

# PROFILE SIN

Przykład obliczeniowy

---

## PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

- rozpiętość belki  $L = 7,5$  m,
- wartość charakterystyczna obciążenia stałego (z ciężarem wł.)  $g = 10,0$  kN/m,
- wartość charakterystyczna obciążenia użytkowego  $p = 16,0$  kN/m,
- stal pasów –  $f_{yf} = 355$  MPa,
- stal środnika –  $f_{yw} = 235$  MPa,
- współczynnik sprężystości podłużnej  $E = 205$  GPa,
- współczynnik sprężystości poprzecznej  $G_{red} = 69$  GPa

Przyjęto profil WTB 500 – 200x12

### Wartości obliczeniowe obciążeń

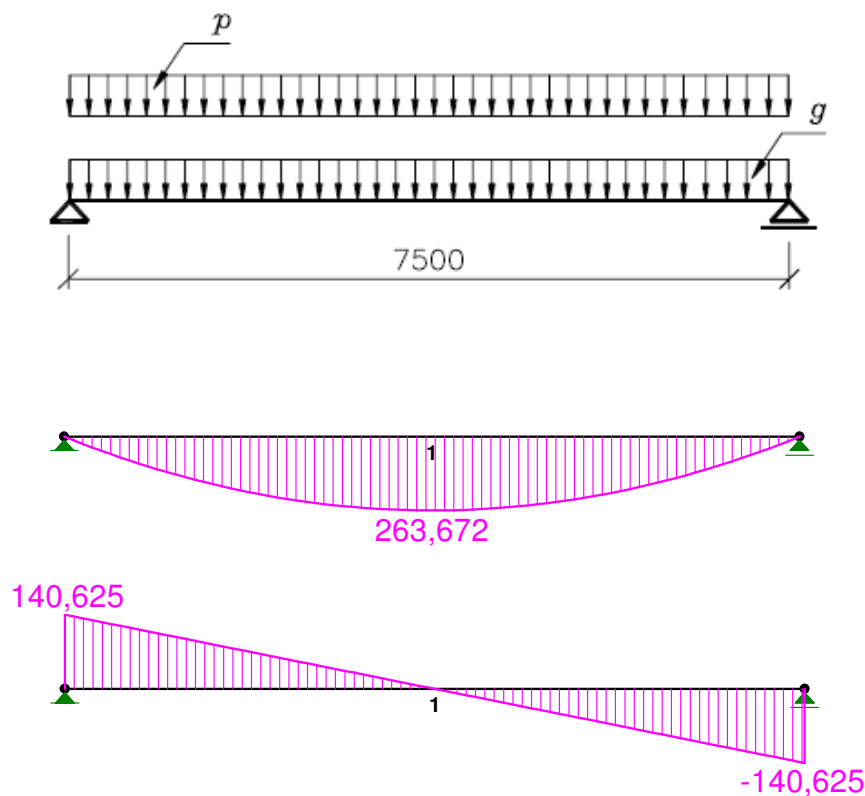
$$g_d = 1,35 \times 10 = 13,5 \text{ kN/m}$$

$$p_d = 1,50 \times 16 = 24,0 \text{ kN/m}$$

### Obliczeniowe wartości sił wewnętrznych

$$M_d = \frac{(g_d + p_d) \cdot L^2}{8} = \frac{(13,5 + 24,0) \cdot 7,5^2}{8} = 263,7 \text{ kNm}$$

$$V_d = \frac{(g_d + p_d) \cdot L}{2} = \frac{(13,5 + 24,0) \cdot 7,5}{2} = 140,6 \text{ kN}$$



### Wyznaczenie sił w pasach

- pas górny

$$N_g = \frac{M_d}{\frac{t_g}{2} + h_w + \frac{t_d}{2}} + \frac{N_d}{2} = \frac{263,7 \cdot 10^3}{\frac{12}{2} + 500 + \frac{12}{2}} + \frac{0}{2} = 515,0 \text{ kN (ściskanie)}$$

- pas dolny

$$N_d = \frac{-M_d}{\frac{t_{fg}}{2} + h_w + \frac{t_{fd}}{2}} + \frac{N_d}{2} = \frac{-263,7 \cdot 10^3}{\frac{12}{2} + 500 + \frac{12}{2}} + \frac{0}{2} = -515,0 \text{ kN (rozciąganie)}$$

