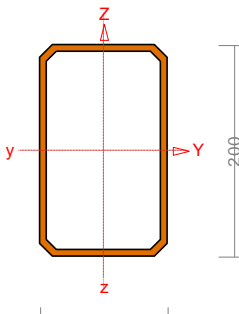
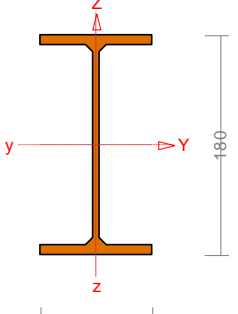
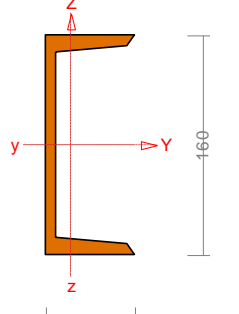
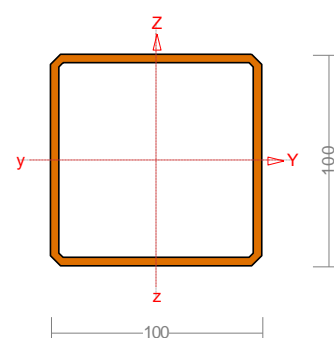


OBLICZENIA STATYCZNE

Nazwa pliku: KONSTRUKCJA BUDYNKU MAGAZYNOWEGO1.rm3

RM_3d v. 8.41 licencja nr 35771

Przekroje:

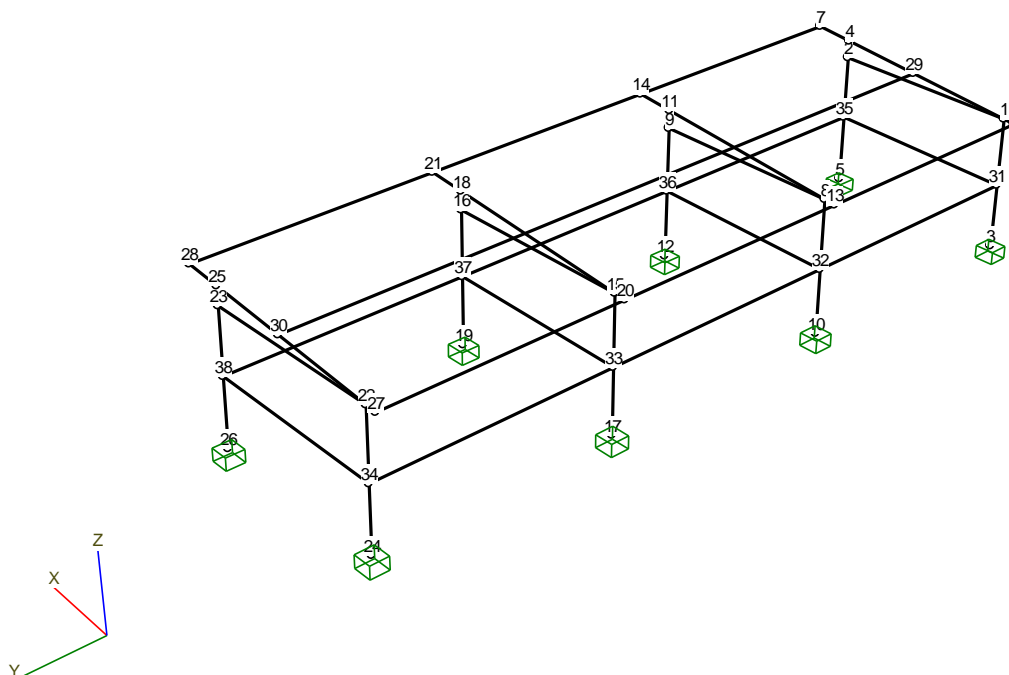
1 - H 200x120x 6.3		2 - I 180 PE		3 - U 160	
					
Materiał:	S 235	Materiał:	S 235	Materiał:	S 235
A [cm ²]	37,70	A [cm ²]	23,90	A [cm ²]	24,00
Jy [cm ⁴]	2010,00	Jy [cm ⁴]	1320,00	Jy [cm ⁴]	925,00
Jz [cm ⁴]	910,00	Jz [cm ⁴]	101,00	Jz [cm ⁴]	85,30
Dyz [cm ⁴]	0,00	Dyz [cm ⁴]	0,00	Dyz [cm ⁴]	0,00
α [Deg]	0,00	α [Deg]	0,00	α [Deg]	0,00
Iy [cm ⁴]	2010,00	Iy [cm ⁴]	1320,00	Iy [cm ⁴]	925,00
Iz [cm ⁴]	910,00	Iz [cm ⁴]	101,00	Iz [cm ⁴]	85,30
Jt [cm ⁴]	2029,10	Jt [cm ⁴]	4,75	Jt [cm ⁴]	7,18
Jω [cm ⁴]	2634,94	Jω [cm ⁴]	7431,21	Jω [cm ⁴]	3259,32
iy [cm]	7,30	iy [cm]	7,43	iy [cm]	6,21
iz [cm]	4,91	iz [cm]	2,06	iz [cm]	1,89
is [cm]	8,80	is [cm]	7,71	is [cm]	7,46
m [kg/m]	29,59	m [kg/m]	18,76	m [kg/m]	18,84
4 - H 100x100x 4.0					
					
Materiał:	S 235	Materiał:		Materiał:	
A [cm ²]	15,20	A [cm ²]		A [cm ²]	
Jy [cm ⁴]	233,00	Jy [cm ⁴]		Jy [cm ⁴]	
Jz [cm ⁴]	233,00	Jz [cm ⁴]		Jz [cm ⁴]	
Dyz [cm ⁴]	0,00	Dyz [cm ⁴]		Dyz [cm ⁴]	
α [Deg]	0,00	α [Deg]		α [Deg]	
Iy [cm ⁴]	233,00	Iy [cm ⁴]		Iy [cm ⁴]	
Iz [cm ⁴]	233,00	Iz [cm ⁴]		Iz [cm ⁴]	

Jt [cm ⁴]	357,64	Jt [cm ⁴]		Jt [cm ⁴]	
J _ω [cm ⁴]	0,32	J _ω [cm ⁴]		J _ω [cm ⁴]	
iy [cm]	3,92	iy [cm]		iy [cm]	
iz [cm]	3,92	iz [cm]		iz [cm]	
is [cm]	5,54	is [cm]		is [cm]	
m [kg/m]	11,93	m [kg/m]		m [kg/m]	

Materialy:

Nr:	Rodzaj:	Nazwa:	E:	G:	v:	α _T :	ρ:	Ro:
			[GPa]	[GPa]	[-]	[1/K]	[kg/m ³]	[MPa]
1	Stal 1993	S 235	210	81	0,3	0	7850	235

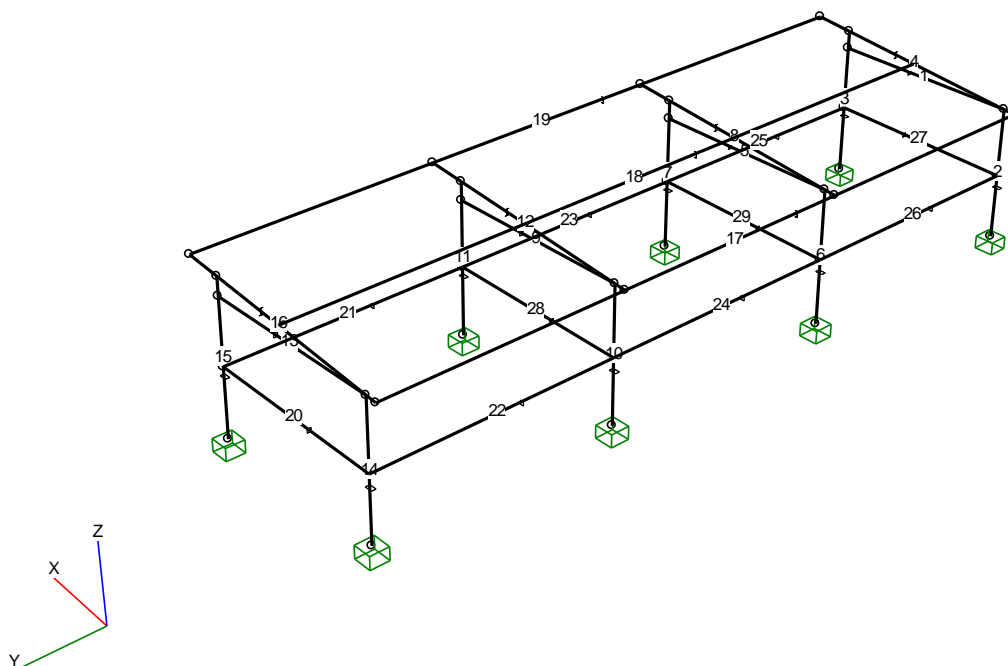
Schemat:

**Węzły:**

Nr:	X[m]:	Y[m]:	Z[m]:	Nr:	X[m]:	Y[m]:	Z[m]:
Pozostałe							
1	0,300	0,000	3,500	20	0,000	13,000	3,472
2	5,300	0,000	3,500	21	6,300	13,000	4,064
3	0,300	0,000	0,000	22	0,300	19,500	3,500
4	5,300	0,000	3,970	23	5,300	19,500	3,500
5	5,300	0,000	0,000	24	0,300	19,500	0,000
6	0,000	0,000	3,472	25	5,300	19,500	3,970
7	6,300	0,000	4,064	26	5,300	19,500	0,000
8	0,300	6,500	3,500	27	0,000	19,500	3,472
9	5,300	6,500	3,500	28	6,300	19,500	4,064
10	0,300	6,500	0,000	29	3,150	0,000	3,768
11	5,300	6,500	3,970	30	3,150	19,500	3,768
12	5,300	6,500	0,000	31	0,300	0,000	1,700
13	0,000	6,500	3,472	32	0,300	6,500	1,700
14	6,300	6,500	4,064	33	0,300	13,000	1,700
15	0,300	13,000	3,500	34	0,300	19,500	1,700
16	5,300	13,000	3,500	35	5,300	0,000	1,800
17	0,300	13,000	0,000	36	5,300	6,500	1,800
18	5,300	13,000	3,970	37	5,300	13,000	1,800
19	5,300	13,000	0,000	38	5,300	19,500	1,800

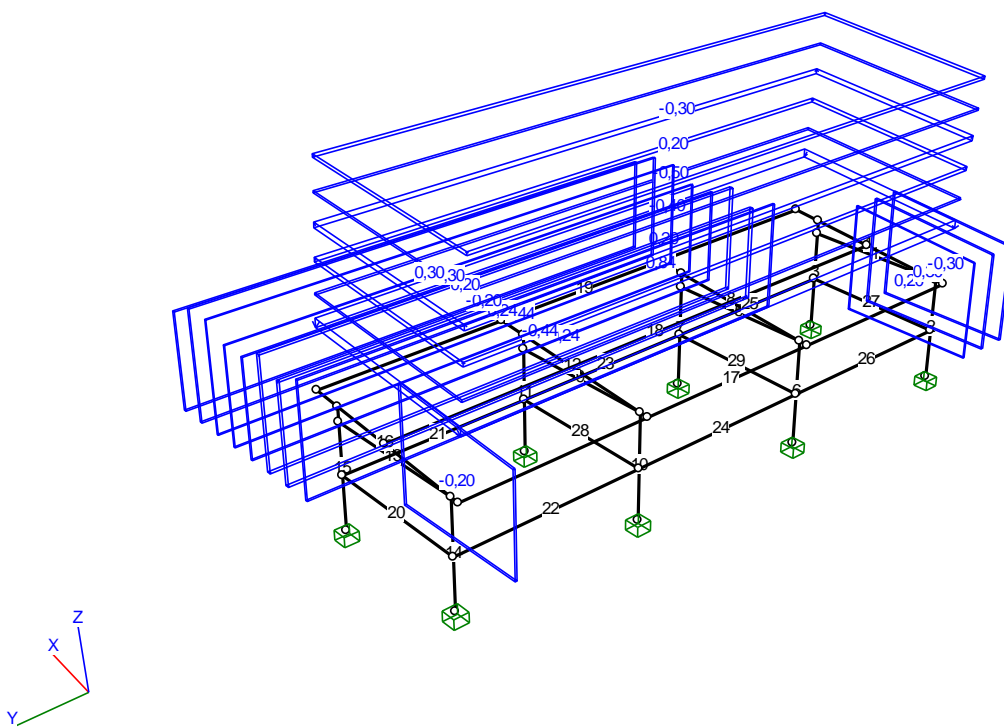
Podpory:

Węzeł:	Orientacja [deg]			Obrót			Przesuw		Wymuszenia [m][deg] i podatności [m/kN] [rad/kNm]
	α	ϕ	ψ	x	y	z	x	y	
3	0,0	0,0	0,0						
5	0,0	0,0	0,0						
10	0,0	0,0	0,0						
12	0,0	0,0	0,0						
17	0,0	0,0	0,0						
19	0,0	0,0	0,0						
24	0,0	0,0	0,0						
26	0,0	0,0	0,0						

**Pręty:**

Nr:	Węzły:		Mocowania	Podatności	Mimośrodek Imperfekcje	Orient. [deg]	L[m]:	F [m]:	Przekrój:
	A:	B:							
0									
1	1	2	A:yz B:yz			0,0	5,000		4 H 100x100x 4.0
			P.P.: Sztywne						
5	8	9	A:yz B:yz			0,0	5,000		4 H 100x100x 4.0
			P.P.: Sztywne						
9	15	16	A:yz B:yz			0,0	5,000		4 H 100x100x 4.0
			P.P.: Sztywne						
13	22	23	A:yz B:yz			0,0	5,000		4 H 100x100x 4.0
			P.P.: Sztywne						
1									
2	1	3	P.P.: Sztywne			0,0	3,500		1 H 200x120x 6.3
6	8	10	P.P.: Sztywne			0,0	3,500		1 H 200x120x 6.3
10	15	17	P.P.: Sztywne			0,0	3,500		1 H 200x120x 6.3
14	22	24	P.P.: Sztywne			0,0	3,500		1 H 200x120x 6.3
2									
3	4	5	P.P.: Sztywne			0,0	3,970		1 H 200x120x 6.3
7	11	12	P.P.: Sztywne			0,0	3,970		1 H 200x120x 6.3
11	18	19	P.P.: Sztywne			0,0	3,970		1 H 200x120x 6.3
15	25	26	P.P.: Sztywne			0,0	3,970		1 H 200x120x 6.3
3									
4	6	7	P.P.: Sztywne			0,0	6,328		2 I 180 PE
8	13	14	P.P.: Sztywne			0,0	6,328		2 I 180 PE
12	20	21	P.P.: Sztywne			0,0	6,328		2 I 180 PE
16	27	28	P.P.: Sztywne			0,0	6,328		2 I 180 PE
4									
17	27	6	P.P.: Sztywne		Wyr. Dół	0,0	19,500		3 U 160
18	30	29	P.P.: Sztywne		Wyr. Dół	0,0	19,500		3 U 160
19	28	7	P.P.: Sztywne		Wyr. Dół	0,0	19,500		3 U 160
Pozycja nr 2									
20	38	34	P.P.: Sztywne			0,0	5,001		4 H 100x100x 4.0
21	38	37	P.P.: Sztywne			0,0	6,500		4 H 100x100x 4.0
22	34	33	P.P.: Sztywne			0,0	6,500		4 H 100x100x 4.0

Oznaczenie	Materiał	Długości [m]:	Masa [t]:
H 100x100x 4.0	1 - S 235	8x5,00 + 6x6,50 = 79,00	0,943
H 200x120x 6.3	1 - S 235	4x3,50 + 4x3,97 = 29,88	0,884
I 180 PE	1 - S 235	4x6,33 = 25,31	0,475
U 160	1 - S 235	3x19,50 = 58,50	1,102
Masa całkowita ustroju			3,404
Materiał		Jednostka miary	Ilość:
Stal 1993: 1 - S 235		t	3,404



Nr pręta	Rodzaj:	Wartości char.		Współczynniki			Orient. [deg]	Kier.: [deg]	Położenie		Nazwa:	
		Pa:	Pb:	$\gamma f1$:	$\gamma f2$:	ψd :			xa:	xb:		
CW: Ciężar własny - Stałe $\gamma_1=1,4/1$												
St: Stałe - Stałe												
	Powierzch.	0,20	0,20	1,35	1,00	1,00	Pionow e				Powierzchniowe	
C1: c1 - Zmienne (Znaczenie: 1) $\psi_0=0,6$ $\psi_1=0,2$ $\psi_2=0$												
	Powierzch.	0,20	0,20	1,50		1,00					Powierzchniowe	
	Powierzch.	-0,20	-0,20	1,50		1,00					Powierzchniowe	
	Powierzch.	0,20	0,20	1,50		1,00					Powierzchniowe	

	Powierzch.	-0,20	-0,20	1,50		1,00					Powierzchniowe	
	Powierzch.	0,20	0,20	1,50		1,00					Powierzchniowe	
C2: c2 - Zmienne (Znaczenie: 1) $\psi_0=0,6$ $\psi_1=0,2$ $\psi_2=0$												
	Powierzch.	-0,30	-0,30	1,50		1,00					Powierzchniowe	
	Powierzch.	0,30	0,30	1,50		1,00					Powierzchniowe	
	Powierzch.	-0,30	-0,30	1,50		1,00					Powierzchniowe	
	Powierzch.	0,30	0,30	1,50		1,00					Powierzchniowe	
	Powierzch.	-0,30	-0,30	1,50		1,00					Powierzchniowe	
S1: s1 - Zmienne (Znaczenie: 1) $\psi_0=0,7$ $\psi_1=0,5$ $\psi_2=0,2$												
	Powierzch.	0,84	0,84	1,50		1,00	Pionowe				Powierzchniowe	
W1: w1 - Zmienne (Znaczenie: 1) $\psi_0=0,6$ $\psi_1=0,2$ $\psi_2=0$												
	Powierzch.	-0,40	-0,40	1,50		1,00					Powierzchniowe	
	Powierzch.	-0,24	-0,24	1,50		1,00					Powierzchniowe	
	Powierzch.	-0,44	-0,44	1,50		1,00					Powierzchniowe	
W2: w2 - Zmienne (Znaczenie: 1) $\psi_0=0,6$ $\psi_1=0,2$ $\psi_2=0$												
	Powierzch.	-0,50	-0,50	1,50		1,00					Powierzchniowe	
	Powierzch.	0,44	0,44	1,50		1,00					Powierzchniowe	
	Powierzch.	0,24	0,24	1,50		1,00					Powierzchniowe	

Wyniki Obliczeń wg PN-EN**Teoria I rzędu****Obwiednie sił**

RM_3d v. 8.41 licencja nr 35771

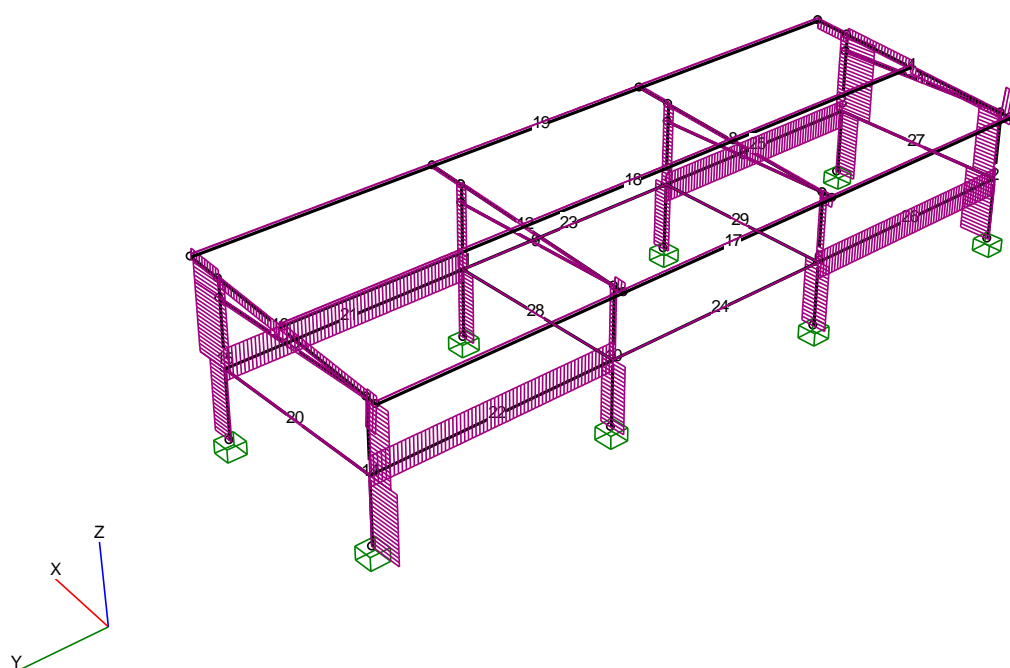
Kombinacje Obciążeń:

Nr:	Zawsze:	Ewentualnie:
1	CW+St	C1+C2+S1+W1+W2

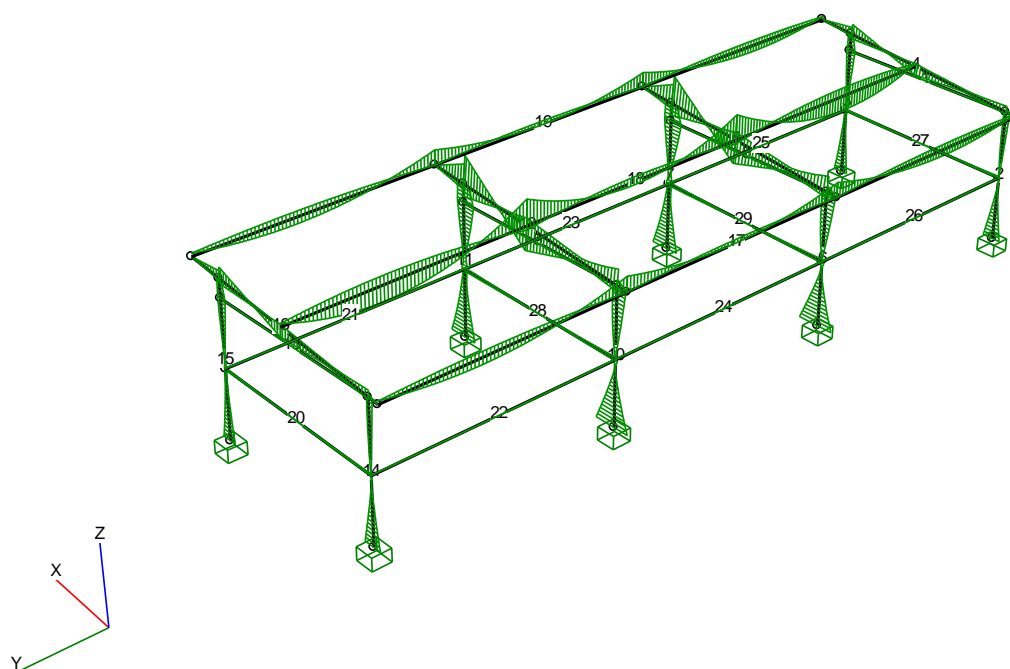
Relacje Grup Obciążeń:

Grupa obciążeń:	Relacje:
C1 - c1	Występuje tylko z: W1W2. Nie występuje z: C2.
C2 - c2	Występuje tylko z: W1W2. Nie występuje z: C1.
W1 - w1	Nie występuje z: W2.
W2 - w2	Nie występuje z: W1.

