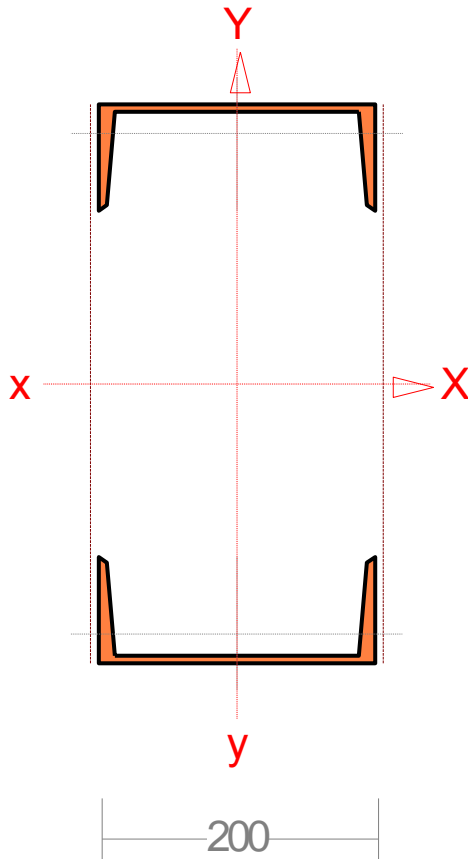


Pręt nr 8

Wyniki wymiarowania stali wg PN-90/B-03200 (Stal_3d v. 3.33)

Zadanie: Hala stalowa.rm3

Przekrój: 1 - 2 U 200 E



Wymiary przekroju:

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

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_x=15271,5$ $J_y=3040,0$ $A=46,80$ $i_x=18,1$ $i_y=8,1$ $J_w=14635,7$
 $J_t=9,6$ $i_s=9,6$.

Materiał: **St3S (X,Y,V,W)**. Wytrzymałość **fd=215 MPa** dla **g=9,1**.

Długości wyboczeniowe pręta:

Przęsło Xc: 2 (1,500;5,000)

Przyjęto podatności węzłów ustalone wg załącznika 1 normy:

$\kappa_a = 0,300$ $\kappa_b = 0,998$ węzły nieprzesuwne \Rightarrow
 $\mu = 0,762$ dla $l_o = 3,500$

$l_w = 0,762 \times 3,500 = 2,667$ m

Przęsło Yc: 2 (1,500;5,000)

Przyjęto podatności węzłów ustalone wg załącznika 1 normy:

$\kappa_a = 0,417$ $\kappa_b = 0,579$ węzły przesuwne \Rightarrow $\mu =$
 $1,467$ dla $l_o = 3,500$

$l_w = 1,467 \times 3,500 = 5,134$ m

Przęsło ω : 2 (1,500;5,000)

Dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_\omega = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{\omega 0} = 3,500$ m. Długość wyboczeniowa $l_\omega = 3,500$ m.

Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 15271,5 \times 10^{-2}}{2,667^2} = 43439,93 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 3040,0 \times 10^{-2}}{5,134^2} = 2333,09 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EJ_\omega}{l_\omega^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{9,6^2} \left(\frac{3,14^2 \times 205 \times 14635,7 \times 10^{-2}}{3,500^2} + 80 \times 9,6 \times 10^2 \right) = 1E20 \text{ kN}$$

Zwicherungie:

Przęsło 1 (0,000;1,500)

Przyjęto, że pręt jest zabezpieczony przed zwicherungiem: $\bar{\lambda}_L = 0$.

Połączenie gałęzi:

Przyjęto skratowanie o rozstawie węzłów $l_1 = 833,3$ mm. Pręty skratowania zaprojektowano z **L 70x50x7** ze stali St0S.

$$\lambda_p = 84 \sqrt{215 / f_d} = 84 \times \sqrt{215 / 215} = 84,00$$

Smukłość postaciowa:

- dla wyboczenia w płaszczyźnie prostopadłej do osi X

$$A_\alpha = A_D \operatorname{tg} \alpha = 7,96 \times 0,430 = 3,43 \text{ cm}^2 \quad \text{Przyjęto } A_\alpha = 3,43 \text{ cm}^2$$

$$\lambda_v = 5,3 \sqrt{\frac{A}{n A_\alpha}} = 5,3 \times \sqrt{\frac{46,80}{2 \times 3,43}} = 13,853$$

Współczynniki redukcji nośności:

Współczynnik niestateczności dla ścianki przy ściskaniu wynosi $\varphi_p = 1,000$. Współczynnik niestateczności gałęzi wynosi:

$$\lambda_1 = l_1 / i_1 = 833,3 / 22,0 = 37,88$$

$$\bar{\lambda} = \lambda_1 / \lambda_p = 37,88 / 84,00 = 0,451 \Rightarrow \varphi_1 = 0,891$$

