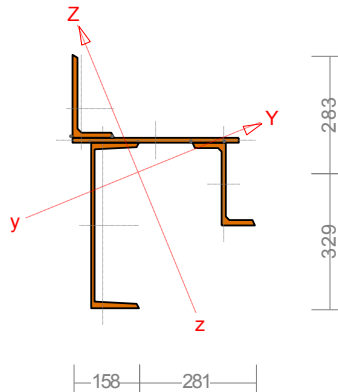


Pręt nr 2

Wyniki wymiarowania stali wg PN-EN 1993 (Stal1993_2d v. 1.3 licencja)

Zadanie: P_OFFER

Przekrój: 8 - Złożony



Wymiary przekroju:

$h=612,0$ $s=438,7$.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$I_{yg}=41490,1$ $I_{zg}=34953,6$ $A=183,00$ $i_y=15,1$ $i_z=13,8$

$I_w=4016961,5$ $I_t=192,2$ $y_s=-5,5$ $z_s=17,9$ $i_s=27,2$.

Materiał: **S 275**. Granica plastyczności $f_y=275$ MPa oraz wytrzymałość na rozciąganie $f_u = 430$ dla $g=8,0$.

Obciążenia prostopadłe:

Obciążenia działające prostopadle do płaszczyzny układu:

- obciążenie rozłożone $q = 0$ kN/m,
- momenty przywęzłowe $M_a = 0$, $M_b = 0$ kNm,
- moment skręcający $T = 0$ kNm.

Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla tych obciążeń wynosi $\gamma_f = 1$.

Długości wybozeniowe pręta:

Przęsło Yc

Przyjęto:

$$\kappa_a = 0,449 \quad \kappa_b = 0,268 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \quad \Rightarrow \quad \mu = 0,619 \quad \text{dla } l_o = 3,000$$
$$l_w = 0,619 \times 3,000 = 1,857 \text{ m}$$

Przęsło Zc

Przyjęto następujące podatności węzłów:

$$\kappa_a = 1,000 \quad \kappa_b = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \quad \Rightarrow \quad \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_o = 3,000$$
$$l_w = 1,000 \times 3,000 = 3,000 \text{ m}$$

Przęsło ω

Długości wybozeniowe dla osi głównych:

$$Y: \quad \kappa_a = 0,528 \quad \kappa_b = 0,374 \quad \kappa_v = 0,000 \quad \Rightarrow \quad \mu = 0,929 \quad \text{dla } l_o = 3,000$$
$$l_w = 0,929 \times 3,000 = 2,787 \text{ m}$$

$$Z: \quad \kappa_a = 0,921 \quad \kappa_b = 0,895 \quad \kappa_v = 0,000 \quad \Rightarrow \quad \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_o = 3,000$$
$$l_w = 1,000 \times 3,000 = 3,000 \text{ m}$$

Siły krytyczne:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{wy}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 41490,1}{2,787^2} \times 10^{-2} = 110710,6 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l_{wz}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 34953,6}{3,000^2} \times 10^{-2} = 80494,86 \text{ kN}$$

Dla przekroju niesymetrycznych siłę krytyczną przy wybozeniu giętno-skrętnego ustalono na podstawie odrębnej analizy i wynosi ona:

$$N_{cr,TF} = 12944,59 \text{ kN}$$

Zwichrzenie:

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia $a_o = 0,00$ cm. Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły $a_s = (-17,93)$ cm. Przyjęto następujące wartości parametrów zwichrzenia: $A_1 = 0,000$, $A_2 = 0,000$, $B = 0,000$.

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,000 \times 23,47 + 0,000 \times (-17,93) = 0,000$$

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

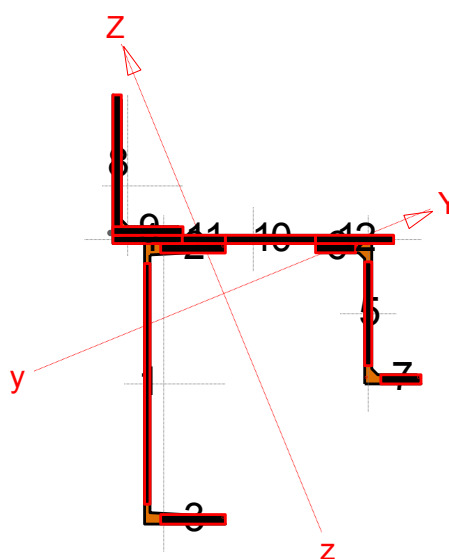
$$-0,000 \times 80494,86 + \sqrt{(0,000 \times 80494,86)^2 + 0,000^2 \times 0,272^2 \times 80494,86 \times 14619,5} = 0 \text{ kNm}$$

Stan graniczny nośności.

