
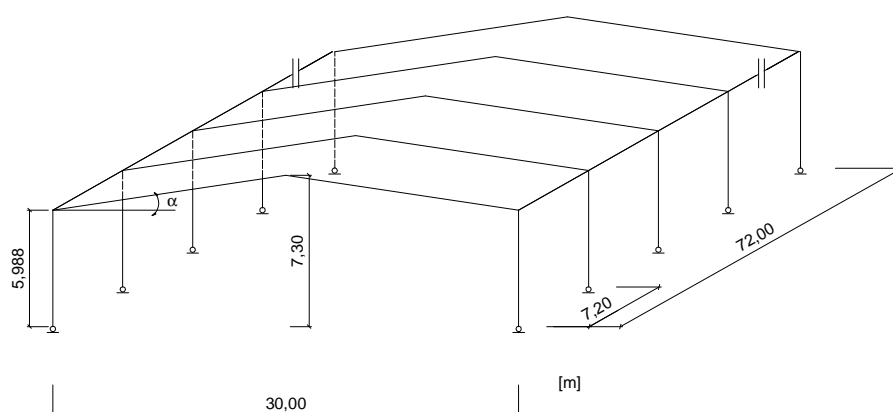


ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	<i>1</i> z <i>28</i>	
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>			
	Dot. Eurokodu				
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>	
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>	

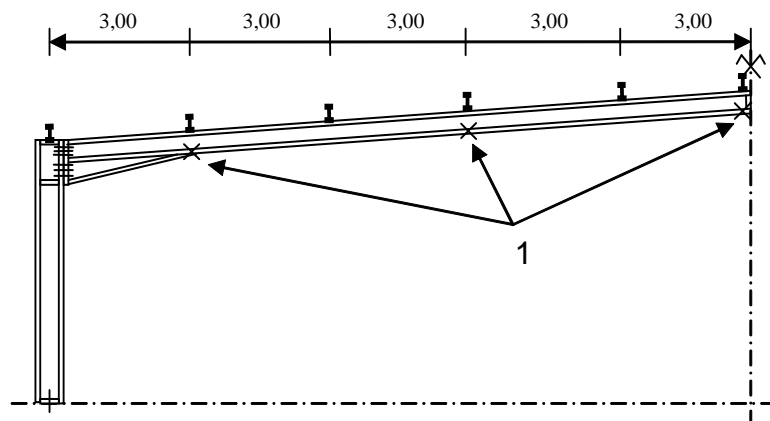
Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej

Jednonawowa rama portalowa wykonana z kształtowników walcowanych jest zaprojektowana według PN-EN 1993-1-1. Przykład ten zawiera sprężystą analizę ramy według teorii pierwszego rzędu, oraz wszystkie sprawdzenia elementów przy użyciu kombinacji obciążeń stanu granicznego nośności.




1 Dane podstawowe

- Całkowita długość hali : $b = 72,00 \text{ m}$
- Rozstaw ram: $s = 7,20 \text{ m}$
- Szerokość nawy : $d = 30,00 \text{ m}$
- Wysokość (max): $h = 7,30 \text{ m}$
- Pochylenie dachu: $\alpha = 5,0^\circ$



1 : Stężenia skrętne rygła

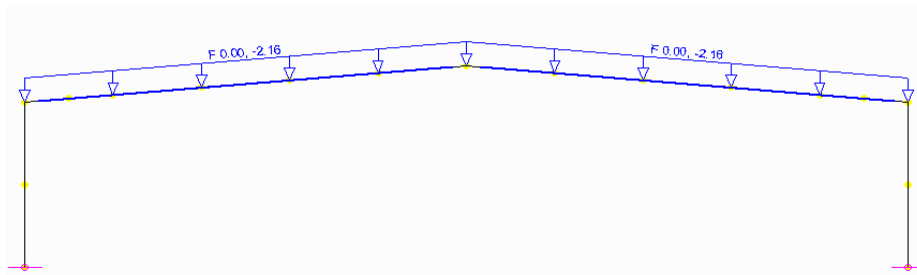
ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	<i>2 z 28</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>

2 Obciążenia

2.1 Obciążenia stałe

PN-EN
1991-1-1

- ciężar własny belki
- pokrycie dachu z płatwiami $G = 0,30 \text{ kN/m}^2$
dla ramy wewnętrznej: $G = 0,30 \times 7,20 = 2,16 \text{ kN/m}$



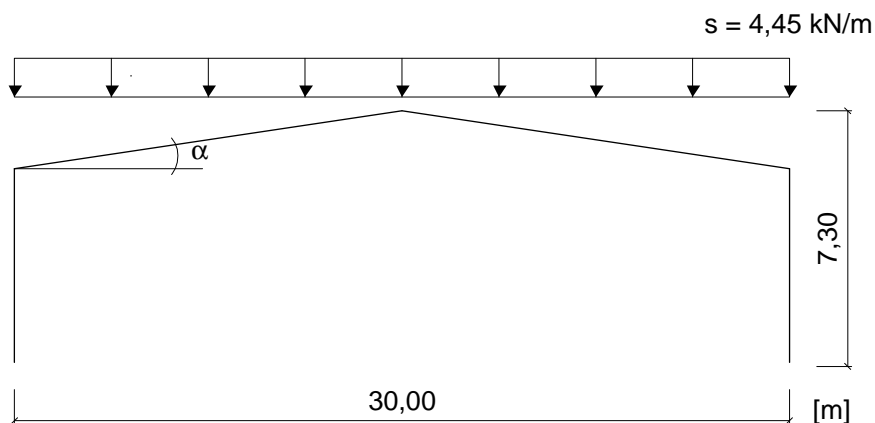
2.2 Obciążenie śniegiem


PN-EN
1991-1-3

Charakterystyczne wartości obciążenia śniegiem na dachu w $[\text{kN/m}^2]$

$$S = 0,8 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,772 = 0,618 \text{ kN/m}^2$$

$$\Rightarrow \text{dla ramy wewnętrznej: } S = 0,618 \times 7,20 = 4,45 \text{ kN/m}$$

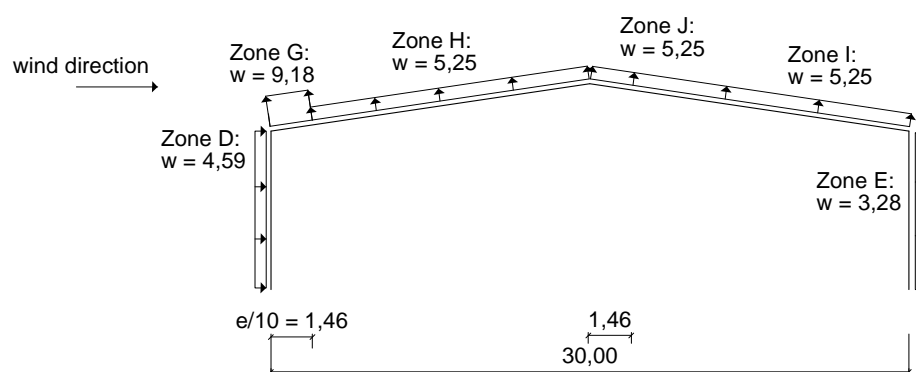


ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	3 z 28
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>

2.3 Obciążenie wiatrem

PN-EN
1991-1-4

Charakterystyczne wartości obciążenia wiatrem w kN/m dla ramy wewnętrznej



3 Kombinacje obciążeń

PN-EN 1990

3.1 Częściowe współczynniki bezpieczeństwa

- $\gamma_{Gmax} = 1,35$ (obciążenia stałe)
- $\gamma_{Gmin} = 1,0$ (obciążenia stałe)
- $\gamma_Q = 1,50$ (obciążenia zmienne)
- $\psi_0 = 0,50$ (śnieg)
- $\psi_0 = 0,60$ (wiatr)
- $\gamma_{M0} = 1,0$
- $\gamma_{M1} = 1,0$

PN-EN 1990
Tablica A1.1

3.2 Kombinacje stanu granicznego nośności

PN-EN 1990

Kombinacja 101 : $\gamma_{Gmax} G + \gamma_Q Q_s$

Kombinacja 102 : $\gamma_{Gmin} G + \gamma_Q Q_w$

Kombinacja 103 : $\gamma_{Gmax} G + \gamma_Q Q_s + \gamma_Q \psi_0$

Kombinacja 104 : $\gamma_{Gmin} G + \gamma_Q Q_s + \gamma_Q \psi_0 Q_w$


Kombinacja 105 : $\gamma_{Gmax} G + \gamma_Q \psi_0 Q_s + \gamma_Q Q_w$

Kombinacja 106 : $\gamma_{Gmin} G + \gamma_Q \psi_0 Q_s + \gamma_Q Q_w$

3.3 Kombinacje stanu granicznego użyteczności

PN-EN 1990

Kombinacje i ograniczenia powinny być wyszczególnione dla każdego projektu albo przez Załącznik Krajowy.