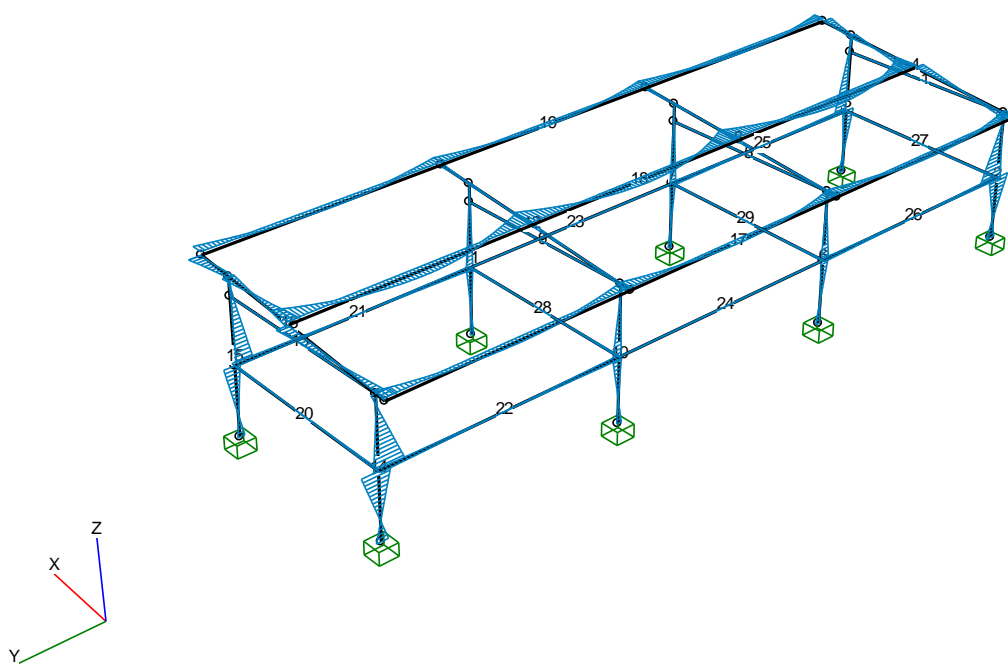
Mx



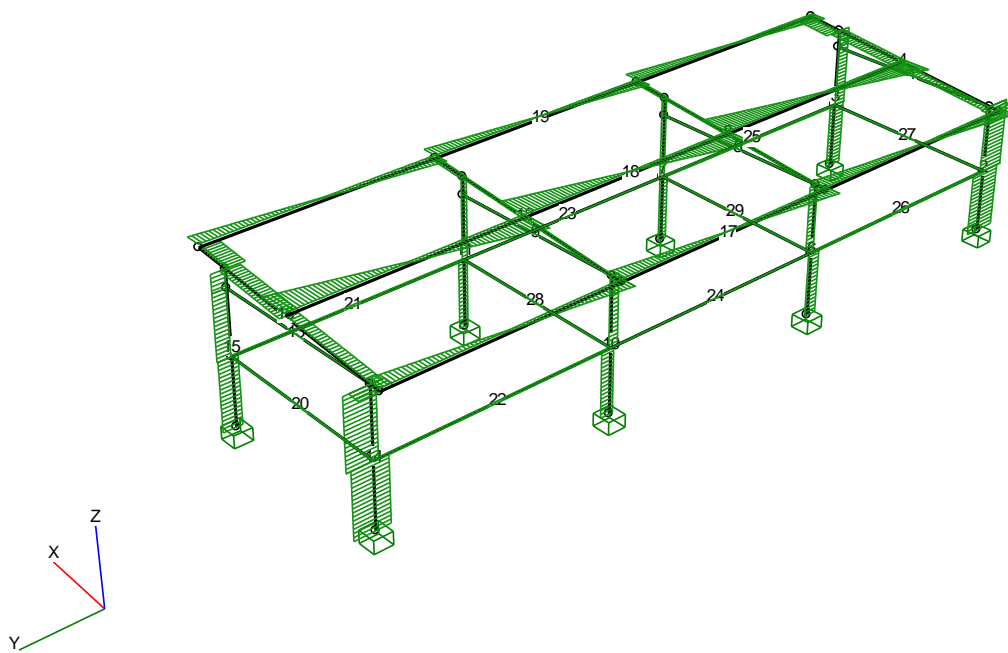
My



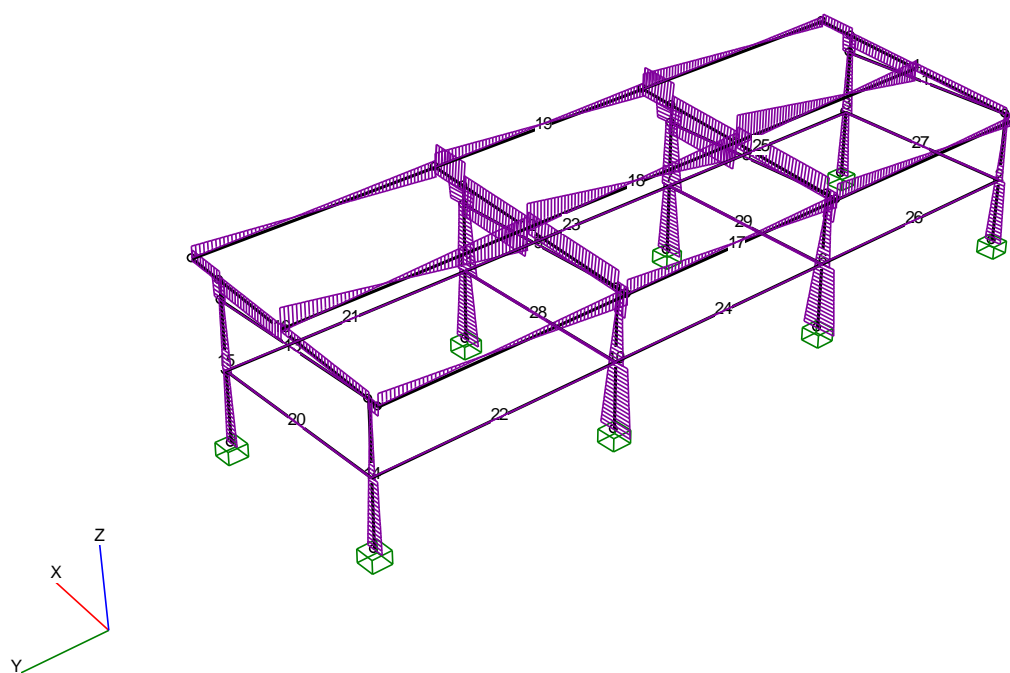
Mz



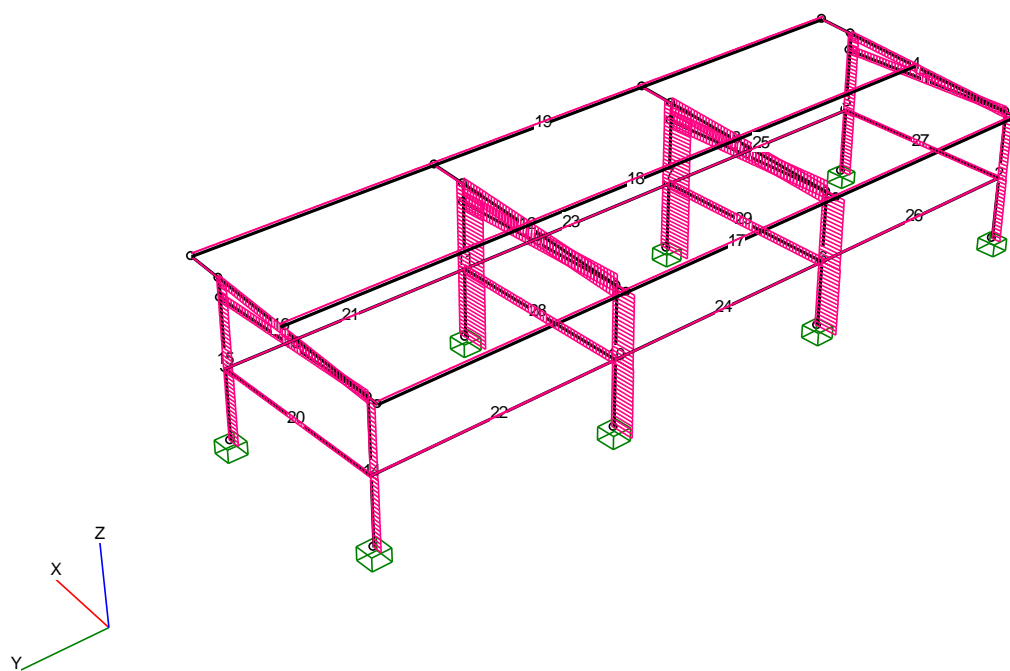
Ty



Tz



N

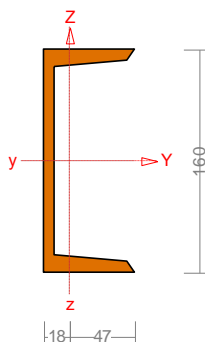


Pręt nr 18

Wyniki wymiarowania stali wg PN-EN 1993 (Stal1993_3d v. 1.71 licencja nr 35771)

Zadanie: KONSTRUKCJA HALI1.rm3

Przekrój: 3 - U 160



Wymiary przekroju:

$h=160,0$ $s=65,0$ $g=7,5$ $t=10,5$ $r=10,5$ $e_y=18,4$.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$I_{yg}=925,0$ $I_{zg}=85,3$ $A=24,00$ $i_y=6,2$ $i_z=1,9$ $I_w=3259,3$
 $I_t=7,2$ $y_s=-3,7$ $i_s=7,5$ $r_z=9,4$ $b_y=-8,4$.

Materiał: **S 235**. Granica plastyczności $f_y=235$ MPa oraz wytrzymałość na rozciąganie $f_u=360$ dla $g=7,5$.

Długości wyboczeniowe pręta:

Przęsło Yc 3 (13,000;19,500)

Przyjęto:

$\kappa_a = 0,749$ $\kappa_b = 0,998$ węzły przesuwne $\Rightarrow \mu = 3,278$ dla $l_0 = 6,500$

$$l_w = 3,278 \times 6,500 = 21,307 \text{ m}$$

Przęsło Zc 3 (13,000;19,500)

Przyjęto:

$\kappa_a = 0,267$ $\kappa_b = 0,293$ węzły nieprzesuwne $\Rightarrow \mu = 0,584$ dla $l_0 = 6,500$

$$l_w = 0,584 \times 6,500 = 3,796 \text{ m}$$

Przęsło ω 3 (13,000;19,500)

Dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_\omega = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{\omega\omega} = 6,500$ m. Długość wyboczeniowa $l_\omega = 6,500$ m.

Siły krytyczne:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{wy}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 925,0}{21,307^2} \times 10^{-2} = 42,23 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l_{wz}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 85,3}{3,796^2} \times 10^{-2} = 122,69 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EI_{\square}}{l_{\square}^2} + GI_T \right) = \frac{1}{7,46^2} \times \left(\frac{3,1416^2 \times 210 \times 3259,3}{6,500^2} \times 10^{-2} + 81 \times 7,18 \times 10^2 \right) = 1073,35 \text{ kN}$$

$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,y} + N_{cr,T} - \sqrt{(N_{cr,y} + N_{cr,T})^2 - 4 N_{cr,y} N_{cr,T} (1 - \mu y_s^2 / i_s^2)}}{2(1 - \mu y_s^2 / i_s^2)} =$$

$$\frac{42,23 + 1073,35 - \sqrt{(42,23 + 1073,35)^2 - 4 \times 42,23 \times 1073,35 \times (1 - 3,278 \times -3,68^2 / 7,46^2)}}{2 \times (1 - 3,278 \times -3,7^2 / 7,46^2)} = 42 \text{ kN}$$

Zwichrzenie:

Przęsło nr: 3 (13,000;19,500)

Moment krytyczny zwichrzenia ceownika walcowanego zginanego w płaszczyźnie środka wyznaczono, jak dla dwuteownika o tych samych wymiarach, dla którego

$$N_{cr,z} = 69,83 \text{ kN}, \quad N_{cr,T} = 1448,37 \text{ kN}.$$

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia $a_o = 0,00 \text{ cm}$. Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły $a_s = 0,00 \text{ cm}$. Przyjęto następujące wartości parametrów zwichrzenia: $A_1 = 0,000$, $A_2 = 0,000$, $B = 0,000$.

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,000 \times 0,00 + 0,000 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_{cr,z} + \sqrt{(A_o N_{cr,z})^2 + B^2 i_s^2 N_{cr,z} N_{cr,T}} =$$

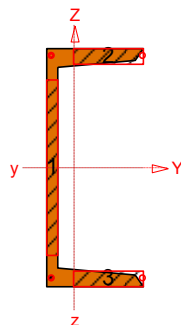
$$0,000 \times 69,83 + \sqrt{(0,000 \times 69,83)^2 + 0,000^2 \times 0,064^2 \times 69,83 \times 1448,37} = 0 \text{ kNm}$$

Stan graniczny nośności.

$x_a = 19,500$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 3, 3, 3. Obciążenia: CW+1,35·0,85·St+1,5·W2 (b)

Przyjęto następujące współczynniki częściowe γ_M :

$$\gamma_{M0} = 1; \quad \gamma_{M1} = 1; \quad \gamma_{M2} = 1,1.$$



Klasa przekroju:

$$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y} = \sqrt{235 / 235} = 1,000$$

Nr:	c [mm]	t [mm]	α	ψ	k_{σ}	$(c/t)_1$	$(c/t)_2$	$(c/t)_3$	c/t	Klasa
1	118,0	7,5	1,000	0,961	-	33,000	38,000	42,547	15,733	1
2	47,0	10,5	0,000	0,000	0	INF	INF	INF	4,476	
3	47,0	10,5	1,000	-65,126	72854,29 6	9,000	10,000	5668,222	4,476	1

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **1**.

Nośność elementów rozciąganych:

$x_a = 19,500$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 3, 3, 3. Obciążenia: CW+1,35·0,85·St+1,5·W2 (b)

Siła osiowa: $N_{Ed} = 0,12 \text{ kN}$

Pole powierzchni przekroju: $A = 24,00 \text{ cm}^2$

Pole powierzchni otworów: $A_o = 0,00 \text{ cm}^2$

Pole powierzchni netto: $A_{net} = 24,00 \text{ cm}^2$

Nośność przekroju na rozciąganie:

- nośność plastyczna

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{24,00 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 564 \text{ kN} \quad (6.6)$$

- nośność graniczna

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 24,00 \times 360}{1,1} \times 10^{-1} = 706,91 \text{ kN} \quad (6.7)$$

Pręt posiada zdolność do odkształceń plastycznych ($N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$).