### Nośność pasa rozciąganego

$$N_{t.Rd} = \frac{A \cdot f_{yf}}{\gamma_{M0}} = \frac{12 \cdot 200 \cdot 355 \cdot 10^{-3}}{1,0} = 852,0 \text{ kN}$$

$$\frac{N_d}{N_{t.Rd}} = \frac{515}{852} = 0,61 \leq 1,0$$

### Nośność pasa ściskanego

- sprawdzenie warunku lokalnej utraty stateczności pasa ściskanego

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y [N/mm^2]}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$t = 12 \text{ mm}$$

$$b = 200 \text{ mm} \leq 2 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot 13,9 + 22 = 2 \cdot 12 \cdot 0,814 \cdot 13,9 + 22 = 293 \text{ mm}$$

Warunek spełniony. Lokalna utrata stateczności pasa nie wystąpi. Do dalszych obliczeń przyjęto całe pole przekroju pasa

- Nośność przekroju

$$N_{c.Rd} = \frac{A \cdot f_{yf}}{\gamma_{M0}} = \frac{12 \cdot 200 \cdot 355}{1,0} = 852,0 \text{ kN}$$

- Uwzględnienie wyboczenia w płaszczyźnie pasa

Przyjęto odległość pomiędzy punktowymi usztywnieniami bocznymi pasa  $L_c = 1,875\text{m}$ . Górny pas podzielony został na 4 odcinki. W przykładzie wykres momentów zginających jest symetryczny względem środka belki. Wystarczy rozważyć nośność pasa w drugim przedziale.

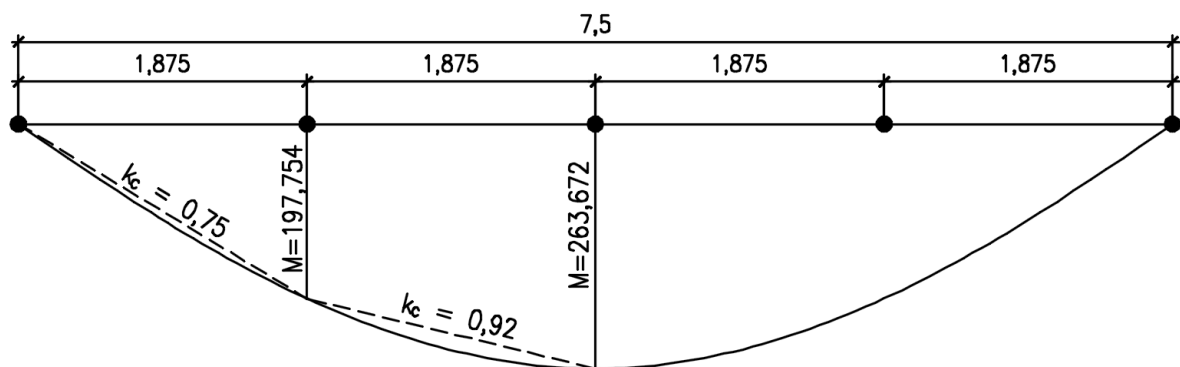
Dla takiego przebiegu siły osiowej współczynnik  $k_c$  wynosi:

$$\psi = 197,754 / 263,672 = 0,75$$

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33 \cdot \psi} = \frac{1}{1,33 - 0,33 \cdot 0,75} = 0,92$$

Długość wyboczeniowa przyjęta do obliczeń:

$$L_{cr} = 0,92 \times 1,875 = 1,725\text{m}$$



$$\varepsilon = 0,814$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,4$$

$$I_z = \frac{t_f \cdot b^3}{12} = \frac{1,2 \cdot 20,0^3}{12} = 800 \text{ cm}^4$$

$$A = t_f \cdot b = 1,2 \cdot 20,0 = 24,0 \text{ cm}^2$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{800}{24}} = 5,77 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{1,725 \cdot 10^2}{5,77} \cdot \frac{1}{76,4} = 0,391$$

$\alpha = 0,49$  – dla krzywej wyboczenia c

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,391 - 0,2) + 0,391^2] = 0,62$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,62 + \sqrt{0,62^2 - 0,391^2}} = 0,908$$