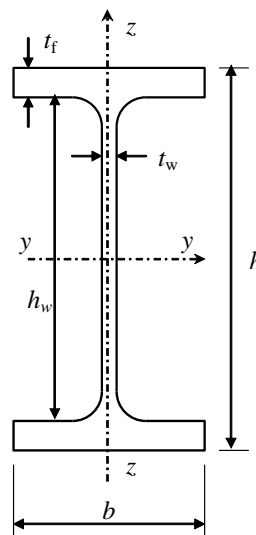
ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	4 z 28	
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>			
	Dot. Eurokodu				
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>	
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>	

4 Przekroje


4.1 Słup

Przyjęto dwuteownik IPE 600 – Stal gatunku S275

Wysokość przekroju	$h = 600 \text{ mm}$
Wysokość środnika	$h_w = 562 \text{ mm}$
Wysokość prostej części (panelu) środnika	$d_w = 514 \text{ mm}$
Szerokość	$b = 220 \text{ mm}$
Grubość środnika	$t_w = 12 \text{ mm}$
Grubość pasa	$t_f = 19 \text{ mm}$
Promień wyokrąglenia	$r = 24 \text{ mm}$
Masa	$122,4 \text{ kg/m}$



Pole przekroju	$A = 156 \text{ cm}^2$
Moment bezwładności /yy	$I_y = 92080 \text{ cm}^4$
Moment bezwładności /zz	$I_z = 3386 \text{ cm}^4$
Moment bezwładności przy skręcaniu	$I_t = 165,4 \text{ cm}^4$
Wycinkowy moment bezwładności	$I_w = 2845500 \text{ cm}^6$
Sprężysty wskaźnik wytrzymałości /yy	$W_{el,y} = 3069 \text{ cm}^3$
Plastyczny wskaźnik wytrzymałości /yy	$W_{pl,y} = 3512 \text{ cm}^3$
Sprężysty wskaźnik wytrzymałości /zz	$W_{el,z} = 307,80 \text{ cm}^3$
Plastyczny wskaźnik wytrzymałości /zz	$W_{pl,z} = 485,60 \text{ cm}^3$

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	5 z 28
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>

4.2 Rygiel

Przyjęto dwuteownik IPE 500 – Stal gatunku S275

Wysokość przekroju	$h = 500 \text{ mm}$
Wysokość środnika	$h_w = 468 \text{ mm}$
Wysokość prostej części (panelu) środnika	$d_w = 426 \text{ mm}$
Szerokość	$b = 200 \text{ mm}$
Grubość środnika	$t_w = 10,2 \text{ mm}$
Grubość pasa	$t_f = 16 \text{ mm}$
Promień wyokrąglenia	$r = 21 \text{ mm}$
Masa	$90,7 \text{ kg/m}$

Pole przekroju	$A = 115,50 \text{ cm}^2$
Moment bezwładności /yy	$I_y = 48200 \text{ cm}^4$
Moment bezwładności /zz	$I_z = 2141 \text{ cm}^4$
Moment bezwładności przy skręcaniu	$I_t = 89,29 \text{ cm}^4$
Wycinkowy moment bezwładności	$I_w = 1249400 \text{ cm}^6$
Sprężysty wskaźnik wytrzymałości /yy	$W_{el,y} = 1928 \text{ cm}^3$
Plastyczny wskaźnik wytrzymałości /yy	$W_{pl,y} = 2194 \text{ cm}^3$
Sprężysty wskaźnik wytrzymałości /zz	$W_{el,z} = 214,1 \text{ cm}^3$
Plastyczny wskaźnik wytrzymałości /zz	$W_{pl,z} = 335,90 \text{ cm}^3$


5 Analiza globalna

PN-EN
1993-1-1 §
5.2

Połączenia przyjęto jako:

- przegubowe - do połączenia słupów z fundamentami
- sztywne - do połączenia słupów z ryglami.

Rama była zamodelowana przy użyciu programu EFFEL.

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	6 z 28
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>

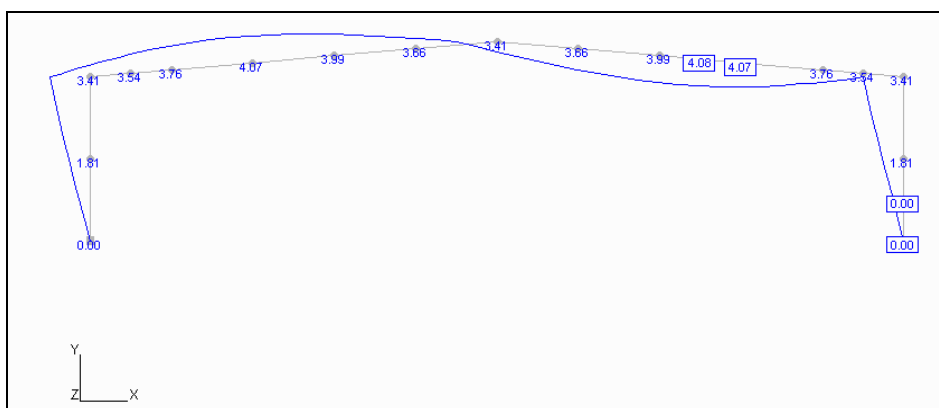
5.1 Wyboczeniowy mnożnik obciążeń α_{cr}

PN-EN
1993-1-1 §
5.2.1

By ocenić wrażliwość ramy na efekty drugiego rzędu, wykonana jest analiza wyboczeniowa do obliczenia wyboczeniowego mnożnika obciążeń obliczeniowych α_{cr} dla kombinacji obciążeń dającej największe pionowe obciążenie: $\gamma_{max} G + \gamma_Q Q_s$ (kombinacja 101).

Dla tej kombinacji, mnożnik obciążeń wynosi: $\alpha_{cr} = 14,57$

Pierwsza postać wyboczenia jest pokazana poniżej.



Tak więc : $\alpha_{cr} = 14,57 > 10$

Może być użyta analiza sprężysta pierwszego rzędu.

PN-EN
1993-1-1 §
5.2.1 (3)

5.2 Skutki niedoskonałości

Globalna początkowa imperfekcja przechyłowa może być określona z:

PN-EN
1993-1-1 §
5.3.2 (3)

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m = \frac{1}{200} \times 0,740 \times 0,866 = 3,204 \cdot 10^{-3}$$

gdzie $\phi_0 = 1/200$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{7,30}} = 0,740$$


$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = 0,866 \quad m = 2 \text{ (liczba słupów)}$$

Imperfekcje przechyłowe mogą być pominięte gdy $H_{Ed} \geq 0,15 V_{Ed}$.

Skutki początkowych imperfekcji przechyłowych mogą być zastąpione przez równoważne siły poziome:

PN-EN
1993-1-1 §
5.3.2 (4)

$$H_{eq} = \phi V_{Ed} \quad \text{w kombinacji, gdzie } H_{Ed} < 0,15 | V_{Ed} |$$

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	7 z 28
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>

Reakcje podporowe podano w tablicy poniżej.

