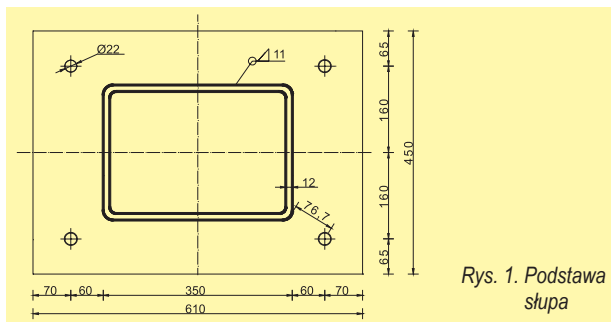


# Nośność podstaw słupów z zamkniętych kształtowników o przekrojach prostokątnych ściskanych i zginanych dwukierunkowo

## Część 2. Przykład obliczania

**S**ŁUP ZAPROJEKTOWANO Z ZAMKNIĘTEGO Kształtownika 350 × 250 × 12 mm, a jego podstawę z blachy o wymiarach 610 × 450 × 32 mm. Obciążenie słupa w podstawie wynosi  $N_{Ed} = -500$  kN,  $M_{y,Ed} = 30$  kNm i  $M_{z,Ed} = 125$  kNm. Plan podstawy pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Podstawa słupa

Dane materiałowe wynoszą:

- Stal słupa i podstawy: S235 o  $f_y = 235$  MPa i  $f_u = 360$  MPa.
- Beton klasy: C25/30 o  $f_{c,k} = 25$  MPa i  $f_{ct,k} = 1,8$  MPa,
- Śruby kotwiące, płytkowe M 20 ze stali S355 o  $A_s = 245$  mm<sup>2</sup>,  $f_y = 355$  MPa i  $f_u = 490$  MPa.

Spoiny pachwinowe o grubości

$$a_w = 11 \text{ mm}, m = 76,7 - 0,8 \cdot 11(2)^{0,5} = 64,3 \text{ mm}.$$

Sprawdzenie klasy przekroju:

$$(h - 3t)/t = (350 - 3 \cdot 12)/12 = 26,2 < 33 \cdot 1,0.$$

Przekrój w obu kierunkach jest klasy 1 przy ściskaniu i zginaniu.

Siła podłużna działa na mimośrodkach:

$$e_z = -M_{z,Ed}/N_{Ed} = 125 \cdot 10^6 / (500 \cdot 10^3) = -250 \text{ mm},$$

$$e_y = -M_{y,Ed}/N_{Ed} = 30 \cdot 10^6 / (500 \cdot 10^3) = -60 \text{ mm},$$

$$e = -\sqrt{e_z^2 + e_y^2} = -\sqrt{250^2 + 60^2} = -257,1 \text{ mm}.$$

Wypadkowy moment zginający wynosi:

$$M_{\alpha,Ed} = N_{Ed} \cdot e = 500 \cdot 257,1 = 128,5 \cdot 10^3 \text{ kNm} = 128,5 \text{ Nm}.$$

Kąt nachylenia tego momentu zginającego względem osi y-y ustala się jako:

$$\tan \alpha = e_z/e_y = 250/60 = 4,1667 \rightarrow \alpha = 76,51^\circ.$$

$$\cot \alpha = 1/\tan \alpha = 1/4,1667 = 0,24.$$

Wysięg strefy docisku ustala się przy

$$f_{jd} = f_{c,k}/1,4 = 25/1,4 = 17,8 \text{ MPa};$$

$$c = t_p [f_y / (3f_{jd} \cdot \gamma_{M0})]^{0,5} = 32 [235 / (3 \cdot 17,8)]^{0,5} = 67,13 \text{ mm}.$$

Położenie środka ciężkości strefy ściskanej przy obciążeniu  $N_{Ed}$  i  $M_{z,Ed}$  ustalono zgodnie z procedurą przedstawioną w [6]. Uzyskano:

$$z_c = (h - t)/2 = (350 - 12)/2 = 169 \text{ mm},$$

$$z_T = h/2 + \Delta h = 350/2 + 60 = 235 \text{ mm}.$$

Natomiast położenie środka ciężkości strefy ściskanej przy działaniu  $M_{y,Ed}$  wynosi:

$$y_c = (b - t)/2 = (250 - 12)/2 = 119 \text{ mm},$$

$$y_T = b/2 + \Delta b = 250/2 + 35 = 160 \text{ mm}.$$

- Dokonuje się oceny nośności obciążenia względem mocnej osi.

$$z = z_c + z_T = 169 + 235 = 404 \text{ mm}.$$

$$F_{Cz} = -N_{Ed}/2 - M_{z,Ed}/z = -500 \cdot 10^3/2 - 125 \cdot 10^6/404 = -559,4 \cdot 10^3 \text{ N} = -559,4 \text{ kN}.$$

Pole powierzchni docisku do fundamentu:

$$A'_{c,red} = (b + 2c)(t + 2c) = (250 + 2 \cdot 67,13)(12 + 2 \cdot 67,13) = 562 \cdot 10^2 \text{ mm}^2.$$

Naprężenie w strefie docisku:

$$f_{Cz} = F_{Cz}/A'_{c,red} = 559,4 \cdot 10^3 / (562 \cdot 10^2) = 9,95 \text{ MPa} < 17,8 \text{ MPa}.$$