Nośność na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = 564 \text{ kN}$$

Warunek nośności (6.5):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{0,12}{564} = 0,000 < 1 \quad (6.5)$$

Nośność na ściskanie:

$x_a = 19,500$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 3, 3, 3. Obciążenia: 1,35·0,85·(CW+St)+1,5·S1 (b)

Klasa przekroju **1**.

Siła osiowa: $N_{Ed} = -0,26 \text{ kN}$

Pole powierzchni przekroju: $A = 24,00 \text{ cm}^2$

Pole powierzchni przekroju efektywnego: $A_{eff} = 24,00 \text{ cm}^2$

Przesunięcie środka ciężkości: $e_{Ny} = 0,00$; $e_{Nz} = 0,00 \text{ cm}$.

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{24,00 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 564 \text{ kN} \quad (6.10)$$

Warunek nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{0,26}{564} = \mathbf{0,000 < 1} \quad (6.9)$$

Stateczność elementu ściskanego:

Wyboczenie dla osi Y (krzywa "c")	Wyboczenie dla osi Z (krzywa "c")	Wyboczenie giętno-skrętne (krzywa "c")
$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{24 \times 235}{42,23 \times 10}} = 3,655$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (3,655 - 0,2) + 3,655^2] = 8,024$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{8,024 + \sqrt{8,024^2 - 3,655^2}} = 0,0659$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{24 \times 235}{122,69 \times 10}} = 2,144$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (2,144 - 0,2) + 2,144^2] = 3,275$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{3,275 + \sqrt{3,275^2 - 2,144^2}} = 0,174$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,TF}}} = \sqrt{\frac{24 \times 235}{42 \times 10}} = 3,665$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (3,665 - 0,2) + 3,665^2] = 8,063$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{8,063 + \sqrt{8,063^2 - 3,665^2}} = 0,0656$
przyjęto $\chi = 0,066 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,174 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,0656 \leq 1$

Przyjęto najmniejszą wartość współczynnika $\chi = 0,0656$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,066 \times 24,00 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 36,99 \text{ kN} \quad (6.47)$$

Warunek stateczności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{0,26}{36,99} = \mathbf{0,007 < 1} \quad (6.46)$$

Nośność przekroju na skręcanie:

$x_a = 19,500$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 3, 3, 3. Obciążenia: CW+1,35·0,85·St+1,5·W2 (b)

Naprężenia przy skręcaniu swobodnym:

$$W_t = \frac{J_t}{t_{max}} = \frac{7,18}{1,02} = 7,04 \text{ cm}^3$$

$$T_{Rd} = \frac{W_t f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{7,04 \times 235}{1,732 \times 1} \times 10^{-3} = 0,96 \text{ kNm}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{0,00}{0,96} = \mathbf{0,000 < 1} \quad (6.23)$$

Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 13,000$; $x_b = 6,500$; Przęsło nr: 3, 3, 3. Obciążenia: 1,35·0,85·(CW+St)+1,5·S1 (b)

- wzdłuż osi Z

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{12,24 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 166,07 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[\sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} - \frac{\tau_{w,Ed}}{(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd} = \sqrt{1 - \frac{0,0}{1,25 \times (235/1,732)/1}} \times 166,07 = 166,07 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{19,16}{166,07} = \mathbf{0,115 < 1}$$

- wzdłuż osi Y

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v(f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{13,65 \times 235/1,732}{1} \times 10^{-1} = 185,2 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[\sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} - \frac{\tau_{w,Ed}}{(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd} = \sqrt{1 - \frac{0,0}{1,25 \times (235/1,732)/1}} \times 185,2 = 185,2 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{0,01}{185,20} = \mathbf{0,000 < 1}$$

Dla materiału o granicy plastyczności 235 MPa, przyjęto $\eta = 1,2$.

Zgodnie z p. 5.1(2) PN-EN 1993-1-5 nie jest konieczne sprawdzanie stateczności przy ścinaniu:

$$h_w / t_w = 118,0/7,5 = \mathbf{15,733 < 59,698} = 72 \times 1,000/1,200 = 72 \varepsilon / \eta$$

Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 13,000$; $x_b = 6,500$; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: $1,35 \cdot 0,85 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot S1$ (b)

Klasa przekroju **1**.

Nośność na zginanie względem osi Y:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{130,78 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 30,73 \text{ kNm}$$

Nośność na zginanie względem osi Z:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{33,92 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 7,97 \text{ kNm}$$

Zredukowana nośność na zginanie:

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 0,19 / 564 = 0,000; \quad \text{przyjęto } n = 0,000 \leq 1;$$

Dla dowolnego przekroju przyjęto:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1 - n) = 30,73 \times (1 - 0,000) = 30,72 \text{ kNm}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} (1 - n) = 7,97 \times (1 - 0,000) = 7,97 \text{ kNm}$$

Warunek nośności:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^{\beta} = \left[\frac{20,47}{30,72} \right]^1 + \left[\frac{0,02}{7,97} \right]^1 = \mathbf{0,669 < 1} \quad (6.41)$$

Ostrożne przybliżenie nośności (nie jest warunkiem decydującym):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{0,19}{564} + \frac{20,47}{30,73} + \frac{0,02}{7,97} = \mathbf{0,669 < 1} \quad (6.2)$$

Zginanie (stateczność):

xa = 13,000; xb = 6,500; Przęsło nr: 3, 3, 3. Obciążenia: 1,35·0,85·(CW+St)+1,5·S1 (b)

Nie uwzględniono zwichrzenia pręta.

Warunek stateczności przy zginaniu:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1,000 \times 130,78 \times \frac{235}{1} \times 10^{-3} = 30,73 \text{ kNm} \quad (6.55)$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{20,49}{30,73} = \mathbf{0,667 < 1} \quad (6.54)$$

Nośność (stateczność) pręta zginanego i ściskanego:

Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: 1,35·0,85·(CW+St)+1,5·S1 (b)

Współczynniki interakcji według metody 2:

C_{my} = 0,9 - przechyłowa postaci wyboczenia.

C_{mz} = 0,6 + 0,4 ψ = 0,6 + 0,4 × 0,091 = 0,636; przyjęto C_{mz} = 0,636

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,900 \times \left(1 + (3,655 - 0,2) \times \frac{0,26}{0,0659 \times 564,00/1} \right) = 0,922$$

$$\text{przyjęto } k_{yy} = \mathbf{0,905} \leq 0,905 = 0,900 \times \left(1 + 0,8 \times \frac{0,26}{0,0659 \times 564,00/1} \right) = C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,636 \times \left(1 + (2 \times 2,144 - 0,6) \times \frac{0,26}{0,174 \times 564,00/1} \right) = 0,643$$

$$\text{przyjęto } k_{zz} = \mathbf{0,639} \leq 0,639 = 0,636 \times \left(1 + 1,4 \times \frac{0,26}{0,174 \times 564,00/1} \right) = C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,6 \times 0,639 = 0,383$$

$$k_{zy} = 0,6 \quad k_{yy} = 0,6 \times 0,905 = 0,543$$

Warunki nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{0,26}{0,0659 \times 564/1} + 0,905 \times \frac{20,49+0}{1,000 \times 30,73/1} + 0,383 \times \frac{0,09+0}{7,97/1} = \mathbf{0,615 < 1} \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{0,26}{0,174 \times 564/1} + 0,543 \times \frac{20,49+0}{1,000 \times 30,73/1} + 0,639 \times \frac{0,09+0}{7,97/1} = \mathbf{0,372 < 1} \quad (6.62)$$

Nośność środnika pod obciążeniem skupionym:

$x_a = 13,000$; $x_b = 6,500$; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: CW+St+1,5·W2 (b)

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego $s_s = 100,0$ mm oraz typ obciążenia środnika (a). Dodatkowo przyjęto rozstaw żebier poprzecznych $a = 19,500$ m. Nośność najbardziej obciążonego środnika:

$$k_F = 6 + 2 (h_w / a)^2 = 6 + 2 \times (118,0 / 19500,0)^2 = 6,00$$

$$m_1 = f_{yf} b_f / f_{yw} t_w = 235 \times 61,3 / (235 \times 7,5) = 8,167$$

$$m_2 = 0,000$$

$$l_y = s_s + 2t_f (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) = 100,0 + 2 \times 10,5 \times (1 + \sqrt{8,167 + 0,000}) = 181,0 \quad \text{przyjęto } l_y = 181,0 \leq a$$

$$F_{cr} = 0,9 k_F E t_w^3 / h_w = 0,9 \times 6,00 \times 210 \times 7,5^3 / 118,0 = 4054,34 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{181,0 \times 7,5 \times 235 \times 10^{-3}}{4054,34}} = 0,281$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,281} = 1,782 \quad \text{przyjęto } \chi_F = 1,000 \leq 1,0$$

$$L_{eff} = \chi_F l_y = 1,000 \times 181,0 = 181,0 \text{ mm}$$

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{235 \times 181,0 \times 7,5 \times 10^{-3}}{1} = 319,03 \text{ kN} \quad (6.1 \text{ EN 1993-1-5})$$

Warunki nośności środnika:

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{11,01}{319,03} = \mathbf{0,035 < 1} \quad (6.14 \text{ EN 1993-1-5})$$

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{y,N}}{f_y W_{y,eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{z,N}}{f_y W_{z,eff} / \gamma_{M0}} = \frac{0,11}{24 \times 235/1} \times 10 + \frac{6,39 + 0,11 \times 0,000}{115,63 \times 235/1} \times 10^3 + \frac{0,79 + 0,11 \times 0,000}{18,3 \times 235/1} \times 10^3 = 0,419 \quad (4.15 \text{ EN 1993-1-5})$$

$$\eta_2 + 0,8 \eta_1 = 0,035 + 0,8 \times 0,419 = \mathbf{0,370 < 1,4} \quad (7.2 \text{ EN 1993-1-5})$$

Stan graniczny użytkowalności:

Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+St+S1

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 22,2 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 250 = 6500 / 250 = 26,0 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 22,2 < 26,0 = a_{gr}$$

Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 1,1 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 250 = 6500 / 250 = 26,0 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 < 26,0 = a_{gr}$$

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

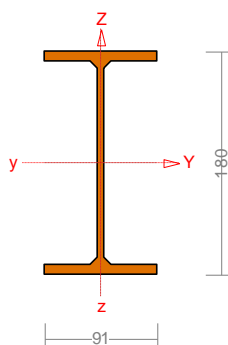
$$a = 22,236 \text{ mm}; \quad L / a = 6500,0 / 22,236 = 292,3$$

Pręt nr 8

Wyniki wymiarowania stali wg PN-EN 1993 (Stal1993_3d v. 1.71 licencja nr 35771)

Zadanie: KONSTRUKCJA HALI1.rm3

Przekrój: 2 - I 180 PE



Wymiary przekroju:

$$h=180,0 \quad g=5,3 \quad s=91,0 \quad t=8,0 \quad r=9,0.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$I_{yg}=1320,0 \quad I_{zg}=101,0 \quad A=23,90 \quad i_y=7,4 \quad i_z=2,1 \quad I_w=7431,2 \\ I_t=4,8 \quad i_s=7,7.$$

Materiał: **S 235**. Granica plastyczności $f_y=235$ MPa oraz wytrzymałość na rozciąganie $f_u = 360$ dla $g=5,3$.

Długości wyboczeniowe pręta:

Przęsło Yc 2 (0,301;5,323)

Przyjęto:

$$\kappa_a = 0,101 \quad \kappa_b = 0,222 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \quad \Rightarrow \quad \mu = 0,539 \quad \text{dla } l_0 = 5,022$$

$$l_w = 0,539 \times 5,022 = 2,707 \text{ m}$$

Przęsło Zc 2 (0,301;3,164)

Przyjęto:

$$\kappa_a = 0,125 \quad \kappa_b = 0,581 \quad \text{węzły przesuwne} \quad \Rightarrow \quad \mu = 1,326 \quad \text{dla } l_0 = 2,863$$

$$l_w = 1,326 \times 2,863 = 3,796 \text{ m}$$

Przęsło w 2 (0,301;3,164)

Dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_{\omega} = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{\omega\omega} = 2,863$ m. Długość wyboczeniowa $l_{\omega} = 2,863$ m.

Siły krytyczne:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{wy}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 1320,0}{2,707^2} \times 10^{-2} = 3733,83 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l_{wz}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 101,0}{3,796^2} \times 10^{-2} = 145,29 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EI_{\omega}}{l_{\omega}^2} + GI_T \right) = \frac{1}{7,71^2} \times \left(\frac{3,1416^2 \times 210 \times 7431,2}{2,863^2} \times 10^{-2} + 81 \times 4,75 \times 10^2 \right) = 963,47 \text{ kN}$$

Zwichrzenie:**Przęsło nr: 3 (3,164;5,323)**

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia $a_o = 0,00$ cm. Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły $a_s = 0,00$ cm. Przyjęto następujące wartości parametrów zwichrzenia: $A_1 = 0,000$, $A_2 = 0,000$, $B = 0,000$.

