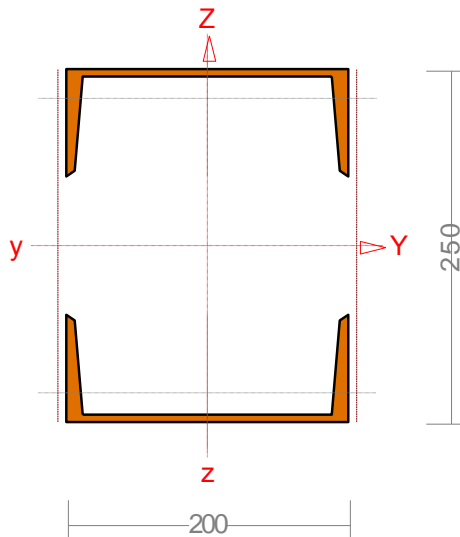


Pręt nr 4

Wyniki wymiarowania stali wg PN-EN 1993 (Stal1993_3d v. 1.42)

Zadanie: Hala stalowa z suwnicą - PN-EN.rm3

Przekrój: 1,9



Wymiary przekroju:

$h=200,0$ $s=76,0$ $g=5,2$ $t=9,1$ $r=9,5$ $e_y=20,7$.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$I_{yg}=5317,1$ $I_{zg}=3040,0$ $A=46,80$ $i_y=10,7$ $i_z=8,1$ $I_w=14635,7$
 $I_t=9,6$ $i_s=9,6$.

Materiał: **S 355**. Granica plastyczności $f_y=355$ MPa oraz wytrzymałość na rozciąganie $f_u = 490$ dla $g=5,2$.

Połączenie gałęzi:

Przyjęto skratowanie o rozstawie węzłów $l_1 = 555,6$ mm (układ skratowania: 2 wg rys. 6.9). Pręty skratowania zaprojektowano z **L 50x50x5** ze stali S 355. Zastępcze momenty bezwładności elementu złożonego:

$$I_{yeff} = 0,5 h_0^2 A_{ch} = 0,5 \times 20,86^2 \times 23,40 = 5091,1 \text{ cm}^4$$

Długości wyboczeniowe pręta:

Przęsło Yc 2 (1,500;5,000)

Przyjęto:

$$\kappa_a = 0,077 \quad \kappa_b = 0,997 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \quad \Rightarrow \quad \mu = 0,711 \quad \text{dla } l_0 = 3,500$$
$$l_w = 0,711 \times 3,500 = 2,488 \text{ m}$$

Przęsło Zc 2 (1,500;5,000)

Przyjęto:

$$\kappa_a = 0,588 \quad \kappa_b = 0,000 \quad \text{węzły przesuwne} \quad \Rightarrow \quad \mu = 1,294 \quad \text{dla } l_0 = 3,500$$
$$l_w = 1,294 \times 3,500 = 4,529 \text{ m}$$

Przęsło ω 2 (1,500;5,000)

Dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_\omega = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{\omega\omega} = 3,500$ m. Długość wyboczeniowa $l_\omega = 3,500$ m.

Sily krytyczne:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{wy}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 5091,1}{2,488^2} \times 10^{-2} = 17039,55 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l_{wz}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 3040,0}{4,529^2} \times 10^{-2} = 3071,77 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EI_\omega}{l_\omega^2} + GI_T \right) = \frac{1}{9,61^2} \times \left(\frac{3,1416^2 \times 210 \times 14635,7}{3,500^2} \times 10^{-2} + 81 \times 9,58 \times 10^2 \right) = 1107,81 \text{ kN}$$

Zwicherungie:

Przęsło nr: 1 (0,000;1,500)

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: $A_1 = 0,000$, $A_2 = 0,000$, $B = 0,000$.

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

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

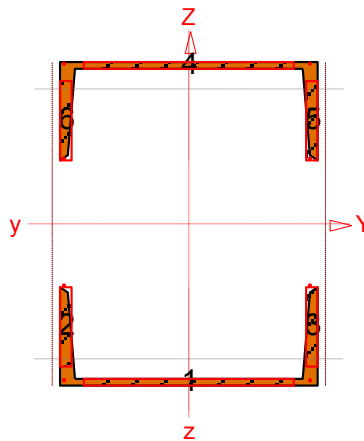
$$0,000 \times 10870,76 + \sqrt{(0,000 \times 10870,76)^2 + 0,000^2 \times 0,096^2 \times 10870,76 \times 2298,1} = 0 \text{ kNm}$$

Stan graniczny nośności.