W związku z tym współczynniki redukcji nośności wynoszą:

- dla zginana względem osi X: $\psi_x = 0,891$
- dla zginana względem osi Y: $\psi_y = 1,000$
- dla ściskania: $\psi_o = 0,891$

Smukłość zastępcza pręta:

- dla wyboczenia w płaszczyźnie prostopadłej do osi X

$$\lambda = l_{wx} / i_x = 2667,0 / 180,6 = 14,76$$

$$\lambda_m = \sqrt{\lambda^2 + \lambda_v^2} \cdot m / 2 = \sqrt{14,76^2 + 13,85^2 \times 2} = 20,245$$

$$\bar{\lambda}_m = \frac{\lambda_m}{\lambda_p} \sqrt{\psi_o} = \frac{20,25}{84,00} \times \sqrt{0,891} = 0,228$$

Stateczność lokalna.

$x_a = 0,000$; $x_b = 5,000$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: 1,1·CW+St+Sn+Suw+ γ_f ·WI+Ww

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **4**. Rozstaw poprzecznych usztywnień ścianki $a = 5000,0$ mm. Warunek stateczności ścianki dla ścianki najbardziej narażonej na jej utratę (9):

$$\sigma_c / \varphi_p f_d = \mathbf{0,946} < \mathbf{1}$$

Przyjęto, że przekrój wymiarowany będzie w stanie **krytycznym**.

Współczynniki redukcji nośności przekroju:

- dla zginana względem osi X: $\psi_x = \varphi_p = 0,891$
- dla zginana względem osi Y: $\psi_y = \varphi_p = 1,000$
- dla ściskania: $\psi_o = \varphi_p = 0,891$

Naprężenia (Osłabienia otworami):

$x_a = 0,000$; $x_b = 5,000$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: 1,1·CW+St+Sn+Suw+ γ_f ·WI+Ww

Naprężenia w skrajnych włóknach: $\sigma_t = 179,67$ MPa $\sigma_c = -203,43$ MPa.

Naprężenia:

- normalne: $\sigma = -11,88$ $\Delta\sigma = 191,55$ MPa $\psi_{oc} = 1,000$
- ścinanie wzdłuż osi Y: $A_v = 25,66$ cm² $\tau = 10,10$ MPa $\psi_{ov} = 1,000$
- ścinanie wzdłuż osi X: $A_v = 20,80$ cm² $\tau = 0,09$ MPa $\psi_{ov} = 1,000$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 11,88 / 1,000 + 191,55 = \mathbf{203,43} < \mathbf{215} \text{ MPa}$$

$$\tau_{ey} = \tau / \psi_{ov} = 10,10 / 1,000 = \mathbf{10,10} < \mathbf{124,70} = 0,58 \times 215 = 0,58 f_d \text{ MPa}$$

$$\tau_{ex} = \tau / \psi_{ov} = 0,09 / 1,000 = \mathbf{0,09} < \mathbf{124,70} = 0,58 \times 215 = 0,58 f_d \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_e^2 + 3 \tau_e^2} = \sqrt{203,37^2 + 3 \times 10,10^2} = \mathbf{204,12} < \mathbf{215} \text{ MPa}$$

Nośność elementów rozciąganych:

Projekt:

Pozycja:

xa = 5,000; xb = 0,000; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: 1,1·CW+St+Sn+Suw

Siła osiowa: $N = -88,04 \text{ kN}$.Pole powierzchni przekroju: $A = 46,80 \text{ cm}^2$.Nośność przekroju na rozciąganie: $N_{Rt} = A f_d = 46,80 \times 215 \times 10^{-1} = 1006,2 \text{ kN}$.

Warunek nośności (31):

$$N = \mathbf{88,04} < \mathbf{1006,2} = N_{Rt}$$

Nośność przekroju na ściskanie:

xa = 5,000; xb = 0,000; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: 1,1·CW+St+Sn+Suw

$$N_{RC} = \psi A f_d = 0,891 \times 46,8 \times 215 \times 10^{-1} = 896,52 \text{ kN}$$

Określenie współczynników wyboczeniowych:

$$\lambda_p = 84 \sqrt{215 / f_d} = 84 \times \sqrt{215 / 215} = 84,00$$

- dla wyboczenia prostopadłego do osi X:

$$\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_{lm} = 0,228 \Rightarrow \text{Tab.11 b} \Rightarrow \varphi = 0,995$$

- dla wyboczenia prostopadłego do osi Y:

$$\lambda_y = l_{wy} / i_y = 5134,5 / 80,6 = 63,71$$

$$\bar{\lambda} = \lambda_y / \lambda_p = 63,71 / 84,00 = 0,758 \Rightarrow \text{Tab.11 c} \Rightarrow \varphi = 0,707$$

