pozostaje funkcjonalny, komfortowy i o estetycznym wyglądzie. Kryteria wymienione w Eurokodzie bazują na weryfikacji stanów granicznych, określających warunki, po przekroczeniu których konstrukcja nie spełnia określonych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i trwałości (stan graniczny nośności SGN) oraz użyteczności (stan graniczny użyteczności SGU).

Zasady projektowania konstrukcji stalowych zostały zawarte w **Eurokodzie 3**, który jest zbiorem norm bezpośrednio powiązanych z **Eurokodem 0** (definicja relacji obciążeń w ramach SGN i SGU), **Eurokodem 1** (definicja obciążeń) i **Eurokodem 7** (definicja interakcji z podłożem gruntowym). Warto zwrócić uwagę, że umiejętne korzystanie z wymienionych norm przekłada się na racjonalne zużycie materiałów, które wpisuje się we współczesne wymagania budownictwa zrów-

noważonego [2], którego rola w odniesieniu do konstrukcji stalowych została opisana m.in. w [3 i 4]. Zgodnie z PN-EN 1993-1-1 [5], prętowe konstrukcje stalowe mogą być projektowane metodą ogólną (p. 6.3.4 [5]) lub metodą elementów wydzielonych (p. 6.3 [5]). Ze względu na ograniczenie metody ogólnej w artykule przedstawimy wybrany aspekt projektowania elementów zginanych ze ściskaniem metodą elementów wydzielonych.

Sformułowanie problemu

Rozważania zostaną zawężone do sposobu wyznaczania nośności rygla ramy portalowej o zmiennym kącie nachylenia. Analizowany element, co do zasady, podlega jednoczesnemu ściskaniu z jednokierunkowym zginaniem.

W sytuacji jednoczesnego ściskania ze zginaniem korzysta się ze wzorów z normy [5], w których pojawiają się współczynniki interakcji k_{ij} przy członach z momentami. Ich ogólna postać przewiduje dwukierunkowe zginanie ze ściskaniem, przy czym odnoszą się do weryfikacji nośności elementu odpowiednio w *plaszczyźnie* (płaszczyzna xz w układzie lokalnym pręta) i z *plaszczyzny* (płaszczyzna xy w układzie lokalnym pręta). Przyjmując przypadek jednokierunkowego zginania ze ściskaniem, wzory 6.61 i 6.62 z normy [5] upraszczają się do postaci (1) i (2):

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} \leq 1 \quad (1)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} \leq 1 \quad (2)$$

gdzie: N_{Ed} i $M_{y,Ed}$ – obliczeniowe wartości siły ściskającej i maksymalnego momentu zginającego względem lokalnej osi y ; $\Delta M_{y,Ed}$ – moment spowodowany przesunięciem środka ciężkości przekroju o klasie 4; χ_y i χ_z – współczynniki wyboczenia giętnego; χ_{LT} – współczynnik zwirzchnienia; k_{yy} i k_{zy} – współczynniki interakcji.

¹⁾ Politechnika Poznańska; Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu

²⁾ GammaCAD Sp. z o.o.

* Adres do korespondencji: pawel.ordziniak@gammacad.pl

Zasady wyznaczania współczynnika interakcji

Współczynniki interakcji k_{yy} i k_{zy} mogą być wyznaczane zgodnie z Załącznikiem A lub Załącznika B normy [5]. Postanowienia krajowe zalecają, aby współczynniki interakcji były obliczane Metodą 2, tj. opisaną w Załączniku B. Współczynniki możemy wyznaczać zgodnie z Tablicą B.1 [5] (w przypadku elementów niewrażliwych na deformacje skrętne) lub Tablicą B.2 [5] (w przypadku elementów wrażliwych na deformacje skrętne). W artykule przyjęto, że możliwość wystąpienia zwichrzenia (brak zabezpieczenia przed zwichrzeniem powoduje sytuację, w której $\chi_{LT} < 1,0$) kwalifikuje analizowane elementy jako wrażliwe na deformacje skrętne. Współczynniki k_{yy} i k_{zy} zależą więc od wielkości współczynnika równoważnego stałego momentu, odpowiednio C_{my} i C_{mLT} . Warto zaznaczyć, że zależność współczynnika interakcji od współczynnika C_{my} **jest wprost proporcjonalna, podczas gdy zależność od C_{mLT} nie** – wzory (3) i (4) [5] w przypadku przekrojów klasy 1 i 2:

$$k_{yy} = \min \left[C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right), C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \right] \quad (3)$$

$$k_{zy} = \min \left[\left(1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right), \left(1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \right] \quad (4)$$

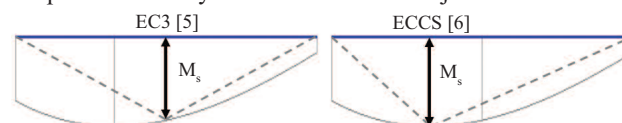
gdzie: $\bar{\lambda}_y$ i $\bar{\lambda}_z$ – względna smukłość giętna pręta wokół lokalnej osi y i z.

Współczynniki równoważnego stałego momentu ustala się odpowiednio do rozkładu momentów między punktami podparcia w przypadku: C_{my} – zginanie wokół osi y, kierunek podparcia po osi z; C_{mLT} – zginanie wokół osi y, kierunek podparcia po osi y.

Zasady określenia współczynnika C_{mLT} nie budzą wątpliwości, gdyż odnoszą się do przebiegu momentu M_y między podparciami bocznymi belki (po kierunku y, tj. z płaszczyzny zginania), które są niezależne od kąta nachylenia ryglu i jego załamania w kalenicy. Przy ustalaniu **współczynnika C_{my}** przebieg zmienności momentu M_y określa się między podparciami pionowymi (po kierunku z) [5, 6, 7]. W przypadku ramy portalowej o zerowym kącie nachylenia ryglu sprawa jest oczywista, gdyż przebieg zmienności M_y dotyczy odcinka między słupami. **Powstaje jednak pytanie, jak traktować rygiel dwuspadowej ramy portalowej o kącie nachylenia ryglu większym od zera**, mając na uwadze to, że procedury wymiarowania elementów wydzielonych w EC3 odnoszą się do elementów prostych, a nie załamanych. W przypadku ryglu załamane w kalenicy zmiana rozkładu momentu M_y jest w pewnym sensie analogiczna do sytuacji wprowadzenia w kalenicy ramy płaskiej podpory o skończonej sztywności. **Postawić można więc pytanie, czy do określania C_{my} załamanie ryglu w kalenicy, skutkujące zmianą rozkładu momentu zginającego M_y , można traktować jako podparcie pionowe. Jeżeli tak, to od jakiego kąta nachylenia ryglu takie założenie będzie słuszne?** Odpowiedzi na te pytania zostaną przedstawione w artykule.

Procedura określenia C_{my} znajduje się w Tablicy B.3 normy [5]. Należy zwrócić uwagę, że zawarte w niej informacje bazują w części na graficznej interpretacji przebiegu momentów zginających. **Zwracamy uwagę, że grafika przedstawiająca moment przęsłowy M_s jest niejednoznaczna.** Analizując graficzne przedstawienie M_s , można dojść do wniosku, że od-

nosi się on do momentu przęsłowego w środku rozpiętości analizowanego elementu. **Taka sytuacja wydaje się niepoprawna w kontekście dokumentacji źródłowej [6] będącej podstawą przywołanego opracowania normowego.** W dokumencie tym moment M_s jest jednoznacznie wskazany jako maksymalny moment przęsłowy. Sytuacja ta została graficznie przedstawiona na rysunku 1. Przyjęcie M_s jako maksymalnego momentu przęsłowego jest właściwe z punktu widzenia bezpieczeństwa wymiarowania konstrukcji.



