

1.1. Dane

Dane materiałowe

Stal: S350GD $f_{yb} = 235 \text{ MPa}$ $f_u = 360 \text{ MPa}$

Współczynniki obliczeniowe: $\gamma_{M0} = 1,0$ $\gamma_{M1} = 1,0$

Wytrzymałość obliczeniowa: $f_{db} = \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1,0} = 235 \text{ MPa}$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yb}}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

Moduł Younga: $E = 210 \text{ GPa}$

Współczynnik Poissona: $\nu = 0,3$

Moduł sprężystości poprzecznej: $G_s = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{210}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 80,77 \text{ GPa}$

Dane geometryczne

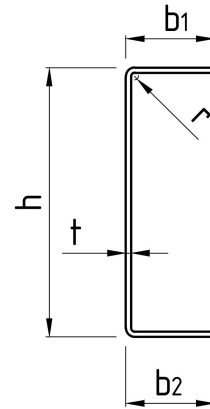
Wysokość przekroju: $h = 200 \text{ mm}$

Grubość ścianki: $t = 2,0 \text{ mm}$

Szerokość półki ściskanej: $b_1 = 80 \text{ mm}$

Szerokość półki rozciąganej: $b_2 = 80 \text{ mm}$

Promień gięcia: $r = 2,63 \text{ mm}$



Kąt nachylenia środka do półek $\nu = 90^\circ$

Rys. 1.1 Przekrój poprzeczny kształtownika

Sprawdzenie proporcji geometrycznych wg Tab. 5.1 normy PN-EN 1993-1-3

Pas górny: $\frac{b_1}{t} = \frac{80}{2,0} = 40 < 60$

Pas dolny: $\frac{b_2}{t} = \frac{80}{2} = 40 < 60$

Środek: $\frac{h}{t} = \frac{200}{2,0} = 100 < 500 \cdot \sin\phi = 500 \cdot \sin(90^\circ) = 500$

1.2. Przekrój równoważny

Umowne szerokości ścianek współpracujących

$$g_r = r_m \left(\tan\left(\frac{\phi}{2}\right) - \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \right) = \left(r + \frac{t}{2} \right) \cdot \left(\tan\left(\frac{\phi}{2}\right) - \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \right) = \left(2,63 + \frac{2}{2} \right) \cdot \left(\tan\left(\frac{90^\circ}{2}\right) - \sin\left(\frac{90^\circ}{2}\right) \right) = 1,06 \text{ mm}$$

Wpływ zaokrąglenia naroży:

$$r = 2,63 \text{ mm} < 5t = 5 \cdot 2,0 = 10,0 \text{ mm}$$

$$b_p = b_2 - 0,5 \cdot t - g_r = 85 - 0,5 \cdot 2,0 - 1,06 = 77,94 \text{ mm}$$

$$r = 2,63 \text{ mm} < 0,1b_p = 0,1 \cdot 77,94 = 7,79 \text{ mm}$$

Warunki są spełnione, przy określaniu nośności przekroju pominięto wpływ zaokrąglenia naroży.

Umowne szerokości części płaskich elementu

$$\text{Pas ściskany: } b_{p,1} = b_1 - 0,5 \cdot t - g_r = 80 - 0,5 \cdot 2,0 - 1,06 = 77,94 \text{ mm}$$

$$\text{Pas rozciągany: } b_{p,2} = b_2 - 0,5 \cdot t - g_r = 80 - 0,5 \cdot 2,0 - 1,06 = 77,94 \text{ mm}$$

$$\text{Środek: } h_w = h - t - 2 \cdot g_r = 200 - 2,0 - 2 \cdot 1,06 = 195,87 \text{ mm}$$

Parametry geometryczne przekroju równoważnego

$$A_{g,sh} = 2,0 \cdot (77,94 + 77,94 + 195,87) = 703,49 \text{ mm}^2$$

Przekrój symetryczny, oś obojętna leży w środku przekroju.