$x_a = 5,000$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: CW+1,35·St+1,5·Wl

Przyjęto następujące współczynniki częściowe γ_M :

$$\gamma_{M0} = 1; \gamma_{M1} = 1; \gamma_{M2} = 1,25.$$



Klasa przekroju:

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/355} = 0,814$$

Nr:	c [mm]	t [mm]	α	ψ	k_σ	(c/t) ₁	(c/t) ₂	(c/t) ₃	c/t	Klasa
1	162,9	5,2	1,000	0,396	-	26,849	30,917	42,677	31,323	3
2	61,3	9,1	1,000	0,992	0,434	7,323	8,136	11,257	6,767	1
3	61,3	9,1	1,000	0,974	0,44	7,323	8,136	11,331	6,767	1
4	162,9	5,2	0,531	0,374	-	54,618	62,893	43,067	31,323	1
5	61,3	9,1	0,065	0,972	0,432	112,218	124,687	11,230	6,767	1
6	61,3	9,1	1,000	0,991	0,431	7,323	8,136	11,212	6,767	1

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **3**.

Nośność na ściskanie:

$x_a = 5,000$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: 1,35·(CW+St)+1,5·(Snl+Snp+Ww)

Siła osiowa:

$$N_{Ed} = -113,84 \text{ kN}$$

Pole powierzchni przekroju:

$$A = 46,80 \text{ cm}^2$$

Pole powierzchni przekroju efektywnego:

$$A_{eff} = 46,80 \text{ cm}^2$$

Przesunięcie środka ciężkości:

$$e_{Ny} = 0,00; \quad e_{Nz} = 0,00 \text{ cm.}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{46,80 \times 355}{1} \times 10^{-1} = 1661,4 \text{ kN} \quad (6.10)$$

Warunek nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{113,84}{1661,4} = \mathbf{0,069} < \mathbf{1} \quad (6.9)$$

Wyboczenie dla osi Y (krzywa "d")	Wyboczenie dla osi Z (krzywa "d")	Wyboczenie skrętne (krzywa "d")
$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_y}{N_{\text{cr},y}}} = \sqrt{\frac{46,8 \times 355}{17039,55 \times 10}} = 0,312$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] =$ $0,5 \times [1 + 0,76 \times (0,312 - 0,2) + 0,312^2] = 0,591$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,591 + \sqrt{0,591^2 - 0,312^2}} =$ $0,914$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_y}{N_{\text{cr},z}}} = \sqrt{\frac{46,8 \times 355}{3071,77 \times 10}} = 0,735$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] =$ $0,5 \times [1 + 0,76 \times (0,735 - 0,2) + 0,735^2] = 0,974$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,974 + \sqrt{0,974^2 - 0,735^2}} =$ $0,620$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_y}{N_{\text{cr},T}}} = \sqrt{\frac{46,8 \times 355}{1107,81 \times 10}} = 1,225$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] =$ $0,5 \times [1 + 0,76 \times (1,225 - 0,2) + 1,225^2] = 1,639$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,639 + \sqrt{1,639^2 - 1,225^2}} =$ $0,366$
przyjęto $\chi = 0,914 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,620 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,366 \leq 1$

Przyjęto najmniejszą wartość współczynnika $\chi = 0,366$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,366 \times 46,80 \times 355}{1} \times 10^{-1} = 608,83 \text{ kN} \quad (6.47)$$

Warunek stateczności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{113,84}{608,83} = \mathbf{0,187} < \mathbf{1} \quad (6.46)$$

Nośność przekroju na skręcanie:

$x_a = 1,500$; $x_b = 3,500$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+1,35·St+1,5·(Snl+Ww)

Nośność przekroju wielogałęziowego wyznaczono przy założeniu zeszytywnienia konturu przekroju (brak dystorsji).

Naprężenia przy skręcaniu swobodnym:

$$W_t = \frac{J_t}{t_{\text{max}}} = \frac{9,58}{0,89} = 10,83 \text{ cm}^3$$

$$T_{Rd} = \frac{W_t f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{10,83 \times 355}{1,732 \times 1} \times 10^{-3} = 2,22 \text{ kNm}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{0,08}{2,22} = \mathbf{0,036} < \mathbf{1} \quad (6.23)$$

Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 5,000$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: 1,35·(CW+St)+1,5·(Snl+Snp+Wl)

- wzdłuż osi Z

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{27,54 \times 355 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 564,46 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{48,89}{564,46} = \mathbf{0,087} < \mathbf{1}$$

- wzdłuż osi Y

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{21,92 \times 355 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 449,33 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{2,03}{449,33} = \mathbf{0,005} < \mathbf{1}$$

Dla materiału o granicy plastyczności 355 MPa, przyjęto $\eta = 1,2$.