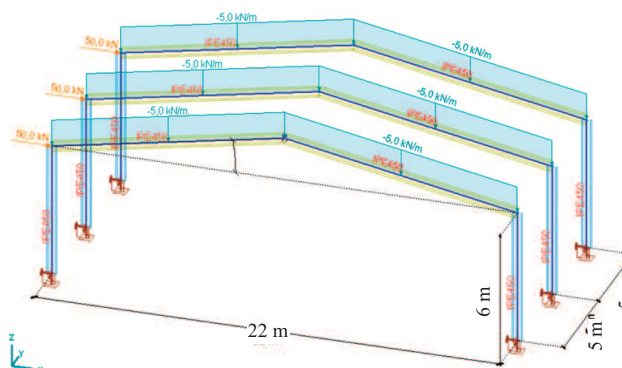
Rys. 1. Graficzna wizualizacja momentu M_s z Tablicy B.3 Eurokodu 3 [5] i dokumentu źródłowego ECCS [6]

Fig. 1. Graphical visualization of the M_s moment according to Table B3 of Eurocode 3 [5] and the source ECCS document [6]

Studium przypadku

Rozpatrzmy jednonawową ramę portalową zaprojektowaną z elementów gorącowałowanych. Przyjęto, że rama o rozpiętości $L = 22$ m i wysokości słupa $H = 6$ m będzie sztywno zamocowana w fundamencie. Zaproponowano hipotetyczny przypadek obciążenia niesymetrycznego. Założone obciążenie poziome (większe niż w typowych ramach portalowych bez transportu podpartego) zostało zadane, aby uzasadnione było użycie formuły interakcyjnej nośności pręta. W tym przypadku udział ściskania wynosi 5% całkowitej nośności ryglu. Jednakowy przekrój słupa i ryglu (IPE 450) został dobrany w taki sposób, aby poziom jego wykorzystania w przypadku referencyjnej ramy o kącie nachylenia ryglu 0° był zbliżony (0,77 – rygiel, 0,74 – słupek). Nie jest to typowa sytuacja projektowa, ale ze względu na przyjęte warunki zadania (niewysoki słupek, duża siła pozioma) pozwala uwypuklić sformułowany problem projektowy. Wymiarując rygiel przyjęto, że jego górna półka jest stężona z płaszczyzny co 2 m oraz że słupek nie ma dodatkowych podparć pośrednich. Rama będzie analizowana jako układ płaski. Elementem zmiennym będzie kąt nachylenia ryglu α zawierający się w zbiorze $\alpha \in \{0^\circ, 2,5^\circ, 5^\circ, 7,5^\circ, 10^\circ\}$. Na rysunku 2 przedstawiono geometrię ramy, przyjęte przekroje oraz jej obciążenie. W przypadku zadane obciążenia i przyjętych wymiarów przeprowadzono liniową analizę statyczną w programie AxisVM.

Wartość C_{my} wyznaczono w dwóch przypadkach. Pierwszy zakłada, że podporami ryglu po kierunku z są słupki, a drugi,