$x_a = 3,000$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: $1,35 \cdot 0,85 \cdot (CW+C) + 1,5 \cdot (L+P+T)$ (b)

Przyjęto następujące współczynniki częściowe γ_M :

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



Klasa przekroju:

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/275} = 0,924$$

Nr:	c [mm]	t [mm]	α	ψ	k_σ	(c/t) ₁	(c/t) ₂	(c/t) ₃	c/t	Klasa
1	343,1	8,0	0,820	-0,744	-	37,911	43,655	91,447	42,887	2
2	92,0	13,5	0,793	0,000	-	39,306	45,261	INF	6,840	1
3	92,0	13,5	1,000	0,699	0,457	8,320	9,244	13,129	6,840	1
4	99,0	12,0	0,174	0,000	-	191,513	220,772	INF	8,250	1
5	148,0	10,0	1,000	0,579	-	30,506	35,128	45,087	14,800	1
6	57,0	13,0	1,000	0,611	-	30,506	35,128	44,548	4,385	1
7	57,0	13,0	1,000	0,860	0,441	8,320	9,244	12,894	4,385	1
8	200,0	12,0	0,106	0,000	0	242,747	269,719	INF	16,667	1
9	100,0	12,0	0,231	0,000	-	143,926	165,914	INF	8,333	1
10	128,7	12,0	1,000	-0,644	-	30,506	35,128	84,875	10,725	1
11	61,0	12,0	1,000	0,000	-	30,506	35,128	INF	5,083	1
12	111,3	12,0	1,000	0,413	0,495	8,320	9,244	13,661	9,275	3

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **3**.

Nośność na ściskanie:

$x_a = 0,000$; $x_b = 3,000$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: $1,35 \cdot (CW+C) + 1,5 \cdot (L+P+T)$ (a)

Siła osiowa: $N_{Ed} = -44,19$ kN

Pole powierzchni przekroju: $A = 183,00$ cm²

Pole powierzchni przekroju efektywnego: $A_{eff} = 183,00$ cm²

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{183,00 \times 275}{1} \times 10^{-1} = 5032,5 \text{ kN} \quad (6.10)$$

Warunek nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{44,19}{5032,5} = \mathbf{0,009} < \mathbf{1} \quad (6.9)$$

Stateczność elementu ściskanego:

Wyboczenie dla osi Y (krzywa "d")	Wyboczenie dla osi Z (krzywa "d")	Wyboczenie giętno-skrętne (krzywa "d")
$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{183 \times 275}{110710,6 \times 10}} = 0,213$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] =$ $0,5 \times [1 + 0,76 \times (0,213 - 0,2) + 0,213^2] = 0,528$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,528 + \sqrt{0,528^2 - 0,213^2}} = 0,990$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{183 \times 275}{80494,86 \times 10}} = 0,250$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] =$ $0,5 \times [1 + 0,76 \times (0,250 - 0,2) + 0,250^2] = 0,550$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,550 + \sqrt{0,550^2 - 0,250^2}} = 0,961$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,TF}}} = \sqrt{\frac{183 \times 275}{12944,59 \times 10}} = 0,624$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] =$ $0,5 \times [1 + 0,76 \times (0,624 - 0,2) + 0,624^2] = 0,855$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,855 + \sqrt{0,855^2 - 0,624^2}} = 0,694$
przyjęto $\chi = 0,990 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,961 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,694 \leq 1$

Przyjęto najmniejszą wartość współczynnika $\chi = 0,694$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,694 \times 183,00 \times 275}{1} \times 10^{-1} = 3492,81 \text{ kN} \quad (6.47)$$

Warunek stateczności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{44,19}{3492,81} = \mathbf{0,013} < \mathbf{1} \quad (6.46)$$

Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 3,000$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: $1,35 \cdot (CW+C) + 1,5 \cdot (L+P+T)$ (a)

- wzdłuż osi Z

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{150,80 \times 275 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 2394,28 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{8,10}{2394,28} = \mathbf{0,003} < \mathbf{1}$$

- wzdłuż osi Y

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{222,03 \times 275 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 3525,27 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{3,32}{3525,27} = \mathbf{0,001} < \mathbf{1}$$

Dla materiału o granicy plastyczności 275 MPa, przyjęto $\eta = 1,2$.

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

$$h_w / t_w = 343,1/8,0 = 42,887 < 55,454 = 72 \times 0,924/1,200 = 72 \varepsilon / \eta$$

Nośność przekroju na zginanie:

xa = 3,000; xb = 0,000; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: 1,35·(CW+C)+1,5·(L+P+T) (a)

Nośność na zginanie względem osi Y:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1289,29 \times 275}{1} \times 10^{-3} = 354,55 \text{ kNm}$$

Nośność na zginanie względem osi Z:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1366,98 \times 275}{1} \times 10^{-3} = 375,92 \text{ kNm}$$

Największe naprężenia normalne z uwzględnieniem ścinania:

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed} z}{J_y} + \frac{M_{z,Ed} y}{J_z} = \frac{-38,37}{183} \times 10 - \frac{-63,17 \times -22,58}{41490,06} \times 10^3 - \frac{25,89 \times 21,11}{34953,58} \times 10^3 = -52,11 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Ed} = 52,11 < 275 = \frac{275}{1} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.42)$$