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,000 \times 0,00 + 0,000 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_{cr,z} + \sqrt{(A_o N_{cr,z})^2 + B^2 i_s^2 N_{cr,z} N_{cr,T}} =$$

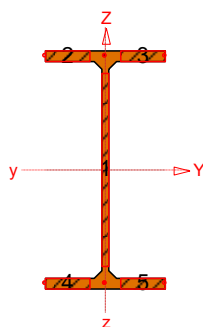
$$0,000 \times 157,92 + \sqrt{(0,000 \times 157,92)^2 + 0,000^2 \times 0,077^2 \times 157,92 \times 1202,84} = 0 \text{ kNm}$$

Stan graniczny nośności.

$x_a = 6,328$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 3, 4, 4. Obciążenia: CW+1,35·0,85·St+1,5·W2 (b)

Przyjęto następujące współczynniki częściowe γ_M :

$$\gamma_{M0} = 1; \gamma_{M1} = 1; \gamma_{M2} = 1,1.$$



Klasa przekroju:

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,000$$

Nr:	c [mm]	t [mm]	α	ψ	k_σ	$(c/t)_1$	$(c/t)_2$	$(c/t)_3$	c/t	Klasa
1	146,0	5,3	0,500	-0,464	-	72,000	83,000	81,281	27,547	1
2	33,8	8,0	1,000	0,000	0	9,000	10,000	INF	4,231	1
3	33,8	8,0	1,000	0,375	0,501	9,000	10,000	14,866	4,231	1
4	33,8	8,0	1,000	0,000	0	9,000	10,000	INF	4,231	1
5	33,8	8,0	1,000	0,174	0,536	9,000	10,000	15,369	4,231	1

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.

Nośność elementów rozciąganych:

$x_a = 5,323$; $x_b = 1,004$; Przęsło nr: 2, 3, 3. Obciążenia: $1,35 \cdot 0,85 \cdot CW + St + 1,5 \cdot W1$ (b)

Siła osiowa: $N_{Ed} = 9,64$ kN

Pole powierzchni przekroju: $A = 23,90$ cm²

Pole powierzchni otworów: $A_o = 0,00$ cm²

Pole powierzchni netto: $A_{net} = 23,90$ cm²

Nośność przekroju na rozciąganie:

- nośność plastyczna

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,90 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 561,65 \text{ kN} \quad (6.6)$$

- nośność graniczna

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 23,90 \times 360}{1,1} \times 10^{-1} = 703,96 \text{ kN} \quad (6.7)$$

Pręt posiada zdolność do odkształceń plastycznych ($N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$).

Nośność na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = 561,65 \text{ kN}$$

Warunek nośności (6.5):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{9,64}{561,65} = 0,017 < 1 \quad (6.5)$$

Nośność na ściskanie:

$x_a = 0,301$; $x_b = 6,026$; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: $CW + 1,35 \cdot 0,85 \cdot St + 1,5 \cdot (0,7 \cdot S1 + W2)$ (b)

Klasa przekroju 1.

Siła osiowa: $N_{Ed} = -19,14$ kN

Pole powierzchni przekroju: $A = 23,90$ cm²

Pole powierzchni przekroju efektywnego: $A_{\text{eff}} = 23,90 \text{ cm}^2$

Przesunięcie środka ciężkości: $e_{Ny} = 0,00$; $e_{Nz} = 0,00 \text{ cm}$.

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,90 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 561,65 \text{ kN} \quad (6.10)$$

Warunek nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{19,14}{561,65} = \mathbf{0,034 < 1} \quad (6.9)$$

Stateczność elementu ściskanego:

Wyboczenie dla osi Y (krzywa "a")	Wyboczenie dla osi Z (krzywa "b")	Wyboczenie skrętne (krzywa "b")
$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{23,9 \times 235}{3733,83 \times 10}} = 0,388$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,388 - 0,2) + 0,388^2] = 0,595$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,595 + \sqrt{0,595^2 - 0,388^2}} = 0,956$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{23,9 \times 235}{145,29 \times 10}} = 1,966$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,34 \times (1,966 - 0,2) + 1,966^2] = 2,733$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,733 + \sqrt{2,733^2 - 1,966^2}} = 0,216$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_y}{N_{cr,T}}} = \sqrt{\frac{23,9 \times 235}{963,47 \times 10}} = 0,764$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,34 \times (0,764 - 0,2) + 0,764^2] = 0,887$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,887 + \sqrt{0,887^2 - 0,764^2}} = 0,747$
przyjęto $\chi = 0,956 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,216 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,747 \leq 1$

Przyjęto najmniejszą wartość współczynnika $\chi = 0,216$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,216 \times 23,90 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 121,27 \text{ kN} \quad (6.47)$$

Warunek stateczności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{19,14}{121,27} = \mathbf{0,158 < 1} \quad (6.46)$$

Nośność przekroju na skręcanie:

$x_a = 0,301$; $x_b = 6,026$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+1,35·0,85·St+1,5·S1 (b)

Naprężenia przy skręcaniu swobodnym:

$$W_t = \frac{J_t}{t_{\text{max}}} = \frac{4,75}{0,80} = 5,94 \text{ cm}^3$$

$$T_{Rd} = \frac{W_t f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{5,94 \times 235}{1,732 \times 1} \times 10^{-3} = 0,81 \text{ kNm}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{0,04}{0,81} = \mathbf{0,050 < 1} \quad (6.23)$$

Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 5,323$; $x_b = 1,004$; Przęsło nr: 2, 3, 3. Obciążenia: $1,35 \cdot 0,85 \cdot (CW + St) + 1,5 \cdot S1$ (b)

- wzdłuż osi Z

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{10,43 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 141,52 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} V_{pl,Rd} = \sqrt{1 - \frac{1,7}{1,25 \times (235 / 1,732) / 1}} \times 141,52 = 140,81 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{22,80}{140,81} = \mathbf{0,162 < 1}$$

- wzdłuż osi Y

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{14,56 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 197,55 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} V_{pl,Rd} = \sqrt{1 - \frac{1,7}{1,25 \times (235 / 1,732) / 1}} \times 197,55 = 196,56 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{0,03}{196,56} = \mathbf{0,000 < 1}$$

Dla materiału o granicy plastyczności 235 MPa, przyjęto $\eta = 1,2$.

Zgodnie z p. 5.1(2) PN-EN 1993-1-5 nie jest konieczne sprawdzanie stateczności przy ścinaniu:

$$h_w / t_w = 146,0 / 5,3 = \mathbf{27,547 < 59,709} = 72 \times 1,000 / 1,200 = 72 \text{ } \varepsilon / \eta$$

Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 5,323$; $x_b = 1,004$; Przęsło nr: 2, 3, 3. Obciążenia: $1,35 \cdot 0,85 \cdot (CW + St) + 1,5 \cdot S1$ (b)

Klasa przekroju **1**.

Nośność na zginanie względem osi Y:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{166,30 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 39,08 \text{ kNm}$$

Nośność na zginanie względem osi Z:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{34,63 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 8,14 \text{ kNm}$$

Zredukowana nośność na zginanie:

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 2,45 / 561,65 = 0,004; \quad \text{przyjęto } n = 0,004 \leq 1;$$

Dla dwuteownika bisymetrycznego:

$$a = (A - 2 b t_f) / A = (23,90 - 2 \times 9,10 \times 0,80) / 23,90 = 0,391; \quad \text{przyjęto } a = 0,391 \leq 0,5;$$

– zginanie y-y

$$N_{Ed} = 2,45 < 140,41 = 0,25 \times 561,65 = 0,25 N_{pl,Rd} \quad (6.33)$$

$$N_{Ed} = 2,45 < 102,13 = \frac{0,5 \times 16,40 \times 0,53 \times 235}{1} \times 10^{-1} = \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.34)$$

Nie ma potrzeby redukowania nośności na zginanie ze względu na siłę osiową.

– zginanie z-z

$$N_{Ed} = 2,45 < 204,26 = \frac{16,40 \times 0,53 \times 235}{1} \times 10^{-1} = \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.35)$$

Nie ma potrzeby redukowania nośności na zginanie ze względu na siłę osiową.

Zlinearyzowany warunek nośności:

$$\left\{ \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \right\}^{1/\gamma} = \left\{ \left[\frac{26,35}{39,08} \right]^2 + \left[\frac{0,04}{8,14} \right]^1 \right\}^{1/2} = 0,46^{1/2} = 0,678 < 1 \quad (6.41)$$

Ostrożne przybliżenie nośności (nie jest warunkiem decydującym):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{2,45}{561,65} + \frac{26,35}{39,08} + \frac{0,04}{8,14} = 0,684 < 1 \quad (6.2)$$

Zginanie (stateczność):

$x_a = 5,323$; $x_b = 1,004$; Przesło nr: 2, 3, 3. Obciążenia: $1,35 \cdot 0,85 \cdot (CW + St) + 1,5 \cdot S1$ (b)

Nie uwzględniono zwichrzenia pręta.

Warunek stateczności przy zginaniu:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1,000 \times 166,30 \times \frac{235}{1} \times 10^{-3} = 39,08 \text{ kNm} \quad (6.55)$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{26,35}{39,08} = 0,674 < 1 \quad (6.54)$$

Nośność (stateczność) pręta zginanego i ściskanego:

Przesło nr: 2, 3, 3. Obciążenia: $1,35 \cdot 0,85 \cdot (CW + St) + 1,5 \cdot S1$ (b)

Współczynniki interakcji według metody 2:

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \alpha_s = 0,1 - 0,8 \times -0,680 = 0,644; \quad \text{przyjęto } C_{my} = 0,644$$

$$C_{mz} = 0,9 - \text{przechyłowa postaci wybożenia.}$$

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,644 \times \left(1 + (0,388 - 0,2) \times \frac{2,49}{0,956 \times 561,65/1} \right) = 0,644$$

$$\text{przyjęto } k_{yy} = \mathbf{0,644} \leq 0,646 = 0,644 \times \left(1 + 0,8 \times \frac{2,49}{0,956 \times 561,65/1} \right) = C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,900 \times \left(1 + (2 \times 1,886 - 0,6) \times \frac{2,49}{0,232 \times 561,65/1} \right) = 0,954$$

$$\text{przyjęto } k_{zz} = \mathbf{0,924} \leq 0,924 = 0,900 \times \left(1 + 1,4 \times \frac{2,49}{0,232 \times 561,65/1} \right) = C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,6 \times 0,924 = 0,554$$

$$k_{zy} = 0,6 \quad k_{yy} = 0,6 \times 0,644 = 0,387$$

Warunki nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{2,49}{0,956 \times 561,65/1} + 0,644 \times \frac{26,35+0}{1,000 \times 39,08/1} +$$

$$0,554 \times \frac{0,04+0}{8,14/1} = \mathbf{0,442 < 1} \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{2,49}{0,232 \times 561,65/1} + 0,387 \times \frac{26,35+0}{1,000 \times 39,08/1} +$$

$$0,924 \times \frac{0,04+0}{8,14/1} = \mathbf{0,284 < 1} \quad (6.62)$$

Nośność środnika pod obciążeniem skupionym:

$x_a = 3,164$; $x_b = 3,164$; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: $1,35 \cdot 0,85 \cdot (CW + St) + 1,5 \cdot S1$ (b)

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego $s_s = \mathbf{100,0}$ mm oraz typ obciążenia środnika **(a)**. Dodatkowo przyjęto rozstaw żeber poprzecznych $a = \mathbf{6,328}$ m. Nośność najbardziej obciążonego środnika:

$$k_F = 6 + 2 \left(h_w / a \right)^2 = 6 + 2 \times (146,0 / 6327,8)^2 = 6,00$$

$$m_1 = f_{yf} b_f / f_{yw} t_w = 235 \times 91,0 / (235 \times 5,3) = 17,170$$

$$m_2 = 0,000$$

$$l_y = s_s + 2t_f \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2} \right) = 100,0 + 2 \times 8,0 \times (1 + \sqrt{17,170 + 0,000}) = 182,3 \quad \text{przyjęto } l_y = 182,3 \leq a$$

$$F_{cr} = 0,9 k_F E t_w^3 / h_w = 0,9 \times 6,00 \times 210 \times 5,3^3 / 146,0 = 1156,55 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{182,3 \times 5,3 \times 235 \times 10^{-3}}{1156,55}} = 0,443$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,443} = 1,128 \quad \text{przyjęto } \chi_F = 1,000 \leq 1,0$$

$$L_{eff} = \chi_F l_y = 1,000 \times 182,3 = 182,3 \text{ mm}$$

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{235 \times 182,3 \times 5,3 \times 10^{-3}}{1} = 227,05 \text{ kN} \quad (6.1 \text{ EN } 1993-1-5)$$

Warunki nośności środka:

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{35,02}{227,05} = \mathbf{0,154 < 1} \quad (6.14 \text{ EN } 1993-1-5)$$