Przyjęto: $\varphi = \varphi_{\min} = 0,707$

Warunek nośności pręta na ściskanie (39):

$$\frac{N}{\varphi N_{RC}} = \frac{88,04}{0,707 \times 896,52} = \mathbf{0,139} < \mathbf{1}$$

Nośność przekroju na ścinanie:xa = 5,000; xb = 0,000; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: 1,1·CW+St+Sn+Suw+ γ_t ·WI+Ww

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 \varphi_{pv} A_v f_d = 0,58 \times 1,000 \times 25,66 \times 215 \times 10^{-1} = 319,93 \text{ kN}$$

$$V_O = 0,3 V_R = 95,98 \text{ kN}$$

- wzdłuż osi X

$$V_R = 0,58 \varphi_{pv} A_v f_d = 0,58 \times 1,000 \times 20,80 \times 215 \times 10^{-1} = 259,38 \text{ kN}$$

$$V_O = 0,3 V_R = 77,81 \text{ kN}$$

Warunki nośności:

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi Y: } V = \mathbf{37,37} < \mathbf{319,93} = V_R$$

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi X: } V = \mathbf{0,14} < \mathbf{259,38} = V_R$$

Nośność przekroju na zginanie:xa = 0,000; xb = 5,000; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: 1,1·CW+St+Sn+Suw+ γ_t ·WI+Ww

- względem osi X

$$M_R = \psi W_c f_d = 0,891 \times 763,6 \times 215 \times 10^{-3} = 146,27 \text{ kNm}$$

- względem osi Y

$$M_R = \psi W_c f_d = 1,000 \times 304,0 \times 215 \times 10^{-3} = 65,36 \text{ kNm}$$

Współczynnik zwichrzenia dla $\bar{\lambda}_L = 0,000$ wynosi $\varphi_L = 1,000$

Warunek nośności (54):

$$\frac{N}{N_{RC}} + \frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} = \frac{55,6}{896,52} + \frac{145,35}{1,000 \times 146,27} + \frac{0,36}{65,36} = \mathbf{1,061} > \mathbf{1}$$

Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:

Pozycja:

xa = 0,000; xb = 5,000; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: 1,1·CW+St+Sn+Suw+γ_f·WI+Ww- dla zginania względem osi X: $V_y = 25,92 < 95,98 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 146,27 \text{ kNm}$$

- dla zginania względem osi Y: $V_x = 0,18 < 77,81 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 65,36 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M_x}{M_{R_x,V}} + \frac{M_y}{M_{R_y,V}} = \frac{55,6}{896,52} + \frac{145,35}{146,27} + \frac{0,36}{65,36} = \mathbf{1,061 > 1}$$

Nośność (stateczność) pręta ściskanego i zginanego:Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: 1,1·CW+St+Sn+Suw+γ_f·WI+Ww

Składnik poprawkowy:

- dla zginania względem osi X:

$$M_{x \max} = 145,35 \text{ kNm} \quad \beta_x = 1,000$$

$$\Delta_x = 1,25 \varphi_x \bar{\lambda}_x^2 \frac{\beta_x M_{x \max}}{M_{R_x}} \frac{N}{N_{Rc}} = 1,25 \times 0,998 \times 0,167^2 \times \frac{1,000 \times 145,35 \times 56,2}{146,27 \times 896,52} = 0,002$$

$$\Delta_x = 0,002$$

- dla zginania względem osi Y:

$$M_{y \max} = 0,36 \text{ kNm} \quad \beta_y = 1,000$$

$$\Delta_y = 1,25 \varphi_y \bar{\lambda}_y^2 \frac{\beta_y M_{y \max}}{M_{R_y}} \frac{N}{N_{Rc}} = 1,25 \times 0,949 \times 0,320^2 \times \frac{1,000 \times 0,36 \times 56,2}{65,36 \times 896,52} = 0,000$$

$$\Delta_y = 0,000$$

Warunki nośności (58):

- dla wyboczenia względem osi X:

$$\frac{N}{\varphi_x N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x \max}}{\varphi_L M_{R_x}} + \frac{\beta_y M_{y \max}}{M_{R_y}} = \frac{56,21}{0,998 \times 896,52} + \frac{1,000 \times 145,35}{1,000 \times 146,27} + \frac{1,000 \times 0,36}{65,36} = \mathbf{1,062 > 0,998} = 1 - 0,002 = 1$$

- Δ_x

- dla wyboczenia względem osi Y:

$$\frac{N}{\varphi_y N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x \max}}{\varphi_L M_{R_x}} + \frac{\beta_y M_{y \max}}{M_{R_y}} = \frac{56,21}{0,949 \times 896,52} + \frac{1,000 \times 145,35}{1,000 \times 146,27} + \frac{1,000 \times 0,36}{65,36} = \mathbf{1,065 > 1,000} = 1 - 0,000 = 1$$