Komb. SGN	Lewy słup 1		Prawy słup 2		Łącznie		0,15 V _{Ed}
	H _{Ed,1} kN	V _{Ed,1} kN	H _{Ed,2} kN	V _{Ed,2} kN	H _{Ed} kN	V _{Ed} kN	
101	-125,5	-172,4	125,5	-172,4	0	-344,70	51,70
102	95,16	80,74	-24,47	58,19	70,69	138,9	20,83
103	-47,06	-91,77	89,48	-105,3	42,42	-197,1	29,56
104	-34,59	-73,03	77,01	-86,56	42,42	-159,6	23,93
105	43,97	11,97	26,72	-10,57	70,69	1,40	0,21
106	56,44	30,71	14,25	8,17	70,69	38,88	5,83

Imperfekcje przechyłowe są uwzględniane jedynie dla kombinacji 101:

PN-EN
1993-1-1 §
5.3.2 (7)

V _{Ed} kN	H _{eq} = φ · V _{Ed} kN
172,4	0,552

⇒ Modelowanie z H_{eq} dla kombinacji 101

5.3 Wyniki analizy sprężystej

5.3.1 Stany graniczne użytkowości

PN-EN
1993-1-1 § 7
i

Kombinacje i ograniczenia powinny być wyszczególnione dla każdego projektu albo przez Załącznik Krajowy.

Na przykład, przemieszczenia obliczone komputerowo są następujące:

PN-EN 1990

Przemieszczenia pionowe:


$$G + \text{śnieg}: D_y = 124 \text{ mm} = L/241$$

$$\text{Sam śnieg}: D_y = 73 \text{ mm} = L/408$$

Przemieszczenia poziome:

Przemieszczenie wierzchołka słupa wywołane jedynie wiatrem

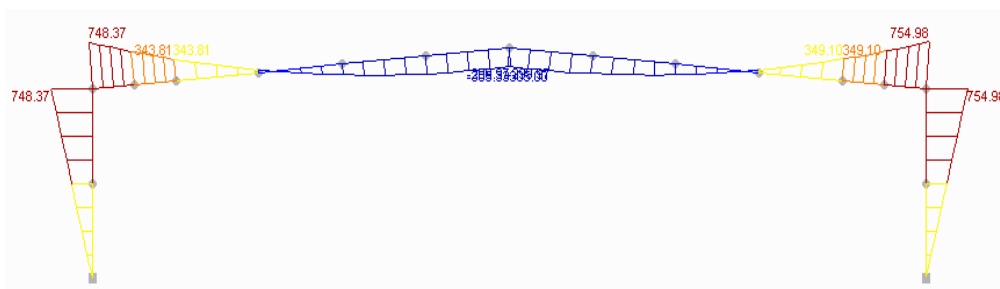
$$D_x = 28 \text{ mm} = h/214$$

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	8 z 28	
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>			
	Dot. Eurokodu				
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>	
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>	

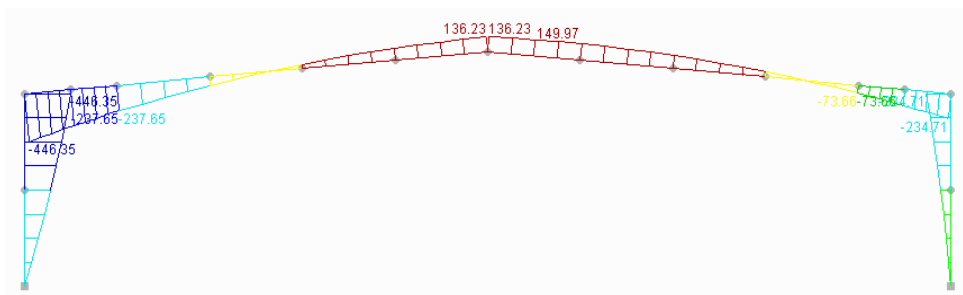
5.3.2 Stany graniczne nośności

Wykres momentów w kNm

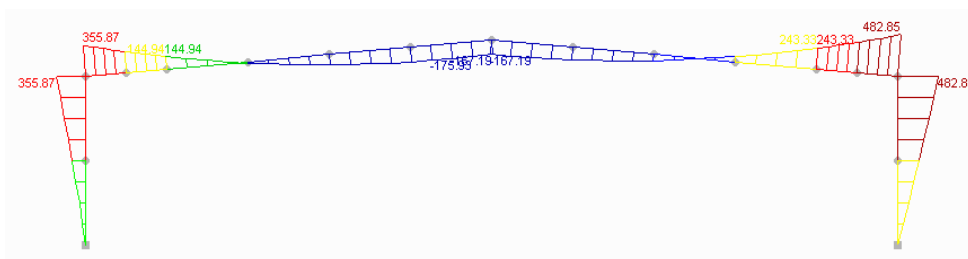
Kombinacja 101:



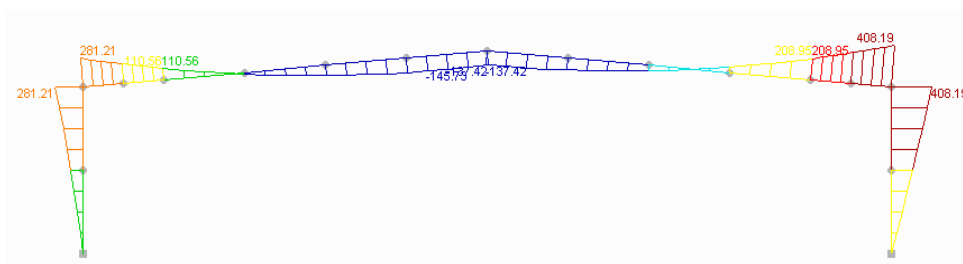
Kombinacja 102:




Kombinacja 103:

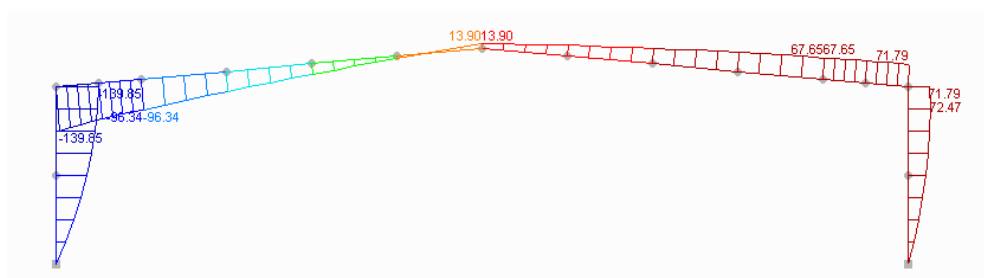


Kombinacja 104:

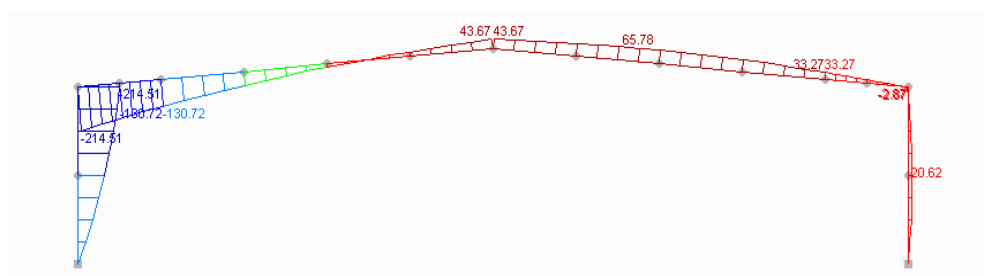


ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	9 z 28	
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>			
	Dot. Eurokodu				
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>	
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>	

Kombinacja 105:



Kombinacja 106:



6 Sprawdzenie słupa

Przekrój IPE 600 - S275 ($\epsilon = 0,92$)

Weryfikacja elementu jest przeprowadzona dla kombinacji 101:

$$\begin{aligned}
 N_{Ed} &= 161,5 \text{ kN} && \text{(przyjęto, że jest stała na długości słupa)} \\
 V_{Ed} &= 122,4 \text{ kN} && \text{(przyjęto, że jest stała na długości słupa)} \\
 M_{Ed} &= 755 \text{ kNm} && \text{(na wierzchołku słupa)}
 \end{aligned}$$

6.1 Klasyfikacja przekrojów

- Środek: smukłość środka $c / t_w = 42,83$


$$d_N = \frac{N_{Ed}}{t_w f_y} = \frac{161500}{12 \times 275} = 48,94 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{d_w + d_N}{2d_w} = \frac{514 + 48,94}{2 \times 514} = 0,548 > 0,50$$

$$\text{Granica dla klasy 1: } 396\epsilon / (13\alpha - 1) = \frac{396 \times 0,92}{13 \times 0,548 - 1} = 59,49$$

Wtedy: $c / t_w = 42,83 < 59,49$ Środek jest przekrojem klasy 1.