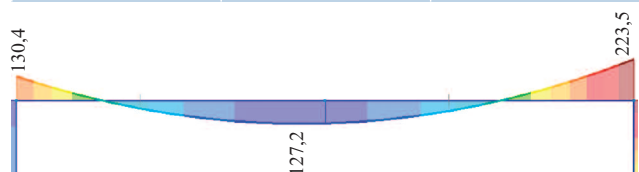
Rys. 2. Analizowana rama portalowa

Fig. 2. The analyzed portal frame

że załamanie ryglu w kalenicy stanowi podparcie ryglu po kierunku z. W przypadku kąta nachylenia ryglu $\alpha = 0,0^\circ$ wyznaczenie współczynnika C_{my} jest jednoznaczne. Rygiel rozpatrujemy jako pojedynczy element, stąd przebieg momentów M_y powinien być analizowany wzdłuż całej długości ryglu (między słupami). Wykres momentów M_y oraz procedurę wyznaczania C_{my} przedstawiono w tabeli 1. W przypadku kąta nachylenia $\alpha > 0,0^\circ$ rygiel jest elementem załamanym, dlatego zgodnie z EC3 każda z jego „połówek” powinna być wymiarowana oddzielnie. W takim przypadku, określając parametr C_{my} , należy rozstrzygnąć kwestię, jak traktować załamanie ryglu w kalenicy.

Tabela 1. Procedura wyznaczania C_{my} , rygiel o nachyleniu $\alpha = 0,0^\circ$
 Table 1. Procedure for determining C_{my} , rafters' slope $\alpha = 0,0^\circ$

Cały rygiel	Lewa część ryglu	Prawa część ryglu
$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-127,2kNm}{223,5kNm} = -0,569$	$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-127,3kNm}{130,4kNm} = -0,976$	$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-125,6kNm}{223,5kNm} = -0,562$
$\psi = \frac{130,4kNm}{223,5kNm} = 0,583$	$\psi = \frac{-125,6kNm}{130,4kNm} = -0,963$	$\psi = \frac{-125,6kNm}{223,5kNm} = -0,562$
$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,555$	$C_{my} = 0,1 \cdot (1 - \psi) - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,977$	$C_{my} = 0,1 \cdot (1 - \psi) - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,606$



Na podstawie wyników analizy wyboczeniowej uważamy, że jako kryterium decydujące o przyjęciu podpory pionowej „z” w kalenicy można uznać „przełamanie” pierwszej postaci wyboczenia ryglu ramy. Przeprowadzone liniowe analizy wyboczeniowe wskazują, że w **rozpatrywanym układzie** (przyjęte przekroje, warunki zamocowania, obciążenia, długość elementów) w przypadku kąta nachylenia ryglu mniejszego, równego i większego od 5° pierwsza postać wyboczeniowa jest odpowiednio symetryczna i niesymetryczna („przełamana” w kalenicy). Szczegółowe wyniki analizy wyboczeniowej przedstawiono w tabeli 2. W celu uzyskania

Tabela 2. Wyniki liniowej analizy wyboczeniowej
 Table 2. Results of linear buckling analysis

Widok połowy ramy portalowej	Typ pierwszej postaci	Wizualizacja pierwszej postaci wyboczenia	α_{cr}
	symetryczna		64,6
	symetryczna		70,4
	symetryczna (nie-wielkie przełamanie w środku ryglu)		77,1
	niesymetryczna		83,8
	niesymetryczna		83,9

gładkich kształtów postaci wyboczenia giętnego została nałożona na wszystkie elementy siatka liniowa o wielkości liniowego elementu skończonego 0,5 m. Wyniki obliczenia współczynnika C_{my} przy różnych kątach nachylenia zestawiono w tabelach 3 ÷ 6 oraz na rysunku 3.

Tabela 3. Procedura wyznaczania C_{my} , rygiel o nachyleniu $\alpha = 2,5^\circ$
 Table 3. Procedure for determining C_{my} , rafters' slope $\alpha = 2,5^\circ$

Cały rygiel	Lewa część ryglu	Prawa część ryglu
$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-108,7kNm}{212,6kNm} = -0,511$	$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-108,7kNm}{119,5kNm} = -0,910$	$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-103,8kNm}{212,6kNm} = -0,488$
$\psi = \frac{119,5kNm}{212,6kNm} = 0,562$	$\psi = \frac{-103,8kNm}{119,5kNm} = -0,869$	$\psi = \frac{-103,8kNm}{212,6kNm} = -0,488$
$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,544$	$C_{my} = 0,1 \cdot (1 - \psi) - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,915$	$C_{my} = 0,1 \cdot (1 - \psi) - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,539$