- Δ_y **Nośność środnika pod obciążeniem skupionym:**

xa = 0,000; xb = 5,000; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: 1,1·CW+St+Sn+Suw+Ww

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego c = 100,0 mm. Naprężenia ściskające w środniku wynoszą $\sigma_c = 199,5$ MPa. Współczynnik redukcji nośności wynosi:

$$\eta_c = 1,25 - 0,5 \sigma_c / f_d = 1,25 - 0,5 \times 199,5 / 215 = 0,786$$

Nośność środnika na siłę skupioną:

$$P_{R,W} = c_o t_w \eta_c f_d = 192,8 \times 5,2 \times 0,786 \times 215 \times 10^{-3} = 169,42 \text{ kN}$$

Warunek nośności środnika:

$$P = \mathbf{0,1} < \mathbf{169,42} = P_{R,W}$$

Złożony stan środnikaxa = 0,000; xb = 5,000; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: 1,1·CW+St+Sn+Suw+γ_f·WI+Ww

Siły przekrojowe przypadające na środnik i nośności środnika:

$$N_w = -169,19 \quad N_{Rw} = 182,1 \text{ kN}$$

$$M_w = 0,02 \quad M_{Rw} = 4,94 \text{ kNm}$$

Pozycja:

$$\begin{array}{rcl} V & = & -0,18 \\ P & = & -0,09 \end{array} \quad \begin{array}{rcl} V_R & = & 259,38 \\ P_{Rc} & = & 168,81 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{kN} \\ \text{kN} \end{array}$$

Współczynnik niestateczności ścianki wynosi: $\varphi_p = 1,000$.

Warunek nośności środka:

$$\left(\frac{N_w}{N_{Rw}} + \frac{M_w}{M_{Rw}} + \frac{P}{P_{Rc}} \right)^2 - 3 \varphi_p \left(\frac{N_w}{N_{Rw}} + \frac{M_w}{M_{Rw}} \right) \frac{P}{P_{Rc}} + \left(\frac{V}{V_R} \right)^2 =$$

$$= \left(\frac{169,19}{182,1} + \frac{0,02}{4,94} + \frac{0,09}{168,81} \right)^2 - 3 \times 1,000 \times \left(\frac{169,19}{182,1} + \frac{0,02}{4,94} \right) \times \frac{0,09}{168,81} + \left(\frac{0,18}{259,38} \right)^2 = \mathbf{0,871} < \mathbf{1}$$

Nośność skratowania:xa = 5,000; xb = 0,000; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: 1,1·CW+St+Sn+Suw+ γ_f ·WI+WwSkratowanie równoległe do osi Y:

$$Q = 1,2 V = 1,2 \times 37,37 = 44,84 \text{ kN}$$

$$Q \geq 0,012 A f_d = 0,012 \times 46,80 \times 215 \times 10^{-1} = 12,07 \text{ kN}$$

Przyjęto $Q = 44,84 \text{ kN}$

$$N_K = Q / (n \sin \alpha) = 44,84 \times 907,2 / 358,6 / 2 = 56,72 \text{ kN}$$

$$N_{RC} = \psi A f_d = 1,000 \times 7,96 \times 175 \times 10^{-1} = 139,3 \text{ kN}$$

$$\lambda_K = l_K / i_K = 907,2 / 10,7 = 84,79$$

$$\lambda_p = 84 \sqrt{215 / f_d} = 84 \times \sqrt{215 / 175} = 93,11$$

$$\bar{\lambda}_K = \lambda_K / \lambda_p \sqrt{\psi} = 84,79 / 93,11 \times \sqrt{1,000} = 0,911 \quad \Rightarrow \quad \varphi = 0,613$$

$$\frac{N}{\varphi N_R} = \frac{56,72}{0,613 \times 139,3} = \mathbf{0,664} < \mathbf{1}$$

$$N_K = \mathbf{56,72} < \mathbf{139,53} = 7,97 \times 175 \times 10^{-1} = A \psi f_d$$

Przyjęto spoiny pachwinowe o długości $l = 226,2 \text{ mm}$ i grubości $a = 4,0 \text{ mm}$ ($a_{\min} = 2,5$; $a_{\max} = 4,2$).

$$\tau_F = N_K / a l = 56,72 / 4,0 / 226,2 \times 10^3 = \mathbf{62,68} < \mathbf{140,00} = \alpha_{\parallel} f_d$$

Stan graniczny użytkowania:

Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: CW+St+Sn+Suw+WI+Ww

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 3,0 \text{ mm}$$

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

$$a_{\max} = \mathbf{3,0} < \mathbf{14,0} = a_{gr}$$

Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą:

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

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

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

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = 3,0 \text{ mm}; \quad L / a = 3500,0 / 3,0 = 1178,7$$