PN-EN
1993-1-1 §
5.5

	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	<i>10 z 28</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>

- Pas: smukłość pasa $c / t_f = 80 / 19 = 4,74$
 Granica dla klasy 1: $9 \varepsilon = 9 \times 0,92 = 8,28$
 Wtedy : $c / t_f = 4,74 < 8,28$ Pas jest przekrojem klasy 1

Tak więc przekrój jest klasy 1. Sprawdzanie elementu będzie oparte na plastycznej nośności przekroju.

6.2 Nośność przekroju

Sprawdzenie ze względu na ścinanie

Pole przekroju przy ścinaniu : $A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f > \eta \cdot h_w \cdot t_w$ PN-EN
1993-1-1 §
6.2.6 (3)
 η może być bezpiecznie przyjęty jako równy 1
 $A_v = 15600 - 2 \times 220 \times 19 + (12 + 2 \times 24) \times 19 = 8380 \text{ mm}^2 > \eta \cdot h_w \cdot t_w = 6744 \text{ mm}^2$

$$V_{pl,Rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = (8380 \times 275 / \sqrt{3}) \cdot 10^{-3}$$

$$V_{pl,Rd} = 1330 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} = 122,40 / 1330 = 0,092 < 0,50$$

Wpływ siły ścinającej na nośność na zginanie może być pominięty.

Sprawdzenie ze względu na siłę osiową

$$N_{pl,Rd} = A f_y / \gamma_{M0} = (15600 \times 275 / 1,0) \cdot 10^{-3}$$

$$N_{pl,Rd} = 4290 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 161,5 \text{ kN} < 0,25 N_{pl,Rd} = 4290 \times 0,25 = 1073 \text{ kN}$$

i $N_{Ed} = 161,5 \text{ kN} < \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \times 562 \times 12 \times 275}{1 \times 1000} = 927,3 \text{ kN}$ PN-EN
1993-1-1 §
6.2.8 (2)

Wpływ siły osiowej na nośność na zginanie może być pominięty.


Sprawdzenie ze względu na moment zginający

$$M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} f_y / \gamma_{M0} = (3512 \times 275 / 1,0) \cdot 10^{-3}$$

$$M_{pl,y,Rd} = 965,8 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 755 \text{ kNm} < M_{pl,y,Rd} = 965,8 \text{ kNm}$$

PN-EN
1993-1-1 §
6.2.5

	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	<i>11 z 28</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>

6.3 Stateczność ogólna elementu

Nośność wybozeniowa słupa jest wystarczająca jeżeli są spełnione następujące warunki (zginanie jednokierunkowe, $M_{z,Ed} = 0$):

PN-EN
1993-1-1 §
6.3.3

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

Współczynniki k_{yy} i k_{zy} są obliczane przy użyciu Załącznika A normy PN-EN 1993-1-1.

Rama nie jest wrażliwa na efekty drugiego rzędu ($\alpha_{cr} = 14,57 > 10$). Dlatego długość wybozeniowa, dla wybozenia w płaszczyźnie, może być przyjmowana jako równą długości elementu.

PN-EN
1993-1-1 §
5.2.2 (7)

$$L_{cr,y} = 5,99 \text{ m}$$

Uwaga: Dla jednonawowej symetrycznej ramy, która nie jest wrażliwa na efekty drugiego rzędu, sprawdzanie wybozenia w płaszczyźnie na ogół jest nie istotne. Sprawdzanie nośności przekroju będzie miarodajne na górze słupa.

Odnosnie do wybozenia z płaszczyzny ramy, element jest stężony bocznie jedynie na obydwu końcach słupa. Więc:

$$\begin{aligned} L_{cr,z} &= 5,99 \text{ m} && \text{dla wybozenia względem słabej osi} \\ L_{cr,T} &= 5,99 \text{ m} && \text{dla wybozenia skrętnego} \\ \text{i } L_{cr,LT} &= 5,99 \text{ m} && \text{dla zwichrzenia} \end{aligned}$$

- Wybozenie względem osi yy $L_{cr,y} = 5,99 \text{ m}$

Krzywa wybozeniowa : a ($\alpha_y = 0,21$)


PN-EN
1993-1-1 §
6.3.1.2 (2)

$$N_{cr,y} = \pi^2 \frac{EI_y}{L_{cr,y}^2} = \pi^2 \frac{210000 \times 92080 \times 10000}{5990^2 \times 1000} = 53190 \text{ kN}$$

Tablica 6.1

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{15600 \times 275}{53190 \cdot 10^3}} = 0,284$$

PN-EN
1993-1-1 §
6.3.1.3 (1)

	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	<i>12 z 28</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>

$$\phi_y = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \times \left[1 + 0,21(0,284 - 0,2) + 0,284^2 \right] = 0,5491 \quad \text{PN-EN 1993-1-1 § 6.3.1.2 (1)}$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,5491 + \sqrt{0,5491^2 - 0,284^2}} = 0,9813$$

- Wyboczenie względem osi zz $L_{cr,z} = 5,99 \text{ m}$

PN-EN
1993-1-1 §
6.3.1.2 (2)

Krzywa wyboczeniowa : b ($\alpha_z = 0,34$)

$$N_{cr,z} = \pi^2 \frac{EI_z}{L_{cr,z}^2} = \pi^2 \frac{210000 \times 3386 \times 10000}{5990^2 \times 1000} = 1956 \text{ kN}$$

Tablica 6.1

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{15600 \times 275}{1956 \cdot 10^3}} = 1,481$$

PN-EN
1993-1-1 §
6.3.1.3 (1)

$$\phi_z = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \times \left[1 + 0,34(1,481 - 0,2) + 1,481^2 \right] = 1,814$$

PN-EN
1993-1-1 §
6.3.1.2 (1)

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,814 + \sqrt{1,814^2 - 1,481^2}} = 0,3495$$

- Zwichrzenie $L_{cr,LT} = 5,99 \text{ m}$

Krzywa wyboczeniowa : c ($\alpha_{LT} = 0,49$)

PN-EN
1993-1-1 §
6.3.2.3

Wykres momentów z liniową zmiennością: $\psi = 0 \quad C_1 = 1,77$


$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr,LT}^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr,LT}^2 GI_t}{\pi^2 EI_z}}$$

Tablica 6.5

$$M_{cr} = 1,77 \times \frac{\pi^2 \times 210000 \times 3386 \times 10000}{5990^2 \times 10^6} \sqrt{\frac{2845500 \cdot 10^6}{3386 \cdot 10^4} + \frac{5990^2 \times 80770 \times 165,4 \cdot 10^4}{\pi^2 \times 210000 \times 3386 \cdot 10^4}} \quad \text{NCCI SN003}$$

$$M_{cr} = 1351 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{3512 \cdot 10^3 \times 275}{1351 \cdot 10^6}} = 0,8455$$

	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	<i>13 z 28</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

gdzie $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,40$ i $\beta = 0,75$

PN-EN
1993-1-1 §
6.3.2.3 (1)

$$\phi_{LT} = 0,5 \times \left[1 + 0,49(0,8455 - 0,4) + 0,75 \times 0,8455^2 \right] = 0,8772$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,8772 + \sqrt{0,8772^2 - 0,75 \times 0,8455^2}} = 0,7352$$

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi} = 0,7519 \quad (\psi = 0)$$

$$f = 1 - 0,5 \times (1 - k_c) \left[1 - 2(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right]$$

$$f = 1 - 0,5 \times (1 - 0,7519) \left[1 - 2(0,8455 - 0,8)^2 \right] = 0,8765 < 1$$

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} = \frac{0,7352}{0,8765} = 0,8388 < 1$$

PN-EN
1993-1-1 §
6.3.2.3 (2)