Ostrożne przybliżenie nośności (nie jest warunkiem decydującym):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{38,37}{5032,5} + \frac{63,17}{354,55} + \frac{25,89}{375,92} = 0,255 < 1 \quad (6.2)$$

Nośność (stateczność) pręta zginanego i ściskanego:

Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: 1,35·(CW+C)+1,5·(L+P+T) (a)

Współczynniki interakcji według metody 2:

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \psi = 0,6 + 0,4 \times 0,615 = 0,846; \quad \text{przyjęto } C_{my} = 0,846$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \psi = 0,6 + 0,4 \times 0,615 = 0,846; \quad \text{przyjęto } C_{mz} = 0,846$$

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,846 \times \left(1 + 0,6 \times 0,213 \times \frac{44,19}{0,990 \times 5032,50/1} \right) = 0,847$$

$$\text{przyjęto } k_{yy} = 0,847 \leq 0,851 = 0,846 \times \left(1 + 0,6 \times \frac{44,19}{0,990 \times 5032,50/1} \right) = C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,846 \times \left(1 + 0,6 \times 0,250 \times \frac{44,19}{0,961 \times 5032,50/1} \right) = 0,847$$

$$\text{przyjęto } k_{zz} = 0,847 \leq 0,851 = 0,846 \times \left(1 + 0,6 \times \frac{44,19}{0,961 \times 5032,50/1} \right) = C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yz} = k_{zz} = 0,847$$

$$k_{zy} = 0,8 \quad k_{yy} = 0,8 \times 0,847 = 0,678$$

Warunki nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{44,19}{0,990 \times 5032,5/1} + 0,847 \times \frac{63,17+0}{1,000 \times 354,55/1} + 0,847 \times \frac{25,89+1,80E-16}{375,92/1} = 0,218 < 1 \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{44,19}{0,961 \times 5032,5/1} + 0,678 \times \frac{63,17+0}{1,000 \times 354,55/1} + 0,847 \times \frac{25,89+1,80E-16}{375,92/1} = 0,188 < 1 \quad (6.62)$$

Nośność środnika pod obciążeniem skupionym:

xa = 3,000; xb = 0,000; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: 1,35·(CW+C)+1,5·(L+P+T) (a)

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego $s_s = 100,0$ mm oraz typ obciążenia środnika (a). Dodatkowo przyjęto rozstaw żeber poprzecznych $a = 3,000$ m. Nośność najbardziej obciążonego środnika:

$$k_F = 6 + 2 (h_w / a)^2 = 6 + 2 \times (148,0 / 3000,0)^2 = 6,00$$

$$m_1 = f_{yf} b_f / f_{yw} t_w = 275 \times 37,5 / (275 \times 10,0) = 3,750$$

$$m_2 = 0,000$$

$$l_y = s_s + 2t_f (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) = 100,0 + 2 \times 13,0 \times (1 + \sqrt{3,750 + 0,000}) = 176,3 \quad \text{przyjęto } l_y = 176,3 \leq a$$

$$F_{cr} = 0,9 k_F E t_w^3 / h_w = 0,9 \times 6,00 \times 210 \times 10,0^3 / 148,0 = 7668,38 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{176,3 \times 10,0 \times 275 \times 10^6}{7668,38}} = 0,251$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,251} = 1,988 \quad \text{przyjęto } \chi_F = 1,000 \leq 1,0$$

$$L_{eff} = \chi_F l_y = 1,000 \times 176,3 = 176,3 \text{ mm}$$

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{275 \times 176,3 \times 10,0 \times 10^6}{1} = 484,96 \text{ kN} \quad (6.1 \text{ EN 1993-1-5})$$

Warunki nośności środnika:

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{2,91}{484,96} = 0,006 < 1 \quad (6.14 \text{ EN 1993-1-5})$$

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{y,N}}{f_y W_{y,eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{z,N}}{f_y W_{z,eff} / \gamma_{M0}} = \frac{38,37}{183 \times 275 / 1} \times 10 + \frac{63,17 + 38,37 \times 0,000}{1289,29 \times 275 / 1} \times 10^3 + \frac{25,89 + 38,37 \times 0,000}{1366,98 \times 275 / 1} \times 10^3 = 0,255 \quad (4.15 \text{ EN 1993-1-5})$$

$$\eta_2 + 0,8 \eta_1 = 0,006 + 0,8 \times 0,255 = 0,210 < 1,4 \quad (7.2 \text{ EN 1993-1-5})$$

Stan graniczny użyteczności:

Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+C+L+P+T

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

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

$$a_{gr} = 1 / 250 = 3000 / 250 = 12,0 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 0,1 < 12,0 = a_{gr}$$

Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą:

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

$$a_{gr} = 1 / 250 = 3000 / 250 = 12,0 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 0,0 < 12,0 = a_{gr}$$

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = 0,061 \text{ mm}; \quad L / a = 3000,0 / 0,061 = 49503,7$$