Nośność pasa ściskanego ulegającego wyboczeniu

$$N_{b.Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_{yf}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,908 \cdot 12 \cdot 200 \cdot 355 \cdot 10^{-3}}{1,0} = 773,6 \text{ kN}$$

$$\frac{N_g}{N_{b.Rd}} = \frac{515}{773,6} = 0,67 \leq 1,0 \text{ – warunek spełniony}$$

Nośność środника

- Współczynnik niestateczności lokalnej  $\chi_{c,l}$

$$\begin{aligned} \tau_{cr,l} &= \left( 5,34 + \frac{a_3 \cdot s}{h_w \cdot t_w} \right) \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left[ \frac{t_w}{s} \right]^2 \\ &= \left( 5,34 + \frac{40 \cdot \frac{178}{2}}{2,5 \cdot 500} \right) \cdot \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \left[ \frac{2,5}{\frac{178}{2}} \right]^2 = 1226,2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_{c,l} = \sqrt{\frac{f_{yw}}{\tau_{cr,l} \cdot \sqrt{3}}} = \sqrt{\frac{235}{1226,3 \cdot \sqrt{3}}} = 0,333$$

$$\chi_{c,l} = \frac{1,00}{0,62 + \bar{\lambda}_{c,l}} = \frac{1,00}{0,62 + 0,333} = 1,04 > 1,0$$

przyjęto  $\chi_{c,l} = 1,0$

- Współczynnik niestateczności ogólnej  $\chi_{c,g}$

$$D_x = \frac{E \cdot t_w^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{w}{s} = \frac{210 \cdot 10^9 \cdot 2,5^3 \cdot 10^{-9}}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \frac{\frac{155}{2}}{\frac{178}{2}} = 261,7 \text{ Nm}$$

$$D_z = \frac{E \cdot I_z}{w} = \frac{210 \cdot 10^9 \cdot 3,885 \cdot 10^{-8}}{\frac{155}{2} \cdot 10^{-3}} = 105271 \text{ Nm}$$

$$\tau_{cr,g} = \frac{32,4}{t_w \cdot h_w^2} \cdot \sqrt[4]{D_x \cdot D_z^3} = \frac{32,4}{2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 500^2 \cdot 10^{-6}} \cdot \sqrt[4]{261,7 \cdot 105271^3}$$

$$= 1218,6 \text{ MPa}$$

$$\bar{\lambda}_{c,g} = \sqrt{\frac{f_{yw}}{\tau_{cr,g} \cdot \sqrt{3}}} = \sqrt{\frac{235}{1218,6 \cdot \sqrt{3}}} = 0,337$$

$$\chi_{c,g} = \frac{1,5}{0,5 + \bar{\lambda}_{c,g}^2} = \frac{1,5}{0,5 + 0,337^2} = 2,445 > 1,0$$

przyjęto  $\chi_{c,g} = 1,0$

- Do obliczeń przyjęto niższą wartość współczynnika niestateczności środnika

$$\chi_c = \min(\chi_{c,g}, \chi_{c,l}) = 1,0$$

- Nośność środnika

$$V_{Rd} = \chi_c \cdot \frac{f_{yw}}{\gamma_{M1} \cdot \sqrt{3}} \cdot h_w \cdot t_w = 1,0 \cdot \frac{235 \cdot 10^{-3}}{1,0 \cdot \sqrt{3}} \cdot 2,5 \cdot 500 = 169,6 \text{ kN}$$

$$\frac{V_d}{V_{Rd}} = \frac{140,6}{169,6} = 0,83 \leq 1,0 \text{ – warunek spełniony}$$

### Sprawdzenie warunku ugięć

$$w_{max} = w_M + w_V = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g+p) \cdot l^4}{E \cdot I_y} + \frac{(g+p) \cdot l^2}{8 \cdot G_{red} \cdot A_w}$$

$$= \frac{5}{384} \cdot \frac{(10+16) \cdot 7,5^4}{205 \cdot 31457 \cdot 10^{-2}} + \frac{(10+16) \cdot 7,5^2}{8 \cdot 69,7 \cdot 500 \cdot 2,5} = 0,0166 + 0,0021$$

$$= 0,0187 \text{ m}$$

$$0,0187 \text{ m} \leq \frac{l}{350} = \frac{7,5}{350} = 0,0214 \text{ m} \text{ – warunek spełniony}$$