Tablica 6.6

Obliczenie współczynników k_{yy} i k_{zy} według Załącznika A normy PN-EN 1993-1-1

PN-EN
1993-1-1
Załącznik A


$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{161,5}{53190}}{1 - 0,9813 \times \frac{161,5}{53190}} = 0,9999$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{161,5}{1956}}{1 - 0,3495 \times \frac{161,5}{1956}} = 0,9447$$

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} = \frac{3512}{3069} = 1,144 < 1,5$$

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} = \frac{485,6}{307,8} = 1,578 > 1,5 \quad \Rightarrow \quad w_z = 1,5$$

PN-EN
1993-1-1
Załącznik A

	Dokument Ref:	SX029a-PL-EU	Strona	14 z 28
	Tytuł	Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	Valérie Lemaire	Data	April 2006
	Sprawdził	Alain Bureau	Data	April 2006

Siła krytyczna przy wyboczeniu skrętnym

NCCI

$$N_{cr,T} = \frac{A}{I_0} \left(GI_t + \frac{\pi^2 EI_w}{L_{cr,T}^2} \right)$$

SN003

Dla przekroju podwójnie symetrycznego,

$$I_0 = I_y + I_z + (y_0^2 + z_0^2)A = 92080 + 3386 = 95466 \text{ cm}^4$$

$$N_{cr,T} = \frac{15600}{95466 \cdot 10^4 \times 1000} \times \left(80770 \times 165,4 \cdot 10^4 + \pi^2 \frac{210000 \times 2845500 \cdot 10^6}{5990^2} \right)$$

$$N_{cr,T} = 4869 \text{ kN}$$

$$M_{cr,0} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr,LT}^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr,LT}^2 GI_t}{\pi^2 EI_z}}$$

NCCI

SN003

$M_{cr,0}$ jest momentem krytycznym do obliczania $\bar{\lambda}_0$ przy czystym zginaniu jak as wyszczególniono w Załączniku A.

$$\Rightarrow C_1 = 1$$

$$M_{cr,0} = 1 \times \frac{\pi^2 \times 210000 \times 3386 \cdot 10^4}{5990^2 \times 10^6} \sqrt{\frac{2845500 \cdot 10^6}{3386 \cdot 10^4} + \frac{5990^2 \times 80770 \times 165,4 \cdot 10^4}{\pi^2 \times 210000 \times 3386 \cdot 10^4}}$$

$$M_{cr,0} = 763,3 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_0 = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr,0}}} = \sqrt{\frac{3512 \cdot 10^3 \times 275}{763,3 \cdot 10^6}} = 1,125$$

PN-EN

1993-1-1


Załącznik A

$$\bar{\lambda}_{0lim} = 0,2 \sqrt{C_1} \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,TF}}\right)}$$

gdzie $N_{cr,TF} = N_{cr,T}$ (przekrój podwójnie symetryczny)

$$\bar{\lambda}_{0lim} = 0,2 \sqrt{1,77} \sqrt[4]{\left(1 - \frac{161,5}{1956}\right) \left(1 - \frac{161,5}{4869}\right)} = 0,2582$$

$$\bar{\lambda}_0 > \bar{\lambda}_{0lim}$$

	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	<i>15 z 28</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}$$

gdzie $\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A}{W_{el,y}} = 23,76$ (klasa 1) i $a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} = 0,9982$

Obliczenie współczynnika $C_{my,0}$

$$C_{my,0} = 0,79 + 0,21\psi_y + 0,36(\psi_y - 0,33) \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}$$

$$\psi_y = 0 \quad C_{my,0} = 0,79 - 0,1188 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} = 0,7896$$

PN-EN
1993-1-1
Załącznik A

Tablica A2

Obliczenie współczynników C_{my} i $C_{m,LT}$:

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}$$


$$C_{my} = 0,7896 + (1 - 0,7896) \frac{\sqrt{23,76 \times 0,9982}}{1 + \sqrt{23,76 \times 0,9982}} = 0,9641$$

$$C_{m,LT} = C_{my}^2 \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}} \geq 1$$

$$C_{m,LT} = 0,9641^2 \times \frac{0,9982}{\sqrt{\left(1 - \frac{161,5}{1956}\right) \left(1 - \frac{161,5}{4869}\right)}} = 0,9843 < 1$$

$$\Rightarrow C_{m,LT} = 1$$

PN-EN
1993-1-1
Załącznik A

	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	<i>16 z 28</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>

Obliczenie współczynników C_{yy} i C_{zy} :

PN-EN
1993-1-1
Załącznik A

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{\max} - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{\max}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{161500}{15600 \times 275 / 1} = 0,03765$$

$$M_{z,Ed} = 0 \Rightarrow b_{LT} = 0 \text{ i } d_{LT} = 0 \quad \bar{\lambda}_{\max} = \bar{\lambda}_z = 1,4810$$

$$C_{yy} = 1 + (1,144 - 1) \times \left[\left(2 - \frac{1,6}{1,144} \times 0,9641^2 \times 1,481 - \frac{1,6}{1,144} \times 0,9641^2 \times 1,481^2 \right) \times 0,03765 \right]$$

$$C_{yy} = 0,9849 > \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}} = \frac{3069}{3512} = 0,8739$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{14}{w_y^5} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{\max}^2 \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}}$$

$$C_{zy} = 1 + (1,144 - 1) \left[\left(2 - \frac{14}{1,144^5} \times 0,9641^2 \times 1,481^2 \right) \times 0,03765 \right] = 0,9318$$

$$C_{zy} = 0,9318 > 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}} = 0,6 \sqrt{\frac{1,144}{1,5} \frac{3069}{3512}} = 0,4579$$

Obliczenie współczynników k_{yy} i k_{zy} :


PN-EN
1993-1-1
Załącznik A

$$k_{yy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{yy}}$$

$$k_{yy} = 0,9641 \times 1 \times \frac{0,9999}{1 - \frac{161,5}{53190}} \times \frac{1}{0,9849} = 0,9818$$

$$k_{zy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{zy}} 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

$$k_{zy} = 0,9641 \times 1 \times \frac{0,9447}{1 - \frac{161,5}{53190}} \times \frac{1}{0,9318} \times 0,6 \times \sqrt{\frac{1,144}{1,50}} = 0,5138$$

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	<i>17 z 28</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>

Sprawdzanie nośności z formułami interakcyjnymi

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

PN-EN
1993-1-1 §
6.3.3

$$\frac{161500}{0,9813 \times \frac{15600 \times 275}{1}} + 0,9818 \times \frac{755 \cdot 10^6}{0,8388 \times \frac{3512 \cdot 10^3 \times 275}{1}} = 0,9534 < 1 \text{ OK}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{161500}{0,3495 \times \frac{15600 \times 275}{1}} + 0,5138 \times \frac{755 \cdot 10^6}{0,8388 \times \frac{3512 \cdot 10^3 \times 275}{1}} = 0,5867 < 1 \text{ OK}$$

Więc, nośność elementu z uwzględnieniem stateczności ogólnej jest zadowalająca.

7 Sprawdzanie rygla

7.1 Klasyfikacja przekrojów

Przypadek z maksymalną siłą ściskającą w ryglu: (kombinacja 101)

- Środek:


$$\left. \begin{array}{l} h_w = 468 \text{ mm} \\ t_w = 10,2 \text{ mm} \\ c = 426 \text{ mm} \end{array} \right\} c / t_w = 41,76$$

$$N_{Ed} = 136 \text{ kN} \quad d_N = \frac{N_{Ed}}{t_w f_y} = \frac{136000}{10,2 \times 275} = 48,5 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{d + d_N}{2d} = \frac{426 + 48,5}{2 \times 426} = 0,557 > 0,5$$

PN-EN
1993-1-1 §
5.5

$$c / t_w = 41,76 < \frac{396 \varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \times 0,92}{13 \times 0,557 - 1} = 58,38 \Rightarrow \text{klasa 1}$$

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	<i>18 z 28</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>

- Pasy

$b = 200 \text{ mm}$	}	$c / t_f = 4,44$
$t_f = 16 \text{ mm}$		
$r = 21 \text{ mm}$		
$c = 71 \text{ mm}$		

 część ściskana
 $c / t_f < 9\varepsilon = 8,28$ (S275 $\Rightarrow \varepsilon = 0,92$)
 $c / t_f = 4,44$ klasa 1

Tak więc przekrój jest klasy 1. Sprawdzanie elementu będzie oparte na plastycznej nośności przekroju.