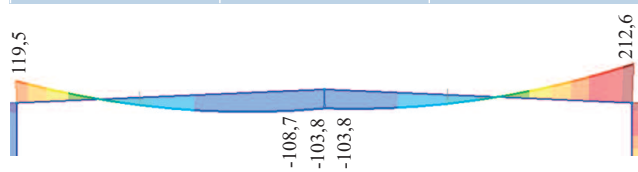


Tabela 4. Procedura wyznaczania C_{my} , rygiel o nachyleniu $\alpha = 5,0^\circ$
 Table 4. Procedure for determining C_{my} , rafters' slope $\alpha = 5,0^\circ$

Cały rygiel	Lewa część ryglu	Prawa część ryglu
$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-93,9kNm}{201,4kNm} = -0,466$	$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-93,9kNm}{108,5kNm} = -0,865$	$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-83,8kNm}{201,4kNm} = -0,416$
$\psi = \frac{108,5kNm}{201,4kNm} = 0,539$	$\psi = \frac{-83,8kNm}{108,5kNm} = -0,772$	$\psi = \frac{-83,8kNm}{201,4kNm} = -0,416$
$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,473$	$C_{my} = 0,1 \cdot (1 - \psi) - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,869$	$C_{my} = 0,1 \cdot (1 - \psi) - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,474$

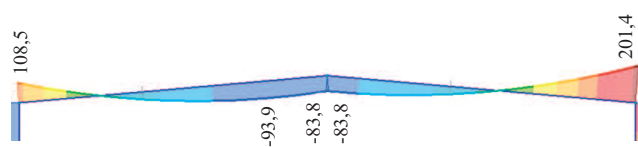


Tabela 5. Procedura wyznaczania C_{my} , rygiel o nachyleniu $\alpha = 7,5^\circ$
 Table 5. Procedure for determining C_{my} , rafters' slope $\alpha = 7,5^\circ$

Cały rygiel	Lewa część ryglu	Prawa część ryglu
$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-81,8kNm}{190,5kNm} = -0,429$	$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-81,8kNm}{97,7kNm} = -0,837$	$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-67,5kNm}{190,5kNm} = -0,354$
$\psi = \frac{97,7kNm}{190,5kNm} = 0,511$	$\psi = \frac{-65,5kNm}{97,7kNm} = -0,670$	$\psi = \frac{-65,5kNm}{190,5kNm} = -0,344$
$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,443$	$C_{my} = 0,1 \cdot (1 - \psi) - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,837$	$C_{my} = 0,1 \cdot (1 - \psi) - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,418$

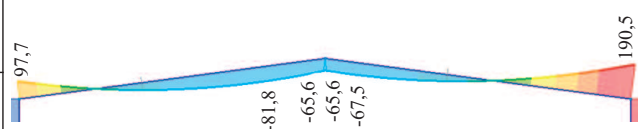
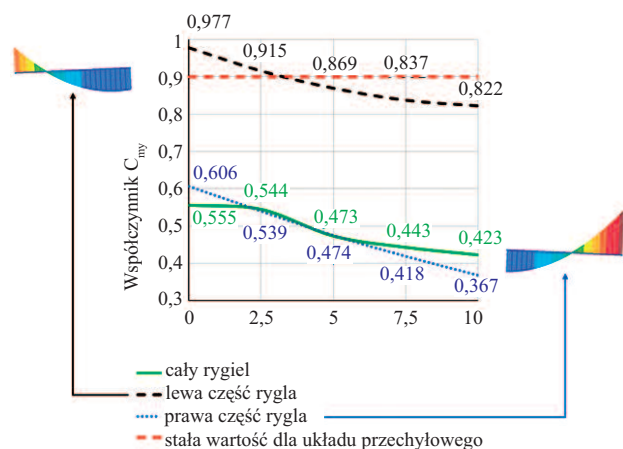