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{y,N}}{f_y W_{y,eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{z,N}}{f_y W_{z,eff} / \gamma_{M0}} = \frac{5,77}{23,9 \times 235 / 1} \times 10 + \frac{22,38 + 5,77 \times 0,000}{146,67 \times 235 / 1} \times 10^3 + \frac{0,06 + 5,77 \times 0,000}{22,2 \times 235 / 1} \times 10^3 = 0,671 \quad (4.15 \text{ EN } 1993-1-5)$$

$$\eta_2 + 0,8 \eta_1 = 0,154 + 0,8 \times 0,671 = \mathbf{0,691 < 1,4} \quad (7.2 \text{ EN } 1993-1-5)$$

Stan graniczny użytkowalności:

Przęsło nr: 2, 2. Obciążenia: CW+St+S1

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 6,8 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 250 = 5022 / 250 = 20,1 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = \mathbf{6,8 < 20,1} = a_{gr}$$

Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 0,0 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 250 = 2863 / 250 = 11,5 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = \mathbf{0,0 < 11,5} = a_{gr}$$

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

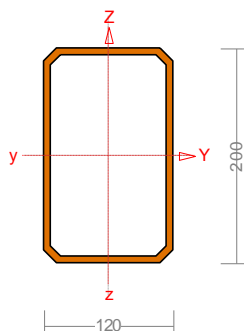
$$a = 6,826 \text{ mm}; \quad L / a = 2862,6 / 6,826 = 419,3$$

Pręt nr 10

Wyniki wymiarowania stali wg PN-EN 1993 (Stal1993_3d v. 1.71 licencja nr 35771)

Zadanie: KONSTRUKCJA HALI1.rm3

Przekrój: 1 - H 200x120x 6.3



Wymiary przekroju:

$h=200,0$ $s=120,0$ $g=6,3$ $t=6,3$ $r=12,6$.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$I_y=2010,0$ $I_z=910,0$ $A=37,70$ $i_y=7,3$ $i_z=4,9$ $I_w=2634,9$
 $I_t=2029,1$ $i_s=8,8$.

Materiał: **S 235**. Granica plastyczności $f_y=235$ MPa oraz wytrzymałość na rozciąganie $f_u = 360$ dla $g=6,3$.

Długości wyboczeniowe pręta:

Przęsło Yc 1 (0,000;1,800)

Przyjęto:

$\kappa_a = 0,458$ $\kappa_b = 0,409$ węzły nieprzesuwne $\Rightarrow \mu = 0,652$ dla $l_0 = 1,800$

$$l_w = 0,652 \times 1,800 = 1,174 \text{ m}$$

Przęsło Zc 1 (0,000;1,800)

Przyjęto:

$\kappa_a = 0,998$ $\kappa_b = 0,365$ węzły przesuwne $\Rightarrow \mu = 2,277$ dla $l_0 = 1,800$

$$l_w = 2,277 \times 1,800 = 4,099 \text{ m}$$

Przęsło ω 1 (0,000;1,800)

Dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_\omega = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{\omega\omega} = 1,800$ m. Długość wyboczeniowa $l_\omega = 1,800$ m.

Siły krytyczne:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{wy}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 2010,0}{1,174^2} \times 10^{-2} = 30246,48 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l_{wz}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 910,0}{4,099^2} \times 10^{-2} = 1122,77 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EI_{\square}}{l_{\square}^2} + GI_T \right) = \frac{1}{8,80^2} \times \left(\frac{3,1416^2 \times 210 \times 2634,9}{1,800^2} \times 10^{-2} + 81 \times 2029,1 \times 10^2 \right) = 212418,86 \text{ kN}$$

Zwichrzenie:**Przęsło nr: 2** (1,800;3,500)

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia $a_o = 0,00$ cm. Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły $a_s = 0,00$ cm. Przyjęto następujące wartości parametrów zwichrzenia: $A_1 = 0,000$, $A_2 = 0,000$, $B = 0,000$.

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,000 \times 0,00 + 0,000 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_{cr,z} + \sqrt{(A_o N_{cr,z})^2 + B^2 i_s^2 N_{cr,z} N_{cr,T}} =$$

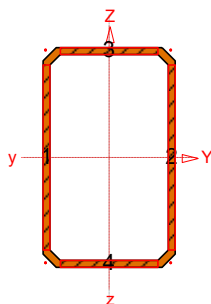
$$0,000 \times 22298,11 + \sqrt{(0,000 \times 22298,11)^2 + 0,000^2 \times 0,088^2 \times 22298,11 \times 212445,22} = 0 \text{ kNm}$$

Stan graniczny nośności.

$x_a = 3,500$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: CW+1,35·0,85·St+1,5·(0,7·S1+W2) (b)

Przyjęto następujące współczynniki częściowe γ_M :

$$\gamma_{M0} = 1; \gamma_{M1} = 1; \gamma_{M2} = 1,1.$$



Klasa przekroju:

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,000$$

Nr:	c [mm]	t [mm]	α	ψ	k_{σ}	(c/t) ₁	(c/t) ₂	(c/t) ₃	c/t	Klasa
1	168,5	6,3	0,518	-0,904	-	69,092	79,561	112,999	26,746	1
2	168,5	6,3	1,000	-0,893	-	33,000	38,000	111,882	26,746	1
3	88,5	6,3	0,534	0,000	-	66,659	76,759	INF	14,048	1
4	88,5	6,3	1,000	0,996	-	33,000	38,000	42,056	14,048	1

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.

Nośność elementów rozciąganych:

$x_a = 0,000$; $x_b = 3,500$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+St+1,5·W1 (b)

Siła osiowa: $N_{Ed} = 6,8 \text{ kN}$

Pole powierzchni przekroju: $A = 37,70 \text{ cm}^2$

Pole powierzchni otworów: $A_o = 0,00 \text{ cm}^2$

Pole powierzchni netto: $A_{net} = 37,70 \text{ cm}^2$

Nośność przekroju na rozciąganie:

- nośność plastyczna

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{37,70 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 885,95 \text{ kN} \quad (6.6)$$

- nośność graniczna

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 37,70 \times 360}{1,1} \times 10^{-1} = 1110,44 \text{ kN} \quad (6.7)$$

Pręt posiada zdolność do odkształceń plastycznych ($N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$).

Nośność na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = 885,95 \text{ kN}$$

Warunek nośności (6.5):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{6,8}{885,95} = 0,008 < 1 \quad (6.5)$$

Nośność na ściskanie:

$x_a = 1,800$; $x_b = 1,700$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: 1,35·0,85·(CW+St)+1,5·S1 (b)

Klasa przekroju 1.

Siła osiowa: $N_{Ed} = -33,18 \text{ kN}$

Pole powierzchni przekroju: $A = 37,70 \text{ cm}^2$

Pole powierzchni przekroju efektywnego: $A_{eff} = 37,70 \text{ cm}^2$

Przesunięcie środka ciężkości: $e_{Ny} = 0,00$; $e_{Nz} = 0,00 \text{ cm}$.

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{37,70 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 885,95 \text{ kN} \quad (6.10)$$

Warunek nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{33,18}{885,95} = 0,037 < 1 \quad (6.9)$$

Stateczność elementu ściskanego:

Wyboczenie dla osi Y (krzywa "a")	Wyboczenie dla osi Z (krzywa "a")	Wyboczenie skrętne (krzywa "a")
$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{37,7 \times 235}{30246,48 \times 10}} = 0,171$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,171 - 0,2) + 0,171^2] = 0,512$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,512 + \sqrt{0,512^2 - 0,171^2}} = 1,006$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{37,7 \times 235}{1122,77 \times 10}} = 0,888$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,888 - 0,2) + 0,888^2] = 0,967$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,967 + \sqrt{0,967^2 - 0,888^2}} = 0,742$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,T}}} = \sqrt{\frac{37,7 \times 235}{212418,86 \times 10}} = 0,0646$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,0646 - 0,2) + 0,0646^2] = 0,488$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,488 + \sqrt{0,488^2 - 0,0646^2}} = 1,029$
przyjęto $\chi = 1,000 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,742 \leq 1$	przyjęto $\chi = 1,000 \leq 1$

Przyjęto najmniejszą wartość współczynnika $\chi = 0,742$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,742 \times 37,70 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 657,02 \text{ kN} \quad (6.47)$$

Warunek stateczności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{33,18}{657,02} = 0,051 < 1 \quad (6.46)$$

Nośność przekroju na skręcanie:

$x_a = 3,500$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: CW+1,35·0,85·St+1,5·(0,7·S1+W2) (b)

Naprężenia przy skręcaniu swobodnym:

$$W_t = J_t \left(\frac{t}{F_s} \right)_{\min} = 2029,10 \times \frac{0,63}{4,64} = 275,25 \text{ cm}^3$$

$$T_{Rd} = \frac{W_t f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{275,25 \times 235}{1,732 \times 1} \times 10^{-3} = 37,34 \text{ kNm}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{0,06}{37,34} = 0,002 < 1 \quad (6.23)$$

Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 3,500$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: 1,35·0,85·CW+St+1,5·W2 (b)

- wzdłuż osi Z

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{23,56 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 319,69 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd} = 1 - \frac{0,2}{(235 / 1,732) / 1} \times 319,69 = 319,18 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{15,22}{319,18} = \mathbf{0,048 < 1}$$

- wzdłuż osi Y

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{14,14 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 191,81 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd} = 1 - \frac{0,2}{(235 / 1,732) / 1} \times 191,81 = 191,51 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{0,06}{191,51} = \mathbf{0,000 < 1}$$

Dla materiału o granicy plastyczności 235 MPa, przyjęto $\eta = 1,2$.

Zgodnie z p. 5.1(2) PN-EN 1993-1-5 nie jest konieczne sprawdzanie stateczności przy ścinaniu:

$$h_w / t_w = 168,5 / 6,3 = \mathbf{26,746 < 59,749} = 72 \times 1,000 / 1,200 = 72 \varepsilon / \eta$$

Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 3,500$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 2. Obciążenia: CW+St+1,5·W2 (b)

Klasa przekroju 1.

Nośność na zginanie względem osi Y:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{238,94 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 56,15 \text{ kNm}$$

Nośność na zginanie względem osi Z:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{168,92 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 39,7 \text{ kNm}$$

Zredukowana nośność na zginanie:

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 1,79 / 885,95 = 0,002; \quad \text{przyjęto } n = 0,002 \leq 1;$$

Dla rury prostokątnej i bisymetrycznego przekroju skrzynkowego:

$$a_w = (A - 2 b t_f) / A = (37,70 - 2 \times 12,00 \times 0,63) / 37,70 = 0,599; \quad \text{przyjęto } a_w = 0,500 \leq 0,5$$

$$a_f = (A - 2 h t_w) / A = (37,70 - 2 \times 20,00 \times 0,63) / 37,70 = 0,332; \quad \text{przyjęto } a_f = 0,332 \leq 0,5$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1 - n) / (1 - 0,5 a_w) = 56,15 \times (1 - 0,002) / (1 - 0,5 \times 0,500) = 74,72 \quad (6.39)$$

lecz $M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$, przyjęto $M_{N,y,Rd} = 56,15 \text{ kNm}$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} (1 - n) / (1 - 0,5 a_f) = 39,7 \times (1 - 0,002) / (1 - 0,5 \times 0,332) = 47,49; \quad (6.40)$$

lecz $M_{N,z,Rd} \leq M_{pl,z,Rd}$, przyjęto $M_{N,z,Rd} = 39,7 \text{ kNm}$

Zlinearyzowany warunek nośności:

$$\left\{ \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \right\}^{1/\gamma} = \left\{ \left[\frac{20,26}{56,15} \right]^{1,66} + \left[\frac{0,04}{39,7} \right]^{1,66} \right\}^{1/1,66} = 0,184^{1/1,66} = \mathbf{0,361 < 1} \quad (6.41)$$

Ostrożne przybliżenie nośności (nie jest warunkiem decydującym):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{1,79}{885,95} + \frac{20,26}{56,15} + \frac{0,04}{39,7} = \mathbf{0,364 < 1} \quad (6.2)$$

Zginanie (stateczność):

$x_a = 3,500$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: CW+St+1,5·W2 (b)

Nie uwzględniono zwichrzenia pręta.