1.3. SGN Przekrój poddany zginaniu

1.3.1 Przekrój efektywny przy zginaniu

Efektywne szerokości pasa ścianek

Na podstawie pkt. 4.4 PN-EN 1993-1-5

- Efektywne szerokości pasa ściskanego

Dla $\Psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$ (równomierne ściskanie) parametr niestateczności miejscowej dla ścianki

wspornikowej: $k_\sigma = 0,43$. Tab. 4.2

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b_p/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{77,94/2,0}{28,4 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{0,43}} = 2,09 > 0,748$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{2,09 - 0,188}{2,09^2} = 0,435$$

Szerokość współpracująca ścianki: $b_{\text{eff}} = \rho \cdot b_p = 0,435 \cdot 77,94 = 33,9 \text{ mm}$

Efektywne charakterystyki przekroju łożyska

Położenie osi obojętnej w stosunku do pasa ściskanego

$$h_c = \frac{b_{p,2} \cdot h_p + \frac{h_w \cdot h_p}{2}}{b_{p,2} + h_w + b_{\text{eff}}} = \frac{77,94 \cdot 198 + \frac{195,87 \cdot 198}{2}}{77,94 + 195,87 + 33,9} = 113,17 \text{ mm}$$

Współczynnik rozkładu naprężeń:

$$\psi = \frac{h_c - h_p}{h_c} = \frac{113,17 - 198}{113,17} = -0,75$$

Współczynnik wyboczeniowy:

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2 = 7,81 - 6,29 \cdot (-0,75) + 9,78 \cdot (-0,75)^2 = 18,02$$

Współczynnik redukcyjny wg. 5.5.3.1(7)

Smukłość względna:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{h_w/t}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}} = \frac{195,87/2,0}{28,4 \cdot 1 \sqrt{18,02}} = 0,81 < 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055\psi} = 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot (-0,75)} = 0,855$$

$$\rho = 1,0$$

Efektywna wysokość łożyska w strefie ściskanej:

$$h_{\text{eff}} = \rho \cdot h_c = 1,0 \cdot 113,17 = 113,17 \text{ mm}$$

Przy pasie ściskanym:

$$h_{\text{eff},1} = 0,4 \cdot h_{\text{eff}} = 0,4 \cdot 113,17 = 45,27 \text{ mm}$$

Przy osi obojętnej:

$$h_{\text{eff},2} = 0,6 \cdot h_{\text{eff}} = 0,6 \cdot 113,17 = 67,90 \text{ mm}$$

$$h_1 = h_{\text{eff},1} = 45,27 \text{ mm}$$

$$h_2 = h_w - (h_c - h_{\text{eff},2}) = 195,87 - (113,17 - 67,9) = 150,61 \text{ mm}$$

Efektywne charakterystyki przekroju

Efektywne pole przekroju:

$$A_{\text{eff}} = t \cdot (b_{p,2} + h_1 + h_2 + b_{\text{eff}}) = 2,0 \cdot (77,94 + 45,27 + 150,61 + 33,9) = 615,44 \text{ mm}^2$$

Położenie osi obojętnej w stosunku do pasa ściskanego:

$$z_c = \frac{t \left(b_{p,2} \cdot h_p + h_2 \cdot \left(h_p - \frac{h_2}{2} \right) + h_1 \cdot \left(\frac{h_1}{2} + g_r + \frac{t}{2} \right) \right)}{A_{\text{eff}}} =$$

$$\frac{2 \cdot \left(77,94 \cdot 198 + 150,61 \cdot \left(198 - \frac{150,61}{2} \right) + 45,27 \cdot \left(\frac{45,27}{2} + 1,06 + \frac{2}{2} \right) \right)}{615,44} = 113,84 \text{ mm}$$

$$z_t = h_p - z_c = 198 - 113,84 = 84,16 \text{ mm}$$

Moment bezwładności przekroju współpracującego:

$$I_{\text{eff},y} = \frac{t \cdot h_1^3}{12} + \frac{t \cdot h_2^3}{12} + \frac{b_{p,2} \cdot t^3}{12} + \frac{b_{\text{eff}} \cdot t^3}{12} + b_{p,2} \cdot t \cdot z_t^2 + h_2 \cdot t \cdot \left(z_t - \frac{h_2}{2} \right)^2 + h_1 \cdot t \cdot \left(z_c - \frac{h_1}{2} \right)^2 + b_{\text{eff}} \cdot t \cdot z_c^2$$

$$I_{\text{eff},y} = \frac{2 \cdot 45,27^3}{12} + \frac{2 \cdot 150,61^3}{12} + \frac{77,94 \cdot 2^3}{12} + \frac{33,9 \cdot 2^3}{12} + 77,94 \cdot 2 \cdot 84,16^2 + 150,61 \cdot 2 \cdot \left(84,16 - \frac{150,61}{2} \right)^2 + 45,27 \cdot 2 \cdot \left(113,84 - \frac{45,27}{2} \right)^2 + 33,9 \cdot 2 \cdot 113,84^2 = 334,43 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

Wskaźniki wytrzymałości na zginanie:

W odniesieniu do pasa ściskanego:

$$W_{\text{eff},y,c} = \frac{I_{\text{eff},y}}{z_c} = \frac{334,43 \cdot 10^4}{113,84} = 29,38 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{\text{eff},y,t} = \frac{I_{\text{eff},y}}{z_t} = \frac{334,43 \cdot 10^4}{84,16} = 39,74 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{\text{eff},y,\text{min}} = \min(W_{\text{eff},y,c}; W_{\text{eff},y,t}) = \min(29,38 \cdot 10^3; 39,74 \cdot 10^3) = 29,38 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Nośność przekroju na zginanie

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{\text{eff},y,\text{min}} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{29,38 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0} = 6,90 \cdot 10^6 \text{ Nmm} = 6,90 \text{ [kNm]}$$

1.1. SGN Przekrój poddany ścisnaniu

Efektywne szerokości pasów

Krok pierwszy

Na podstawie pkt. 4.4 PN-EN 1993-1-5

Efektywne szerokości pasa górnego i dolnego

Dla $\Psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$ (równomierne ścisnienie) parametr niestateczności miejscowej dla ścianki

wspornikowej: $k_\sigma = 0,43$. Tab. 4.2

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b_p/t}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}} = \frac{77,94/2,0}{28,4 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{0,43}} = 2,09 > 0,748$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p^{-0,188}}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{2,09^{-0,188}}{2,09^2} = 0,435$$

Szerokość współpracująca ścianki: $b_{\text{eff}} = \rho \cdot b_p = 0,435 \cdot 77,94 = 33,9 \text{ mm}$

Efektywne charakterystyki przekroju łożnika

Smukłość względna:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{h_w/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{195,87/2,0}{28,4 \cdot 1,0\sqrt{4,0}} = 1,72 > 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055\psi} = 0,5 +$$

$$\sqrt{0,085 - 0,055 \cdot 1,0} = 0,673$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p^{-0,055(3+\psi)}}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,72^{-0,055(3+1)}}{1,72^2} = 0,51$$

Efektywna wysokość łożnika:

$$h_{\text{eff}} = \rho \cdot h_w = 0,51 \cdot 195,87 = 99,11 \text{ mm}$$

Przy pasie ściskanym:

$$h_{e1} = h_{e2} = 0,5 \cdot h_{\text{eff}} = 0,5 \cdot 99,11 = 49,55 \text{ mm}$$

Efektywne charakterystyki przekroju

Efektywne pole przekroju:

$$A_{\text{eff}} = t \cdot (b_{e1} + b_{e2} + h_{e1} + h_{e2}) = 2,0 \cdot (33,9 + 33,9 + 49,55 + 49,55) = 333,8 \text{ mm}^2$$

Nośność przekroju przy ściskaniu osiowym

$A_{\text{eff}} < A_g$ (redukcja przekroju):

$$N_{C,Rd} = \frac{A_{\text{eff}} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{333,8 \cdot 235}{1,0} = 46,58 \cdot 10^3 \text{ N} = 46,58 \text{ kN}$$