Tabela 6. Procedura wyznaczania C_{my} , rygiel o nachyleniu $\alpha = 10,0^\circ$
 Table 6. Procedure for determining C_{my} , rafters' slope $\alpha = 10,0^\circ$

Cały rygiel	Lewa część ryglu	Prawa część ryglu
$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-72,8kNm}{180,0kNm} = -0,404$	$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-72,8kNm}{87,5kNm} = -0,832$	$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-54,0kNm}{180,0kNm} = -0,300$
$\psi = \frac{87,5kNm}{180,0kNm} = 0,486$	$\psi = \frac{-49,3kNm}{87,5kNm} = -0,563$	$\psi = \frac{-49,3kNm}{180,0kNm} = -0,274$
$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,423$	$C_{my} = 0,1 \cdot (1 - \psi) - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,822$	$C_{my} = 0,1 \cdot (1 - \psi) - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,367$

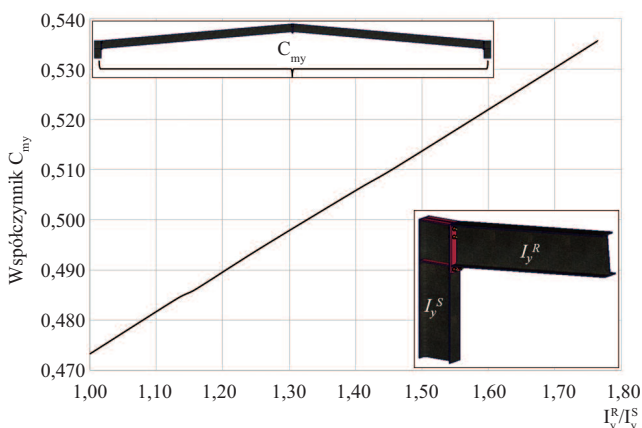




Rys. 3. Graficzne przedstawienie wartości C_{my} w przypadku różnych kątów nachylenia rygla

Fig. 3. Graphical visualization of the C_{my} for various rafter slopes

Na rysunku 4 przedstawiono wyniki analizy wpływu stosunku sztywności rygla do sztywności słupa w przypadku ramy o kącie nachylenia rygla 5° . Wybór ramy o tym kącie nachylenia nie jest przypadkowy. Analizy wyoboczeniowe, których wyniki przedstawiono w tabeli 2, wskazują, że w przypadku tego kąta nachylenia rygla i równej sztywności przekroju słupa oraz rygla pierwsza postać wyoboczenia jest jeszcze symetryczna (nie jest przechyłowa). Powstaje pytanie, czy zależność ta będzie zachowana w przypadku innego stosunku sztywności rygla i słupa. Aby odpowiedzieć na tak postawione pytanie, przeprowadzono dodatkowe analizy, w których zmienna była sztywność słupa. Operowano takimi przekrojami słupów, aby warunek SGN słupa nie został przekroczony. Zbiorcze zestawienie wyników tych analiz przedstawiono w tabeli 7, gdzie LA, LBA i EC3 odnoszą się odpowiednio do liniowej analizy statycznej, liniowej analizy wyoboczeniowej i analizy wg Eurokodu 3 [5]. Symbol I_y^S i I_y^R dotyczy sztywności przekroju słupa i rygla. Warto zauważyć, że we wszystkich analizowanych przypadkach pierwsza postać wyoboczenia była symetryczna.