7.2 Nośność przekroju

Sprawdzanie elementu o przekroju z dwuteownika IPE 500 ze względu na maksymalny moment na długości:

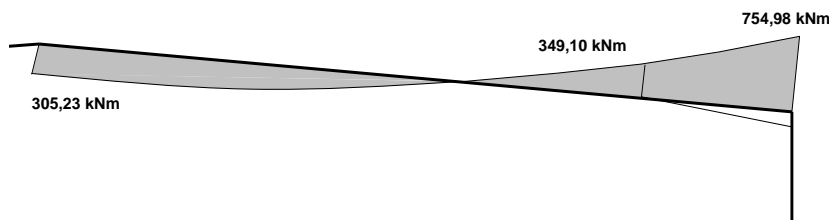
Kombinacja 101

Maksymalne siły wewnętrzne w IPE 500 na końcu skosu:


$$N_{Ed} = 136,00 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 118,50 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 349,10 \text{ kNm}$$



Kombinacja 101: Wykres momentów zginających na długości rygła

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	<i>19 z 28</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>

Ścinanie $V_{Ed} = 118,50 \text{ kN}$

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f \quad \eta = 1$$

$$A_v = 11550 - 2 \times 200 \times 16 + (10,2 + 2 \times 21) \times 16 = 5985 \text{ mm}^2$$

$$A_v > \eta \cdot h_w \cdot t_w = 468 \times 10,2 = 4774 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = 5985 \times 275 / \sqrt{3} / 1000 = 950,3 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} = 118,5 / 950,3 = 0,125 < 0,50$$

⇒ wpływ ścinania na nośność na zginanie może być pominięty!

PN-EN
1993-1-1 §
6.2

PN-EN
1993-1-1 §
6.2.8 (2)

Ściskanie

$$N_{pl,Rd} = 11550 \times 275 / 1000 = 3176 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 136 \text{ kN} < 0,25 N_{pl,Rd} = 3176 \times 0,25 = 794,1 \text{ kN}$$

i

$$N_{Ed} = 136 \text{ kN} < \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \times 468 \times 10,2 \times 275}{1 \times 1000} = 656,4 \text{ kN}$$

⇒ wpływ ściskania na nośność na zginanie może być pominięty!

PN-EN
1993-1-1 §
6.2.4

PN-EN
1993-1-1 §
6.2.8 (2)

Zginanie

$$M_{pl,y,Rd} = 2194 \times 275 / 1000 = 603,4 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 349,10 \text{ kNm} < M_{pl,y,Rd} = 603,4 \text{ kNm}$$

PN-EN
1993-1-1 §
6.2.5


7.3 Stateczność ogólna elementu

Elementy pełnościennie poddane zginaniu i osiowemu ściskaniu

Weryfikacja z formułą interakcyjną

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad \text{i} \quad \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

PN-EN
1993-1-1 §
6.3.3

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	20 z 28	
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>			
	Dot. Eurokodu				
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>	
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>	

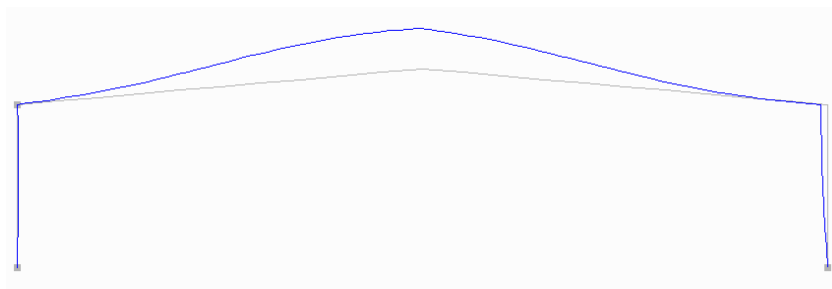
- Wyboczenie względem osi yy:

Aby określić długości wyboczeniową względem osi yy, do obliczania mnożnika obciążeń α_{cr} jest stosowana analiza wyboczeniowa dla kombinacji obciążeń dającej największe obciążenie pionowe, z fikcyjnym podparciem na górze słupa:

Kombinacja 101 $\Rightarrow \alpha_{cr} = 37,37$

PN-EN
1993-1-1 §
6.3.1.2 (2)

Tablica 6.1



PN-EN
1993-1-1 §
6.3.1.3 (1)

Krzywa wyboczeniowa : a $(h/b > 2) \Rightarrow \alpha_y = 0,21$

$$N_{cr,y} = \alpha_{cr} N_{Ed} = 37,37 \times 136 = 5082 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{11550 \times 275}{5082 \cdot 10^3}} = 0,7906$$

PN-EN
1993-1-1 §
6.3.1.2 (2)

Tablica 6.1

$$\phi_y = 0,5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right]$$

$$\phi_y = 0,5 \times \left[1 + 0,21 \times (0,7906 - 0,2) + 0,7906^2 \right] = 0,8745$$


$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,8745 + \sqrt{0,8745^2 - 0,7906^2}} = 0,8011$$

- Wyboczenie względem osi zz:

Dla wyboczenia względem osi zz i dla zwichrzenia, długość wyboczeniowa jest przyjmowana jako odległość między stężeniami bocznymi:

$$L_{cr} = 6,00 \text{ m}$$

Uwaga: płatew pośrednia jest stężeniem bocznym tylko górnego pasa. Jej wpływ może być brany pod uwagę, ale ostrożniej jest pominąć ten wpływ w obliczeniach..

	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	<i>21 z 28</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>

Wyboczenie giętnie

$$L_{cr,z} = 6,00 \text{ m}$$

$$N_{cr,z} = \pi^2 \frac{EI_z}{L_{cr,z}^2} = \pi^2 \frac{210000 \times 2141 \times 10000}{6000^2 \times 1000} = 1233 \text{ kN}$$

PN-EN
1993-1-1 §
6.3.1.3

Wyboczenie skrętne

$$L_{cr,T} = 6,00 \text{ m}$$

$$N_{cr,T} = \frac{A}{I_0} \left(GI_t + \frac{\pi^2 EI_w}{L_{cr,T}^2} \right)$$

gdzie $y_0 = 0$ i $z_0 = 0$ (przekrój podwójnie symetryczny)

$$I_0 = I_y + I_z + (y_0^2 + z_0^2)A = 48199 + 2141 = 50340 \text{ cm}^4$$

NCCI
SN003

$$N_{cr,T} = \frac{11550}{50340 \cdot 10^4 \times 1000} \times \left(80770 \times 89,29 \cdot 10^4 + \pi^2 \frac{210000 \times 1249370 \cdot 10^6}{6000^2} \right)$$

$$N_{cr,T} = 3305 \text{ kN}$$

$$N_{cr} = \min (N_{cr,z} ; N_{cr,T}) = 1233 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{11550 \times 275}{1233 \cdot 10^3}} = 1,605$$

PN-EN
1993-1-1 §
6.3.1.3 (1)

Krzywa wyboczeniowa : b

$$\alpha_z = 0,34$$

$$\phi_z = 0,5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right]$$

$$\phi_z = 0,5 \times \left[1 + 0,34 \times (1,605 - 0,2) + 1,605^2 \right] = 2,027$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,027 + \sqrt{2,027^2 - 1,605^2}} = 0,3063$$

PN-EN
1993-1-1 §
6.3.1.2 (1)