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

$$h_w / t_w = 162,9/5,2 = \mathbf{31,323} < \mathbf{48,590} = 72 \times 0,814/1,200 = 72 \varepsilon / \eta$$

Nośność przekroju na zginanie:

xa = 0,000; xb = 5,000; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: 1,35·(CW+St)+1,5·(Snl+Snp+Suw+Wl)

Nośność na zginanie względem osi Y:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{993,31 \times 355}{1} \times 10^{-3} = 352,62 \text{ kNm}$$

Nośność na zginanie względem osi Z:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{304,00 \times 355}{1} \times 10^{-3} = 107,92 \text{ kNm}$$

Największe naprężenia normalne z uwzględnieniem ścinania:

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed} z}{J_y} + \frac{M_{z,Ed} y}{J_z} = \frac{-85,47}{46,8} \times 10 - \frac{-245,98 \times -25}{24832,73} \times 10^3 - \frac{0,72 \times 10}{3040} \times 10^3 = -268,27 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Ed} = \mathbf{268,27} < \mathbf{355} = \frac{355}{1} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.42)$$

Ostrożne przybliżenie nośności (nie jest warunkiem decydującym):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{85,47}{1661,4} + \frac{245,98}{352,62} + \frac{0,72}{107,92} = \mathbf{0,756} < \mathbf{1} \quad (6.2)$$

Zginanie (stateczność):

xa = 0,000; xb = 5,000; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: 1,35·(CW+St)+1,5·(Snl+Snp+Suw+Wl)

Nie uwzględniono zwichrzenia pręta.

Warunek stateczności przy zginaniu:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1,000 \times 993,31 \times \frac{355}{1} \times 10^{-3} = 352,62 \text{ kNm} \quad (6.55)$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{245,98}{352,62} = \mathbf{0,698} < \mathbf{1} \quad (6.54)$$

Nośność (stateczność) pręta zginanego i ściskanego:

Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: 1,35·(CW+St)+1,5·(Snl+Snp+Suw+Wl)

Współczynniki interakcji według metody 2:

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \psi = 0,6 + 0,4 \times 0,724 = 0,889; \quad \text{przyjęto } C_{my} = 0,889$$

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

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,889 \times \left(1 + 0,6 \times 0,0618 \times \frac{86,22}{1,000 \times 1661,40/1} \right) = 0,891$$

$$\text{przyjęto } k_{yy} = \mathbf{0,891} \leq 0,917 = 0,889 \times \left(1 + 0,6 \times \frac{86,22}{1,000 \times 1661,40/1} \right) = C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,900 \times \left(1 + 0,6 \times 0,391 \times \frac{86,22}{0,857 \times 1661,40/1} \right) = 0,913$$

$$\text{przyjęto } k_{zz} = \mathbf{0,913} \leq 0,933 = 0,900 \times \left(1 + 0,6 \times \frac{86,22}{0,857 \times 1661,40/1} \right) = C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yz} = k_{zz} = 0,913$$

$$k_{zy} = 0,8 k_{yy} = 0,8 \times 0,891 = 0,713$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{85,89}{1,000 \times 1661,4/1} + 0,891 \times \frac{245,98 + 5,09E-16}{1,000 \times 318,56/1} +$$

$$0,913 \times \frac{2,13 + 0}{107,92/1} = \mathbf{0,758} < \mathbf{1} \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{85,89}{0,857 \times 1661,4/1} + 0,713 \times \frac{245,98 + 5,09E-16}{1,000 \times 318,56/1} +$$

$$0,913 \times \frac{2,13 + 0}{107,92/1} = \mathbf{0,629} < \mathbf{1} \quad (6.62)$$

Nośność środnika pod obciążeniem skupionym:

$x_a = 5,000$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (Snl+Snp+Ww)$

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego $s_s = 100,0$ mm oraz typ obciążenia środnika (**a**). Dodatkowo przyjęto rozstaw żeber poprzecznych $a = 5,000$ m. Nośność najbardziej obciążonego środnika:

$$k_F = 6 + 2 (h_w / a)^2 = 6 + 2 \times (162,9 / 5000,0)^2 = 6,00$$

$$m_1 = f_{yf} b_f / f_{yw} t_w = 355 \times 73,4 / (355 \times 5,2) = 14,115$$

$$m_2 = 0,02 (h_w / t_f)^2 = 0,02 \times (162,9 / 9,1)^2 = 6,465$$

$$l_y = s_s + 2t_f (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) = 100,0 + 2 \times 9,1 \times (1 + \sqrt{14,115 + 6,465}) = 200,3 \quad \text{przyjęto } l_y = 200,3 \leq a$$

$$F_{cr} = 0,9 k_F E t_w^3 / h_w = 0,9 \times 6,00 \times 210 \times 5,2^3 / 162,9 = 979,28 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{200,3 \times 5,2 \times 355 \times 10^3}{979,28}} = 0,614$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,614} = 0,814 \text{ przyjęto } \chi_F = 0,814 \leq 1,0$$

$$L_{eff} = \chi_F l_y = 0,814 \times 200,3 = 163,0 \text{ mm}$$

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{355 \times 163,0 \times 5,2 \times 10^3}{1} = 300,88 \text{ kN} \quad (6.1 \text{ EN } 1993-1-5)$$

Warunki nośności środnika:

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{1,15}{300,88} = \mathbf{0,004} < \mathbf{1} \quad (6.14 \text{ EN } 1993-1-5)$$

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{y,N}}{f_y W_{y,eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{z,N}}{f_y W_{z,eff} / \gamma_{M0}} = \frac{113,84}{46,8 \times 355/1} \times 10 + \frac{0,74 + 113,84 \times 0,000}{425,37 \times 355/1} \times 10^3 +$$

$$\frac{3,83 + 113,84 \times 0,000}{304 \times 355/1} \times 10^3 = 0,109 \quad (4.15 \text{ EN } 1993-1-5)$$

$$\eta_2 + 0,8 \eta_1 = 0,004 + 0,8 \times 0,109 = \mathbf{0,091} < \mathbf{1,4} \quad (7.2 \text{ EN } 1993-1-5)$$

Nośność pręta złożonego:

$x_a = 0,000$; $x_b = 5,000$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (Snl+Snp+Suw+Wl)$

Sztywność pręta:

- dla osi Y

$$S_v = \frac{n E A_d a h_0^2}{d^3} = \frac{2 \times 210 \times 4,80 \times 55,56 \times 45,86^2}{72,04^3} \times 10^2 = 63007,23 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed} e_0 + M_{Ed}^I}{1 - N_{Ed}/N_{cr} - N_{Ed}/S_v} = \frac{85,47 \times 0,0100 + 245,98}{1 - 85,47/526723,59 - 85,47/63007,23} = 247,21 \text{ kNm}$$

$$N_{ch,Ed,max} = \frac{N_{Ed}}{n} + \frac{M_{Ed} h_0 A_{ch}}{2 I_{eff} m} = \frac{-85,47}{2} + \frac{247,21 \times 45,86 \times 23,40}{2 \times 24606,73 \times 1} \times 10^8 = 496,32 \text{ kN}$$

$$N_{ch,Ed,min} = \frac{N_{Ed}}{n} - \frac{M_{Ed} h_0 A_{ch}}{2 I_{eff} m} = \frac{-85,47}{2} - \frac{247,21 \times 45,86 \times 23,40}{2 \times 24606,73 \times 1} \times 10^8 = -581,79 \text{ kN}$$

Siły poprzeczne:

$$V_{z,Ed} = 155,33 \geq 155,33 = \pi \times 247,21 / 5 = \pi M_{Ed} / L$$

Momenty zginające gałęzi:

$$M_{ch,y,Ed} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{ch,z,Ed} = M_{z,Ed} / n = 0,36 \text{ kNm}$$

Nośność gałęzi:

- nośność plastyczna

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,40 \times 355}{1} \times 10^{-1} = 830,7 \text{ kN} \quad (6.6)$$

- nośność graniczna

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 23,40 \times 490}{1,25} \times 10^{-1} = 825,55 \text{ kN} \quad (6.7)$$

Nośność na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = 830,7 \text{ kN}$$

Warunek nośności (6.5):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{581,79}{830,7} = \mathbf{0,700} < \mathbf{1} \quad (6.5)$$

Stateczność gałęzi:

Wyboczenie dla osi Y (krzywa "c")	Wyboczenie dla osi Z (krzywa "c")	Wyboczenie giętko-skrętne (krzywa "c")
$N_{cr,y} = \pi^2 EI_y / l^2 = \pi^2 \times 210 \times 1520,00 / 55,56^2 \times 10^2 = 102072,24$ $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{23,37 \times 355}{102072,24 \times 10}} = 0,090$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,090 - 0,2) + 0,090^2] = 0,477$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,477 + \sqrt{0,477^2 - 0,090^2}} = 1,057$	$N_{cr,z} = \pi^2 EI_z / l^2 = \pi^2 \times 210 \times 113,00 / 55,56^2 \times 10^2 = 7588,27$ $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{23,37 \times 355}{7588,27 \times 10}} = 0,331$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,331 - 0,2) + 0,331^2] = 0,587$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,587 + \sqrt{0,587^2 - 0,331^2}} = 0,933$	$N_{cr,TF} = 5821,94$ $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,TF}}} = \sqrt{\frac{23,37 \times 355}{5821,94 \times 10}} = 0,377$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,377 - 0,2) + 0,377^2] = 0,615$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,615 + \sqrt{0,615^2 - 0,377^2}} = 0,909$
przyjęto $\chi = 1,000 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,933 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,909 \leq 1$

Przyjęto najmniejszą wartość współczynnika $\chi = 0,909$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,909 \times 23,37 \times 355}{1} \times 10^{-1} = 754,28 \text{ kN} \quad (6.48)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{581,79}{754,28} = \mathbf{0,771} < \mathbf{1} \quad (6.46)$$

Nośność krzyżulca skratowania w kierunku osi Z:

Wyboczenie dla osi Y (krzywa "b")	Wyboczenie dla osi Z (krzywa "b")	Wyboczenie giętno-skretne (krzywa "b")
$N_{cr,y} = \pi^2 EI_y / l^2 = \pi^2 \times 210 \times 17,41 / 72,04^2 \times 10^2 = 695,32$ $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{4,8 \times 355}{695,32 \times 10}} = 0,495$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] =$ $0,5 \times [1 + 0,34 \times (0,495 - 0,2) + 0,495^2] = 0,673$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,673 + \sqrt{0,673^2 - 0,495^2}} =$ $0,886$	$N_{cr,z} = \pi^2 EI_z / l^2 = \pi^2 \times 210 \times 4,59 / 72,04^2 \times 10^2 = 183,32$ $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{4,8 \times 355}{183,32 \times 10}} = 0,964$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] =$ $0,5 \times [1 + 0,34 \times (0,964 - 0,2) + 0,964^2] = 1,095$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,095 + \sqrt{1,095^2 - 0,964^2}} =$ $0,620$	$N_{cr,TF} = 349,95$ $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,TF}}} = \sqrt{\frac{4,8 \times 355}{349,95 \times 10}} = 0,698$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] =$ $0,5 \times [1 + 0,34 \times (0,698 - 0,2) + 0,698^2] = 0,828$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,828 + \sqrt{0,828^2 - 0,698^2}} =$ $0,785$
przyjęto $\chi = 0,886 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,620 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,785 \leq 1$

Przyjęto najmniejszą wartość współczynnika $\chi = 0,620$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,620 \times 4,80 \times 355}{1} \times 10^{-1} = 105,64 \text{ kN} \quad (6.48)$$

Warunek stateczności:

$$N_{Ed} = V_{Ed} d / h_0 / n = 155,33 \times 72,0 / 45,86 / 2 = 122,00 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{122}{105,64} = \mathbf{1,155} > \mathbf{1} \quad (6.46)$$

Przyjęto spoiny pachwinowe o długości $l = 98,6 \text{ mm}$ i grubości $a = 3,5 \text{ mm}$.

$$F_{w,Ed} = N_{Ed} / l = 122,00 / 98,6 \times 10^3 = 1237,19 \text{ kN/m}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} a = \frac{490 / \sqrt{3}}{0,9 \times 1,25} \times 3,5 = 880,14 \text{ kN/m} \quad (4.3 \text{ i } 4.4 \text{ EN } 1993-1-8)$$

$$F_{w,Ed} = \mathbf{1237,19} > \mathbf{880,14} = F_{w,Rd} \quad (4.2 \text{ EN } 1993-1-8)$$

Stan graniczny użyteczności:

Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: CW+St+Snl+Snp+Wl

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{max} = 4,0 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = 1 / 250 = 3500 / 250 = 14,0 \text{ mm}$$

$$a_{max} = \mathbf{4,0} < \mathbf{14,0} = a_{gr}$$

Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{max} = 0,1 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = 1 / 250 = 3500 / 250 = 14,0 \text{ mm}$$

$$a_{max} = \mathbf{0,1} < \mathbf{14,0} = a_{gr}$$

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = 4,022 \text{ mm}; \quad L / a = 3500,0 / 4,022 = 870,2$$