Rys. 4. Wpływ stosunku sztywności rygla (I_y^R) do sztywności słupa (I_y^S) na współczynnik C_{my} wyznaczony dla całego rygla

Fig. 4. Influence of rafter (I_y^R) to column (I_y^S) stiffness ratio on the value of the C_{my} for the entire length of the rafter

Tabela 7. Wyniki analizy parametrycznej ramy o kącie nachylenia rygla $\alpha = 5,0^\circ$

Table 7. The results of the parametric analysis of the frame with slope of the rafter equal $\alpha = 5,0^\circ$

Nazwa przekroju słupa	LA		LBA		EC3	
	I_y^S [cm ⁴]	I_y^R/I_y^S [-]	α_{cr} [-]	postać [-]	SGN [-]	C_{my} (cały rygiel) [-]
IPE 450	33700	1,00	77,1	symetryczna	0,68	0,473
IPEA 450	29800	1,13	75,4		0,78	0,484
IPN 400	29100	1,16	75,1		0,68	0,486
IPEO 400	26800	1,26	73,9		0,75	0,494
IPN 380	24000	1,40	72,1		0,80	0,506
IPE 400	23100	1,46	71,5		0,88	0,510
IPEA 400	20300	1,66	69,3		0,96	0,527
IPEO 360	19100	1,76	68,2		0,94	0,536

Podsumowanie

Przeprowadzone analizy dwuspadowych ram portalowych o różnym kącie nachylenia rygla dają nowe spojrzenie na jego wymiarowanie w kontekście współczynnika równoważnego stałego momentu C_{my} . Współczynnik C_{my} jest parametrem bezpośrednio wpływającym na wielkość współczynnika interakcji k_{yy} , a więc i na nośność wymiarowanego elementu.

Najważniejsze spostrzeżenia i wnioski: wykazano, że w przypadku obciążenia niesymetrycznego wartość C_{my} lewej i prawej części rygla znacznie się różni; wykazano istotną różnicę wartości C_{my} w przypadku rozkładu momentu M_y „między słupami” i rozkładu „okap-zwornik”; przyjmowanie C_{my} w przypadku rozkładu M_y „między słupami” ram, których pierwsza postać wyoboczenia jest niesymetryczna (tabela 2), może prowadzić do dwukrotnego zaniżenia wpływu zginania w płaszczyźnie elementów zginanych i ściskanych; kształt pierwszej postaci wyoboczenia (postać symetryczna lub niesymetryczna) zależy od wielu parametrów (stosunek sztywności giętych słupa do rygla, rodzaj obciążenia, warunki podparcia), dlatego każdy przypadek powinien być przeanalizowany przez projektanta; przeprowadzone analizy wykazały, że C_{my} zwiększa się liniowo względem wzrostu stosunku sztywności rygla do słupa (I_y^R/I_y^S); w sytuacjach niejednoznacznych (np. w przypadku bardzo dużej liczby kombinacji) można konserwatywnie przyjąć $C_{my} = 0,9$ (jak w przypadku słupów w układach przechyłowych).

Literatura

- [1] PN-EN 1990:2004 Eurokod – Podstawy projektowania konstrukcji.
- [2] Hauke B, Kuhnhenne M, Lawson M, Veljkovic M. Sustainable Steel Buildings: A Practical Guide for Structures and Envelopes, Wiley-Blackwell 2016, ISBN: 978-1-118-74081-1.
- [3] Broniewicz F, Broniewicz M. Sustainability of Steel Office Buildings, Energies. 2020; 13 (14): 3723; <https://DOI.org/10.3390/en13143723>.
- [4] Chini AR, Schultmann F. Deconstruction and Materials. Reuse, Technology, Economic, and Policy. CIB Publication 266. In Proceedings of the CIB Task Group 39 – Deconstruction Meeting, Karlsruhe, Germany, 9 April 2002; p. 244.
- [5] PN-EN 1993-1-1:2006 Eurokod 3 – Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [6] Greiner R. Background information on the beam – column interaction Formulae at Level 1. ECCS Report No. TC8-2001-021, 20; Sept. 2001.
- [7] Interaction formulae for members subjected to bending and axial compression in EUROCODE 3 – the Method 2 approach, Journal of Constructional Steel Research 62 (8): 757 – 770, DOI: 10.1016/j.jcsr.2005.11.018.

Przyjęto do druku: 11.08.2022 r.