Tablica 6.1

• Zwichrzenie:


$$L_{cr,LT} = 6,00 \text{ m}$$

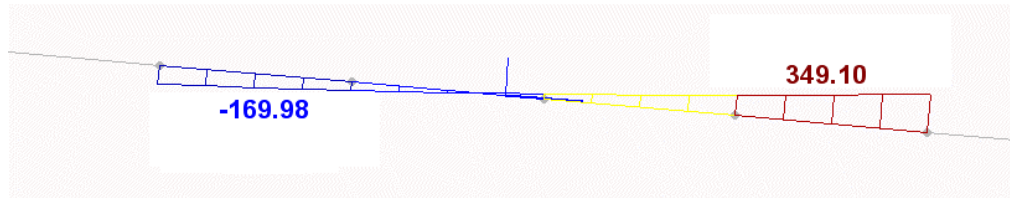
Krzywa wyboczeniowa : c

$$\alpha_{LT} = 0,49$$

PN-EN
1993-1-1 §
6.3.1.3

Tablica 6.5

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	22 z 28
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>



Wykres momentów zginających na odcinku rygla pomiędzy stężeniami:

Kombinacja 101

Obliczenie momentu krytycznego:

NCCI

$$\psi = -0,487$$

SN003

$$q = -9,56 \text{ kN/m} \quad \mu = \frac{qL^2}{8M} = -0,123$$

$$\Rightarrow C_1 = 2,75$$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr,LT}^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr,LT}^2 GI_t}{\pi^2 EI_z}}$$

NCCI

$$M_{cr} = 2,75 \times \frac{\pi^2 \times 210000 \times 2141 \times 10^4}{6000^2 \times 10^6} \sqrt{\frac{1249400 \cdot 10^6}{2141 \cdot 10^4} + \frac{6000^2 \times 80770 \times 89,29 \cdot 10^4}{\pi^2 \times 210000 \times 2141 \cdot 10^4}}$$

$$M_{cr} = 1159 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2195 \cdot 10^3 \times 275}{1159 \cdot 10^6}} = 0,7215$$


$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

gdzie $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,40$ i $\beta = 0,75$

$$\phi_{LT} = 0,5 \times \left[1 + 0,49 \times (0,7215 - 0,4) + 0,75 \times 0,7215^2 \right] = 0,7740$$

PN-EN
1993-1-1 §
6.3.2.3 (1)

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,7740 + \sqrt{0,7740^2 - 0,75 \times 0,7215^2}} = 0,8125$$

	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	23 z 28
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>

$$k_c = 0,91$$

$$f = 1 - 0,5 \times (1 - k_c) \left[1 - 2(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right]$$

$$f = 1 - 0,5 \times (1 - 0,91) \times \left[1 - 2 \times (0,7215 - 0,8)^2 \right] = 0,9556 < 1$$

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} = \frac{0,8125}{0,9556} = 0,8503 < 1$$

PN-EN
1993-1-1 §
6.3.2.3 (2)

Tablica 6.6

Kombinacja 101 $N_{Ed} = 136$ kN ściskanie

$$M_{y,Ed} = 349,10 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0$$

Przekrój klasy 1 $\Rightarrow \Delta M_{y,Ed} = 0$ et $\Delta M_{z,Ed} = 0$

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

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} \leq 1$$

PN-EN
1993-1-1 §
6.3.3

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{136}{5082}}{1 - 0,8011 \times \frac{136}{5082}} = 0,9946$$


$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{136}{1233}}{1 - 0,3063 \times \frac{136}{1233}} = 0,9208$$

PN-EN
1993-1-1
Załącznik A

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} = \frac{2194}{1928} = 1,138 < 1,50$$

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} = \frac{335,9}{214,1} = 1,569 > 1,50 \Rightarrow w_z = 1,5$$

PN-EN
1993-1-1
Załącznik A

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	24 z 28	
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>			
	Dot. Eurokodu				
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>	
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>	

$$M_{cr,0} = C_1 \frac{\pi^2 EI_Z}{L_{cr,LT}^2} \sqrt{\frac{I_W}{I_Z} + \frac{L_{cr,LT}^2 GI_t}{\pi^2 EI_Z}}$$

NCCI

SN003

$M_{cr,0}$ jest momentem krytycznym do obliczania $\bar{\lambda}_0$ przy czystym zginaniu jak wyszczególniono w Załączniku A.

$$\Rightarrow C_1 = 1$$

$$M_{cr,0} = 1 \times \frac{\pi^2 \times 210000 \times 2141.10^4}{6000^2 \times 10^6} \sqrt{\frac{1249400.10^6}{2141.10^4} + \frac{6000^2 \times 80770 \times 89,29.10^4}{\pi^2 \times 210000 \times 2141.10^4}}$$

$$M_{cr,0} = 421,5 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_0 = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr,0}}} = \sqrt{\frac{2195.10^3 \times 275}{421,5.10^6}} = 1,196$$

PN-EN

1993-1-1

Załącznik A

$$\bar{\lambda}_{0lim} = 0,2 \sqrt{C_1^4 \sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,TF}}\right)}} \quad \text{gdzie } C_1 = 2,75$$

gdzie $N_{cr,TF} = N_{cr,T}$ (przekrój podwójnie symetryczny)

$$\bar{\lambda}_{0lim} = 0,2 \sqrt{2,75^4 \sqrt{\left(1 - \frac{136}{1233}\right) \left(1 - \frac{136}{3305}\right)}} = 0,3187$$

$$\bar{\lambda}_0 = 1,196 > \bar{\lambda}_{0lim} = 0,3187$$

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}$$


PN-EN

1993-1-1

Załącznik A

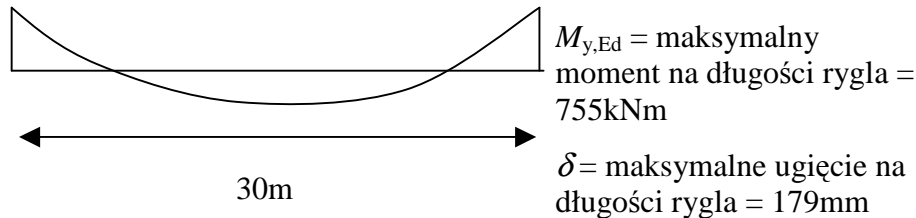
$$\text{gdzie } \varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A}{W_{el,y}} = \frac{349,10.10^6}{136000} \times \frac{11550}{1928 \times 10^3} = 15,38 \text{ (klasa 1)}$$

$$\text{i} \quad a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} = 1 - \frac{89,29}{48200} = 0,9981$$

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	25 z 28
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>

Obliczanie współczynnika $C_{my,0}$

Wykres momentu na długości ryglu:



$$C_{my,0} = 1 + \left[\frac{\pi^2 EI_y |\delta_x|}{L^2 |M_{y,Ed}|} - 1 \right] \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}$$

$$C_{my,0} = 1 + \left[\frac{\pi^2 \times 210000 \times 48200 \times 10^4 \times |179|}{30000^2 \times |755| \times 10^6} - 1 \right] \frac{136}{5082} = 0,9803$$

Obliczenie współczynników C_{my} i $C_{m,LT}$:

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}$$


$$C_{my} = 0,9803 + (1 - 0,9803) \frac{\sqrt{15,38 \times 0,9982}}{1 + \sqrt{15,38 \times 0,9982}} = 0,996$$

$$C_{m,LT} = C_{my}^2 \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}} \geq 1$$

$$C_{m,LT} = 0,996^2 \times \frac{0,9981}{\sqrt{\left(1 - \frac{136}{1233}\right) \left(1 - \frac{136}{3305}\right)}} = 1,072 > 1$$

PN-EN
1993-1-1
Załącznik A
Tablica A2

PN-EN
1993-1-1
Załącznik A

	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	26 z 28
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>

Obliczenie współczynników C_{yy} i C_{zy}

PN-EN
1993-1-1
Załącznik A

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{\max} - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{\max}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{136000}{11550 \times 275 / 1} = 0,0428$$

$$M_{z,Ed} = 0 \Rightarrow b_{LT} = 0 \text{ i } d_{LT} = 0 \quad \bar{\lambda}_{\max} = \bar{\lambda}_z = 1,605$$

$$C_{yy} = 1 + (1,138 - 1) \left[\left(2 - \frac{1,6}{1,138} \times 0,996^2 \times 1,605 - \frac{1,6}{1,138} \times 0,996^2 \times 1,605^2 \right) \times 0,0428 \right]$$

$$C_{yy} = 0,9774$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{14}{w_y^5} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{\max}^2 \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}}$$

$$C_{zy} = 1 + (1,138 - 1) \left[\left(2 - \frac{14}{1,138^5} \times 0,996^2 \times 1,605^2 \right) \times 0,0428 \right] = 0,9011$$