Warunek stateczności przy zginaniu:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1,000 \times 238,94 \times \frac{235}{1} \times 10^{-3} = 56,15 \text{ kNm} \quad (6.55)$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{20,26}{56,15} = \mathbf{0,361 < 1} \quad (6.54)$$

Nośność (stateczność) pręta zginanego i ściskanego:

Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: 1,35·0,85·(CW+St)+1,5·(0,7·S1+W2) (b)

Współczynniki interakcji według metody 2:

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \psi = 0,6 + 0,4 \times -0,094 = 0,562; \quad \text{przyjęto } C_{my} = 0,562$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \psi = 0,6 + 0,4 \times -0,474 = 0,410; \quad \text{przyjęto } C_{mz} = 0,410$$

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,562 \times \left(1 + (0,141 - 0,2) \times \frac{16,86}{1,000 \times 885,95 / 1} \right) = 0,562$$

$$\text{przyjęto } k_{yy} = \mathbf{0,562} \leq 0,571 = 0,562 \times \left(1 + 0,8 \times \frac{16,86}{1,000 \times 885,95 / 1} \right) = C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,410 \times \left(1 + (0,199 - 0,2) \times \frac{16,86}{1,000 \times 885,95 / 1} \right) = 0,410$$

$$\text{przyjęto } k_{zz} = \mathbf{0,410} \leq 0,417 = 0,410 \times \left(1 + 0,8 \times \frac{16,86}{1,000 \times 885,95 / 1} \right) = C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,6 \times 0,410 = 0,246$$

$$k_{zy} = 0,6 \quad k_{yy} = 0,6 \times 0,562 = 0,337$$

Warunki nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{16,86}{1,000 \times 885,95/1} + 0,562 \times \frac{19,1+0}{1,000 \times 56,15/1} + 0,246 \times \frac{0,09+0}{39,7/1} = \mathbf{0,211 < 1} \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{16,86}{1,000 \times 885,95/1} + 0,337 \times \frac{19,1+0}{1,000 \times 56,15/1} + 0,410 \times \frac{0,09+0}{39,7/1} = \mathbf{0,135 < 1} \quad (6.62)$$

Nośność środnika pod obciążeniem skupionym:

$x_a = 3,500$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: CW+St+1,5-W2 (b)

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego $s_s = 100,0$ mm oraz typ obciążenia środnika (a). Dodatkowo przyjęto rozstaw żeber poprzecznych $a = 3,500$ m. Nośność najbardziej obciążonego środnika:

$$k_F = 6 + 2 (h_w / a)^2 = 6 + 2 \times (88,5/3500,0)^2 = 6,00$$

$$m_1 = f_{yf} b_f / f_{yw} t_w = 235 \times 94,5 / (235 \times 6,3) = 15,000$$

$$m_2 = 0,000$$

$$l_y = s_s + 2t_f (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) = 100,0 + 2 \times 6,3 \times (1 + \sqrt{15,000 + 0,000}) = 161,4 \quad \text{przyjęto } l_y = 161,4 \leq a$$

$$F_{cr} = 0,9 k_F E t_w^3 / h_w = 0,9 \times 6,00 \times 210 \times 6,3^3 / 88,5 = 3204,67 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{161,4 \times 6,3 \times 235 \times 10^{-3}}{3204,67}} = 0,273$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,273} = 1,831 \quad \text{przyjęto } \chi_F = 1,000 \leq 1,0$$

$$L_{eff} = \chi_F l_y = 1,000 \times 161,4 = 161,4 \text{ mm}$$

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{235 \times 161,4 \times 6,3 \times 10^{-3}}{1} = 238,95 \text{ kN} \quad (6.1 \text{ EN 1993-1-5})$$

Warunki nośności środnika:

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{0,03}{238,95} = \mathbf{0,000 < 1} \quad (6.14 \text{ EN 1993-1-5})$$

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{y,N}}{f_y W_{y,eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{z,N}}{f_y W_{z,eff} / \gamma_{M0}} = \frac{1,79}{37,7 \times 235/1} \times 10 + \frac{20,26 + 1,79 \times 0,000}{201 \times 235/1} \times 10^3 + \frac{0,04 + 1,79 \times 0,000}{151,67 \times 235/1} \times 10^3 = 0,432 \quad (4.15 \text{ EN 1993-1-5})$$

$$\eta_2 + 0,8 \eta_1 = 0,000 + 0,8 \times 0,432 = \mathbf{0,346 < 1,4} \quad (7.2 \text{ EN 1993-1-5})$$

Stan graniczny użytkowalności:

Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: CW+St+W2

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 0,5 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 250 = 1700 / 250 = 6,8 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 0,5 < 6,8 = a_{gr}$$

Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 0,0 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 250 = 1700 / 250 = 6,8 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 0,0 < 6,8 = a_{gr}$$

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

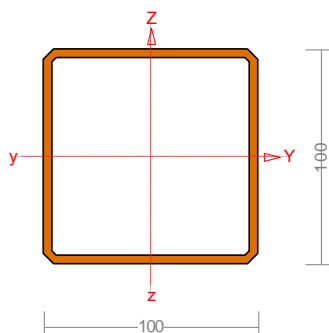
$$a = 0,491 \text{ mm}; \quad L / a = 1700,0 / 0,491 = 3465,4$$

Pręt nr 28

Wyniki wymiarowania stali wg PN-EN 1993 (Stal1993_3d v. 1.71 licencja nr 35771)

Zadanie: KONSTRUKCJA HALI1.rm3

Przekrój: 4 - H 100x100x 4.0



Wymiary przekroju:

$$h=100,0 \quad s=100,0 \quad g=4,0 \quad t=4,0 \quad r=4,0.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$I_{yg}=233,0 \quad I_{zg}=233,0 \quad A=15,20 \quad i_y=3,9 \quad i_z=3,9 \quad I_w=0,3 \\ I_t=357,6 \quad i_s=5,5.$$

Materiał: **S 235**. Granica plastyczności $f_y=235$ MPa oraz wytrzymałość na rozciąganie $f_u = 360$ dla $g=4,0$.

Długości wyboczeniowe pręta:

Przęsło Yc

Przyjęto:

$$\kappa_a = 0,010 \quad \kappa_b = 0,007 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \quad \Rightarrow \quad \mu = 0,500 \quad \text{dla } l_0 = 5,001$$

$$l_w = 0,500 \times 5,001 = 2,500 \text{ m}$$

Przęsło Zc

Przyjęto:

$$K_a = 0,244 \quad K_b = 0,244 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 0,570 \quad \text{dla } l_0 = 5,001$$

$$l_w = 0,570 \times 5,001 = 2,851 \text{ m}$$

Przęsło ω

Dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_\omega = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{\omega\omega} = 5,001 \text{ m}$. Długość wyboczeniowa $l_\omega = 5,001 \text{ m}$.

Siły krytyczne:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{wy}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 233,0}{2,500^2} \times 10^{-2} = 772,36 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l_{wz}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 233,0}{2,851^2} \times 10^{-2} = 594,31 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EI_\omega}{l_\omega^2} + GI_T \right) = \frac{1}{5,54^2} \times \left(\frac{3,1416^2 \times 210 \times 0,325}{5,001^2} \times 10^{-2} + 81 \times 357,6 \times 10^2 \right) = 94491,95 \text{ kN}$$

Zwichrzenie:

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia $a_0 = 0,00 \text{ cm}$. Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły $a_s = 0,00 \text{ cm}$. Przyjęto następujące wartości parametrów zwichrzenia: $A_1 = 0,000$, $A_2 = 0,000$, $B = 0,000$.

$$A_0 = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,000 \times 0,00 + 0,000 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_0 N_{cr,z} + \sqrt{(A_0 N_{cr,z})^2 + B^2 i_s^2 N_{cr,z} N_{cr,T}} =$$

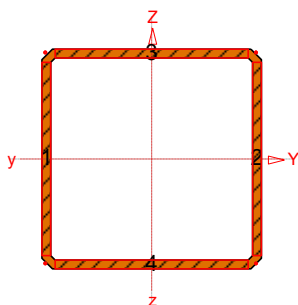
$$0,000 \times 594,31 + \sqrt{(0,000 \times 594,31)^2 + 0,000^2 \times 0,055^2 \times 594,31 \times 94491,95} = 0 \text{ kNm}$$

Stan graniczny nośności.

$x_a = 5,001$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+1,35·0,85·St+1,5·(0,7·S1+W2) (b)

Przyjęto następujące współczynniki częściowe γ_M :

$$\gamma_{M0} = 1; \quad \gamma_{M1} = 1; \quad \gamma_{M2} = 1,1.$$



Klasa przekroju:

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,000$$

Nr:	c [mm]	t [mm]	α	ψ	k_σ	$(c/t)_1$	$(c/t)_2$	$(c/t)_3$	c/t	Klasa
1	88,0	4,0	1,000	-0,859	-	33,000	38,000	108,689	22,000	1
2	88,0	4,0	0,511	-0,913	-	70,117	80,740	113,959	22,000	1
3	88,0	4,0	0,511	0,000	-	70,117	80,740	INF	22,000	1
4	88,0	4,0	1,000	0,976	-	33,000	38,000	42,335	22,000	1

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.

Nośność elementów rozciąganych:

$x_a = 1,875$; $x_b = 3,126$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: $1,35 \cdot 0,85 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot S1$ (b)

Siała osiowa: $N_{Ed} = 6,96 \text{ kN}$

Pole powierzchni przekroju: $A = 15,20 \text{ cm}^2$

Pole powierzchni otworów: $A_o = 0,00 \text{ cm}^2$

Pole powierzchni netto: $A_{net} = 15,20 \text{ cm}^2$

Nośność przekroju na rozciąganie:

- nośność plastyczna

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{15,20 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 357,2 \text{ kN} \quad (6.6)$$

- nośność graniczna

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 15,20 \times 360}{1,1} \times 10^{-1} = 447,71 \text{ kN} \quad (6.7)$$

Pręt posiada zdolność do odkształceń plastycznych ($N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$).

Nośność na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = 357,2 \text{ kN}$$

Warunek nośności (6.5):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{6,96}{357,2} = \mathbf{0,019 < 1} \quad (6.5)$$

Nośność na ściskanie:

$x_a = 5,001$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+St+1,5·W2 (b)

Klasa przekroju **1**.

Siła osiowa: $N_{Ed} = -7,82 \text{ kN}$

Pole powierzchni przekroju: $A = 15,20 \text{ cm}^2$

Pole powierzchni przekroju efektywnego: $A_{eff} = 15,20 \text{ cm}^2$

Przesunięcie środka ciężkości: $e_{Ny} = 0,00$; $e_{Nz} = 0,00 \text{ cm}$.

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{15,20 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 357,2 \text{ kN} \quad (6.10)$$

Warunek nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{7,82}{357,2} = \mathbf{0,022 < 1} \quad (6.9)$$

Stateczność elementu ściskanego:

Wyboczenie dla osi Y (krzywa "a")	Wyboczenie dla osi Z (krzywa "a")	Wyboczenie skrętne (krzywa "a")
$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{15,2 \times 235}{772,36 \times 10}} = 0,680$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,68 - 0,2) + 0,680^2] = 0,782$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,782 + \sqrt{0,782^2 - 0,680^2}} = 0,857$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{15,2 \times 235}{594,31 \times 10}} = 0,775$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,77 - 0,2) + 0,775^2] = 0,861$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,861 + \sqrt{0,861^2 - 0,775^2}} = 0,810$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,T}}} = \sqrt{\frac{15,2 \times 235}{94491,95 \times 10}} = 0,0615$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,06 - 0,2) + 0,0615^2] = 0,487$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,487 + \sqrt{0,487^2 - 0,0615^2}} = 1,030$
przyjęto $\chi = 0,857 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,810 \leq 1$	przyjęto $\chi = 1,000 \leq 1$

Przyjęto najmniejszą wartość współczynnika $\chi = 0,810$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,810 \times 15,20 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 289,16 \text{ kN} \quad (6.47)$$

Warunek stateczności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{7,82}{289,16} = \mathbf{0,027 < 1} \quad (6.46)$$

Nośność przekroju na skręcanie:

$x_a = 5,001$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+1,35·0,85·St+1,5·(0,7·S1+W2) (b)

Naprężenia przy skręcaniu swobodnym:

$$W_t = J_t \left(\frac{t}{F_s} \right)_{\min} = 357,64 \times \frac{0,40}{1,94} = 73,66 \text{ cm}^3$$

$$T_{Rd} = \frac{W_t f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{73,66 \times 235}{1,732 \times 1} \times 10^{-3} = 9,99 \text{ kNm}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{0,00}{9,99} = \mathbf{0,000 < 1} \quad (6.23)$$

Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 5,001$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: $1,35 \cdot 0,85 \cdot CW + St + 1,5 \cdot W2$ (b)

- wzdłuż osi Z

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{7,60 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 103,11 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd} = 1 - \frac{0,0}{(235 / 1,732) / 1} \times 103,11 = 103,11 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{1,17}{103,11} = \mathbf{0,011 < 1}$$

- wzdłuż osi Y

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{7,60 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 103,11 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd} = 1 - \frac{0,0}{(235 / 1,732) / 1} \times 103,11 = 103,11 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{0,02}{103,11} = \mathbf{0,000 < 1}$$

Dla materiału o granicy plastyczności 235 MPa, przyjęto $\eta = 1,2$.