Obliczenie współczynników k_{yy} i k_{zy} :


PN-EN
1993-1-1
Załącznik A

$$k_{yy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{yy}}$$

$$k_{yy} = 0,996 \times 1,072 \times \frac{0,9946}{1 - \frac{136}{5082}} \times \frac{1}{0,9774} = 1,116$$

$$k_{zy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{zy}} 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

$$k_{zy} = 0,996 \times 1,072 \times \frac{0,9208}{1 - \frac{136}{5082}} \times \frac{1}{0,9011} \times 0,6 \times \sqrt{\frac{1,138}{1,50}} = 0,5859$$

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	<i>27 z 28</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>

Sprawdzanie nośności z formułami interakcyjnymi

PN-EN

1993-1-1 §

6.3.3

(6.61)

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{136000}{0,8011 \times \frac{11550 \times 275}{1}} + 1,116 \times \frac{349,1 \cdot 10^6}{0,8503 \times \frac{2194 \cdot 10^3 \times 275}{1}} = 0,8131 < 1 \text{ OK}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

(6.62)

$$\frac{136000}{0,3063 \times \frac{11550 \times 275}{1}} + 0,5859 \times \frac{349,1 \cdot 10^6}{0,8503 \times \frac{2194 \cdot 10^3 \times 275}{1}} = 0,5385 < 1 \text{ OK}$$

8 Sprawdzanie skosów


Dla sprawdzania skosu, ściskana część przekroju poprzecznego jest rozpatrywana indywidualnie, przyjmując jej długość wyboczeniową względem osi zz równą 3,00m (odległość między wierzchołkiem słupa, a pierwszym stężeniem).

Maksymalne siły i momenty w skosie:

$$N_{Ed} = 139,2 \quad \text{kN}$$

$$V_{Ed} = 151,3 \quad \text{kN}$$

$$M_{Ed} = 755 \quad \text{kNm}$$

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	28 z 28
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>

Charakterystyki dla całego przekroju:

Obliczenia sprężystych charakterystyk przekroju są w tym przypadku przybliżone, ze względu na pominięcie pasa pośredniego.

Pole przekroju

$$A = 160,80 \text{ cm}^2$$

Moment bezwładności względem osi yy

$$I_y = 230520 \text{ cm}^4$$

Moment bezwładności względem osi zz

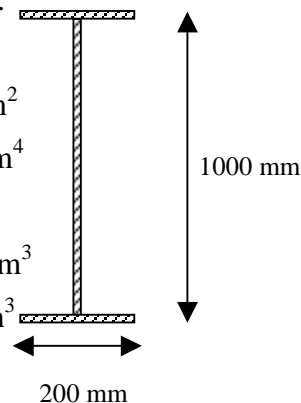
$$I_z = 2141 \text{ cm}^4$$

Sprężysty wskaźnik wytrzymałości /yy

$$W_{el,y} = 4610 \text{ cm}^3$$

Sprężysty wskaźnik wytrzymałości /zz

$$W_{el,z} = 214 \text{ cm}^3$$



Charakterystyki części ściskanej przekroju:

Przekrój w środku rozpiętości skosu zawiera 1/6 wysokości środnika

Pole przekroju

$$A = 44 \text{ cm}^2$$

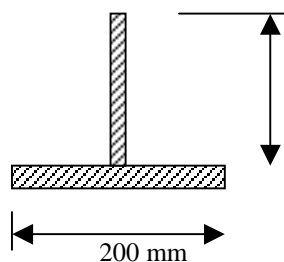
Moment bezwładności /yy

$$I_y = 554 \text{ cm}^4$$

Moment bezwładności /zz

$$I_z = 1068 \text{ cm}^4$$

$$\Rightarrow i_z = \sqrt{\frac{1068}{44}} = 4,93 \text{ cm}$$




$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{fz}}{i_z \lambda_1} = \frac{3000}{49,30 \times 86,39} = 0,7044$$

Wyboczenie spawanego przekroju dwuteowego o stosunku $h/b > 2$:

$$\Rightarrow \text{krzywa d} \Rightarrow \alpha = 0,76$$

$$\phi_z = 0,5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \times \left[1 + 0,76 \times (0,7044 - 0,2) + 0,7044^2 \right] = 0,9397$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,9397 + \sqrt{0,9397^2 - 0,7044^2}} = 0,640$$

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX029a-PL-EU</i>	Strona	29 z 28
	Tytuł	<i>Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Valérie Lemaire</i>	Data	<i>April 2006</i>
	Sprawdził	<i>Alain Bureau</i>	Data	<i>April 2006</i>

Ściskanie w dolnym pasie:

$$N_{Ed,f} = 139,24 \times \frac{4400}{16080} + \frac{755000 \times 1000}{4610 \cdot 10^3 \times 1000} \times 4400 = 760 \text{ kN}$$

Sprawdzenie nośności pasa dolnego z uwzględnieniem stateczności:

$$\frac{N_{Ed,f}}{\chi_z N_{Rk}} = \frac{760000}{0,640 \times 4400 \times 275} = 0,981 < 1 \quad \text{OK}$$

Protokół jakości

TYTUŁ ZASOBU	<i>Przykład: Analiza sprzężysta jednonawowej ramy portalowej</i>		
Odniesienie(a)	T2703		
ORYGINAŁ DOKUMENTU			
	Nazwisko	Instytucja	Data
Stworzony przez	Valérie LEMAIRE	CTICM	25/10/2005
Zawartość techniczna sprawdzona przez	Alain BUREAU	CTICM	26/10/2005
Zawartość redakcyjna sprawdzona przez			
Techniczna zawartość zaaprobowana przez następujących partnerów STALE:			
1. Wielka Brytania	G W Owens	SCI	10/04/06
2. Francja	A Bureau	CTICM	10/04/06
3. Szwecja	B Uppfeldt	SBI	10/04/06
4. Niemcy	C Muller	RWTH	10/04/06
5. Hiszpania	J Chica	Labein	10/04/06
Zasób zatwierdzony przez Technicznego Koordynatora	G W Owens	SCI	18/09/06
DOKUMENT TŁUMACZONY			
To Tłumaczenie wykonane i sprawdzone przez:	Zdzisław Pisarek		
Przetłumaczony zasób zatwierdzony przez:	B. Stankiewicz	PRz	

Informacje ramowe

Tytuł*	Przykład: Analiza sprężysta jednonawowej ramy portalowej	
Seria		
Opis*	Jednonawowa rama portalowa wykonana z kształtowników walcowanych jest zaprojektowana według PN-EN 1993-1-1. Przykład ten zawiera sprężystą analizę rami według teorii pierwszego rzędu, oraz wszystkie sprawdzenia elementów przy użyciu kombinacji obciążeń stanu granicznego nośności.	
Poziom Dostępu*	Ekspertyza	Praktyka
Identyfikator*	Nazwa pliku	D:\ACCESS_STEEL_PL\SX\SX029a-PL-EU.doc
Format		Microsoft Word 9.0; 30 Stron; 1370 kb;
Kategoria*	Typ zasobu	Przykład obliczeniowy
	Punkt widzenia	Inżynier
Przedmiot*	Obszar zastosowań(a)	Budynki jednokondygnacyjne
Daty	Data utworzona	11/04/2009
	Data ostatniej modyfikacji	10/04/2006
	Data sprawdzenia	10/04/2006
	Ważny Od	
	Ważny Do	
Język(i)*		Polski
Kontakty	Autor	Valérie Lemaire, CTICM
	Sprawdzony przez	Alain Bureau, CTICM
	Zatwierdzony przez	
	Redaktor	
	Ostatnio modyfikowany przez	
Słowa kluczowe*	ramy portalowe, analiza sprężysta, projektowanie konstrukcji	
Zobacz Też	Odniesienie do Eurokodu	PN-EN 1993-1-1
	Przykład(y) obliczeniowe	
	Komentarz	
	Dyskusja	
	Inny	
Omówienie	Narodowa Przydatność	Europe
Szczególne Instrukcje		