Zgodnie z p. 5.1(2) PN-EN 1993-1-5 nie jest konieczne sprawdzanie stateczności przy ścinaniu:

$$h_w / t_w = 88,0 / 4,0 = \mathbf{22,000 < 59,704} = 72 \times 1,000 / 1,200 = 72 \text{ } \varepsilon / \eta$$

Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 5,001$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: $1,35 \cdot 0,85 \cdot (CW + St) + 1,5 \cdot W2$ (b)

Klasa przekroju **1**.

Nośność na zginanie względem osi Y:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{53,50 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 12,57 \text{ kNm}$$

Nośność na zginanie względem osi Z:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{53,50 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 12,57 \text{ kNm}$$

Zredukowana nośność na zginanie:

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 7,65 / 357,2 = 0,021; \quad \text{przyjęto } n = 0,021 \leq 1;$$

Dla rury prostokątnej i bisymetrycznego przekroju skrzynkowego:

$$a_w = (A - 2 b t_f) / A = (15,20 - 2 \times 10,00 \times 0,40) / 15,20 = 0,474; \quad \text{przyjęto } a_w = 0,474 \leq 0,5$$

$$a_f = (A - 2 h t_w) / A = (15,20 - 2 \times 10,00 \times 0,40) / 15,20 = 0,474; \quad \text{przyjęto } a_f = 0,474 \leq 0,5$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1 - n) / (1 - 0,5a_w) = 12,57 \times (1 - 0,021) / (1 - 0,5 \times 0,474) = 16,12 \quad (6.39)$$

lecz $M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$, przyjęto $M_{N,y,Rd} = 12,57 \text{ kNm}$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} (1 - n) / (1 - 0,5a_f) = 12,57 \times (1 - 0,021) / (1 - 0,5 \times 0,474) = 16,12; \quad (6.40)$$

lecz $M_{N,z,Rd} \leq M_{pl,z,Rd}$, przyjęto $M_{N,z,Rd} = 12,57 \text{ kNm}$

Zlinearyzowany warunek nośności:

$$\left\{ \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \right\}^{1/\gamma} = \left\{ \left[\frac{2,32}{12,57} \right]^{1,66} + \left[\frac{0,04}{12,57} \right]^{1,66} \right\}^{1/1,66} = 0,0605^{1/1,66} = \mathbf{0,185 < 1} \quad (6.41)$$

Ostrożne przybliżenie nośności (nie jest warunkiem decydującym):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{7,65}{357,2} + \frac{2,32}{12,57} + \frac{0,04}{12,57} = \mathbf{0,209 < 1} \quad (6.2)$$

Nośność (stateczność) pręta zginanego i ściskanego:

Przęsto nr: 1, 1, 1. Obciążenia: 1,35·0,85·CW+St+1,5·W2 (b)

Współczynniki interakcji według metody 2:

$$C_{my} = 0,1 (1 - \psi) - 0,8 \alpha_5 = 0,1 \times (1 - 0,774) - 0,8 \times 0,071 = 0,234; \quad \text{przyjęto } C_{my} = 0,400$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \psi = 0,6 + 0,4 \times 0,999 = 0,200; \quad \text{przyjęto } C_{mz} = 0,400$$

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,400 \times \left(1 + (0,680 - 0,2) \times \frac{7,78}{0,857 \times 357,20 / 1} \right) = 0,405$$

$$\text{przyjęto } k_{yy} = \mathbf{0,405} \leq 0,408 = 0,400 \times \left(1 + 0,8 \times \frac{7,78}{0,857 \times 357,20 / 1} \right) = C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,400 \times \left(1 + (0,775 - 0,2) \times \frac{7,78}{0,810 \times 357,20 / 1} \right) = 0,406$$

$$\text{przyjęto } k_{zz} = \mathbf{0,406} \leq 0,409 = 0,400 \times \left(1 + 0,8 \times \frac{7,78}{0,810 \times 357,20/1} \right) = C_{nz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,6 \times 0,406 = 0,244$$

$$k_{zy} = 0,6 \quad k_{yy} = 0,6 \times 0,405 = 0,243$$

Warunki nośności:

$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} &= \frac{7,78}{0,857 \times 357,2/1} + 0,405 \times \frac{2,32+0}{1,000 \times 12,57/1} + \\ &0,244 \times \frac{0,04+0}{12,57/1} = \mathbf{0,101} < 1 \quad (6.61) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} &= \frac{7,78}{0,810 \times 357,2/1} + 0,243 \times \frac{2,32+0}{1,000 \times 12,57/1} + \\ &0,406 \times \frac{0,04+0}{12,57/1} = \mathbf{0,073} < 1 \quad (6.62) \end{aligned}$$

Nośność środka pod obciążeniem skupionym:

$x_a = 5,001$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: $1,35 \cdot 0,85 \cdot CW + St + 1,5 \cdot W2$ (b)

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego $s_s = \mathbf{100,0}$ mm oraz typ obciążenia środka (**a**). Dodatkowo przyjęto rozstaw zeber poprzecznych $a = \mathbf{5,001}$ m. Nośność najbardziej obciążonego środka:

$$k_F = 6 + 2 (h_w / a)^2 = 6 + 2 \times (88,0/5001,0)^2 = 6,00$$

$$m_1 = f_{yf} b_f / f_{yw} t_w = 235 \times 48,0 / (235 \times 4,0) = 12,000$$

$$m_2 = 0,000$$

$$l_y = s_s + 2t_f (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) = 100,0 + 2 \times 4,0 \times (1 + \sqrt{12,000 + 0,000}) = 135,7 \quad \text{przyjęto } l_y = 135,7 \leq a$$

$$F_{cr} = 0,9 k_F E t_w^3 / h_w = 0,9 \times 6,00 \times 210 \times 4,0^3 / 88,0 = 824,81 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{135,7 \times 4,0 \times 235 \times 10^{-3}}{824,81}} = 0,393$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,393} = 1,271 \quad \text{przyjęto } \chi_F = 1,000 \leq 1,0$$

$$L_{eff} = \chi_F l_y = 1,000 \times 135,7 = 135,7 \text{ mm}$$

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{235 \times 135,7 \times 4,0 \times 10^{-3}}{1} = 127,57 \text{ kN} \quad (6.1 \text{ EN 1993-1-5})$$

Warunki nośności środka:

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{0,01}{127,57} = \mathbf{0,000} < 1 \quad (6.14 \text{ EN 1993-1-5})$$

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{y,N}}{f_y W_{y,eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{z,N}}{f_y W_{z,eff} / \gamma_{M0}} = \frac{7,78}{15,2 \times 235 / 1} \times 10 + \frac{2,32 + 7,78 \times 0,000}{46,6 \times 235 / 1} \times 10^3 + \frac{0,04 + 7,78 \times 0,000}{46,6 \times 235 / 1} \times 10^3 = 0,237 \quad (4.15 \text{ EN 1993-1-5})$$

$$\eta_2 + 0,8 \eta_1 = 0,000 + 0,8 \times 0,237 = \mathbf{0,190} < \mathbf{1,4} \quad (7.2 \text{ EN 1993-1-5})$$

Stan graniczny użytkowalności:

Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+St+W2

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 1,4 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 250 = 5001 / 250 = 20,0 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = \mathbf{1,4} < \mathbf{20,0} = a_{gr}$$

Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 0,0 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 250 = 5001 / 250 = 20,0 \text{ mm}$$












$$a_{\max} = \mathbf{0,0} < \mathbf{20,0} = a_{gr}$$



















Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = 1,371 \text{ mm}; \quad L / a = 5001,0 / 1,371 = 3647,8$$

Wyniki wymiarowania stali wg PN-EN 1993 (Stal1993_3d v. 1.71 licencja nr 35771)

Nazwa pliku: KONSTRUKCJA HALI1.rm3 α

Nr pręta:	Grupa:	Przekrój:	Warunek decydujący:	Nośność:	Kombinacja obc.
18	Pozycja nr 1 / 4	3 - U 160	SGU	0,854 	CW+St+S1
8	Pozycja nr 1 / 3	2 - I 180 PE	Zginanie	0,678 	1,35-0,85-(CW+St)+1,5-S1 (b)
12	Pozycja nr 1 / 3	2 - I 180 PE	Zginanie	0,678 	1,35-0,85-(CW+St)+1,5-S1 (b)
19	Pozycja nr 1 / 4	3 - U 160	SGU	0,446 	CW+St+S1
17	Pozycja nr 1 / 4	3 - U 160	SGU	0,439 	CW+St+S1
10	Pozycja nr 1 / 1	1 - H 200x120x 6.3	Zginanie	0,361 	CW+St+1,5-W2 (b)
6	Pozycja nr 1 / 1	1 - H 200x120x 6.3	Zginanie	0,361 	CW+St+1,5-W2 (b)
7	Pozycja nr 1 / 2	1 - H 200x120x 6.3	Zginanie	0,316 	CW+St+1,5-W2 (b)
11	Pozycja nr 1 / 2	1 - H 200x120x 6.3	Zginanie	0,316 	CW+St+1,5-W2 (b)
4	Pozycja nr 1 / 3	2 - I 180 PE	Zginanie	0,292 	1,35-0,85-(CW+St)+1,5-S1 (b)
16	Pozycja nr 1 / 3	2 - I 180 PE	Zginanie	0,292 	1,35-0,85-(CW+St)+1,5-S1 (b)

28	Pozycja nr 1 / Pozycja nr 2	4 - H 100x100x 4.0	Zginanie	0,185		$1,35 \cdot 0,85 \cdot (CW+St)+1,5 \cdot W2$ (b)
29	Pozycja nr 1 / Pozycja nr 2	4 - H 100x100x 4.0	Zginanie	0,185		$1,35 \cdot 0,85 \cdot (CW+St)+1,5 \cdot W2$ (b)
2	Pozycja nr 1 / 1	1 - H 200x120x 6.3	Zginanie	0,183		$1,35 \cdot 0,85 \cdot CW+St+1,5 \cdot W2$ (b)
14	Pozycja nr 1 / 1	1 - H 200x120x 6.3	Zginanie	0,183		$1,35 \cdot 0,85 \cdot CW+St+1,5 \cdot W2$ (b)
3	Pozycja nr 1 / 2	1 - H 200x120x 6.3	Zginanie	0,160		$CW+1,35 \cdot 0,85 \cdot St+1,5 \cdot W2$ (b)
15	Pozycja nr 1 / 2	1 - H 200x120x 6.3	Zginanie	0,160		$CW+1,35 \cdot 0,85 \cdot St+1,5 \cdot W2$ (b)
20	Pozycja nr 1 / Pozycja nr 2	4 - H 100x100x 4.0	Zginanie	0,105		$1,35 \cdot 0,85 \cdot CW+St+1,5 \cdot W2$ (b)
27	Pozycja nr 1 / Pozycja nr 2	4 - H 100x100x 4.0	Zginanie	0,105		$1,35 \cdot 0,85 \cdot CW+St+1,5 \cdot W2$ (b)
1	Pozycja nr 1 / 0	4 - H 100x100x 4.0	SGU	0,099		$CW+St+W1$
5	Pozycja nr 1 / 0	4 - H 100x100x 4.0	SGU	0,099		$CW+St+S1+0,6 \cdot W1$
9	Pozycja nr 1 / 0	4 - H 100x100x 4.0	SGU	0,099		$CW+St+S1+0,6 \cdot W1$
13	Pozycja nr 1 / 0	4 - H 100x100x 4.0	SGU	0,099		$CW+St+S1+0,6 \cdot W2$
21	Pozycja nr 1 / Pozycja nr 2	4 - H 100x100x 4.0	Zginanie	0,047		$1,35 \cdot (CW+St)+1,5 \cdot 0,6 \cdot W2$ (a)
22	Pozycja nr 1 / Pozycja nr 2	4 - H 100x100x 4.0	Zginanie	0,047		$1,35 \cdot (CW+St)+1,5 \cdot 0,6 \cdot W2$ (a)
25	Pozycja nr 1 / Pozycja nr 2	4 - H 100x100x 4.0	Zginanie	0,047		$1,35 \cdot (CW+St)+1,5 \cdot 0,6 \cdot W2$ (a)
26	Pozycja nr 1 / Pozycja nr 2	4 - H 100x100x 4.0	Zginanie	0,047		$1,35 \cdot (CW+St)+1,5 \cdot 0,6 \cdot W2$ (a)
24	Pozycja nr 1 / Pozycja nr 2	4 - H 100x100x 4.0	SGU	0,046		$CW+St+S1$
23	Pozycja nr 1 / Pozycja nr 2	4 - H 100x100x 4.0	Zginanie	0,045		$1,35 \cdot (CW+St)+1,5 \cdot 0,6 \cdot W2$ (a)

OBLICZENIA STATYCZNE	projektował: konstr.-budowl.	mgr inż. Karol Peplowski Nr upr. MAZ/0379/PWBKb/16	
	sprawdzający: konstr.-budowl.	mgr inż. Piotr Gesek Nr upr. MAZ/0874/PWBKb/18	

kwiecień 2019 r.