Nośność strefy ściskanej połączenia:

$$F_{Cz,Rd} = A'_{c,red} \cdot f_{jd} = 562 \cdot 10^2 \cdot 17,6 = 989 \cdot 10^3 \text{ N} = 989 \text{ kN} > 559,4 \text{ kN}.$$

Oblicza się siłę rozciągającą styk:

$$F_{Tz} = N_{Ed}/2 + M_{z,Ed}/z = -500 \cdot 10^3/2 + 125 \cdot 10^6/404 = 59,4 \cdot 10^3 \text{ N} = 59,4 \text{ kN}.$$

Sprawdza się warunek wystąpienia efektu dźwigni. Bazę wydtużalności śruby ustala się:

$$L_b = 8d + t_g + t_p + t_w + 0,5t_n = 2 \cdot 20 + 50 + 32 + 3 + 0,5 \cdot 31 = 260,5 \text{ mm}.$$

Wyznacza się długości współpracujące blachy podstawy:

$$l_{eff} = 2\pi m = 2 \cdot 3,14 \cdot 64,3 = 404 \text{ mm},$$

$$l_{eff} = b_p/4 = 450/4 = 112,5 \text{ mm},$$

$$l_{eff} = 0,125[(b_o - b)^2 + (h_p - h)^2]^{0,5} (e_n/e_b + e_p/e_h) = 0,125[(450 - 250)^2 + (610 - 350)^2]^{0,5} \cdot (70/65 + 65/70) = 82,2 \text{ mm}.$$

Długość porównawcza:

$$L_b^* = \frac{8,8 m^3 A_s}{\sum l_{eff, \min}^3 t_p} = \frac{8,8 \cdot 64,3^3 \cdot 245}{2 \cdot 82,2 \cdot 32^3} = 106,4 \text{ mm}$$

$$L_b = 260,5 \text{ mm} > L_b^* = 106,4 \text{ mm}.$$

Efekt dźwigni nie występuje.

Ocena zniszczenia połączenia:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 l_{eff, \min}^2 t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 82,2 \cdot 32^2 \cdot 235 / 1,0 = 4,95 \cdot 10^6 \text{ Nmm} = 4,95 \text{ kNm},$$

$$F_{T,1-2,Rd} = n_b M_{pl,1,Rd} / m = 2 \cdot 4,95 / 0,0643 = 154 \text{ kN}$$

oraz

$$F_{T,Rd} = k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} = 0,9 \cdot 490 \cdot 245 / 1,25 = 86 \text{ kN},$$

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{T,Rd} = 2 \cdot 86 = 172 \text{ kN} > 154 \text{ kN}.$$

Bezpieczeństwo połączenia ocenia się jako:

$$F_{T1-2,Rd} = 154 \text{ kN} > 59,4 \text{ kN}.$$

- Ocena nośności przy obciążeniu względem stabej osi. Oblicza się siłę ściskającą styk przy ramieniu dźwigni:

$$y = y_c + y_T = 119 + 160 = 279 \text{ mm}.$$

$$F_{Cf} = -F_{Tf} = -M_{y,Ed}/y = 30 \cdot 10^6 / 279 = -107,5 \cdot 10^3 \text{ N} = -107,5 \text{ kN}.$$

Pole powierzchni docisku:

$$A'_{c,red} = (h + 2c)(t + 2c) = (350 + 2 \cdot 67,13)(12 + 2 \cdot 67,13) = 708 \cdot 10^2 \text{ mm}^2.$$

Naprężenia w strefie docisku:

$$f_{c,y}/A'_{c,red} = 107500 / (708 \cdot 10^2) = 1,52 \text{ MPa} < 17,6 \text{ MPa}.$$

Nośność strefy ściskanej połączenia:

$$F_{C,y,Rd} = A'_{c,red} \cdot f_{jd} = 708 \cdot 10^2 \cdot 17,8 = 1260 \cdot 10^3 \text{ N} = 1260 \text{ kN}.$$

Ustala się dodatkowo długość współpracującej:

$$l_{eff} = h_p / 4 = 610 / 4 = 152,5 \text{ mm} > 82,2 \text{ mm}.$$

Biorąc pod uwagę poprzednie ustalenia, dotyczące połączenia śrubowego, stwierdza się:

$$F_{T1-2,Rd} = 154 \text{ N} > 107,5 \text{ kN}.$$

- Bezpieczeństwo podstawy słupa.

Przy tej ocenie stosuje się:

$$F_{T,z,Rd} = 154 \text{ kN}, F_{C,z,Rd} = 989 \text{ kN},$$

$$z = 404 \text{ mm}, z_c = 169 \text{ mm}, z_T = 235 \text{ mm},$$

$$F_{T,y,Rd} = 154 \text{ kN}, F_{C,y,Rd} = 1260 \text{ kN},$$

$$y = 279 \text{ mm}, y_c = 119 \text{ mm}, y_T = 160 \text{ mm}$$

oraz  $e = -257,1 \text{ mm}$ .

Biorąc pod uwagę Tablicę 7.6 z PN-EN 1993-1-8 [15], ustala się obliczeniowe nośności przy oddziaływaniu rozciągania lewej strony, a ściskania z prawej strony:

$$M_{z,Rd} = \frac{F_{T,z,Rd} \cdot z}{z_c / e + 1} = \frac{154 \cdot 404}{-169 / 257,1 + 1} = 181,6 \cdot 10^3 \text{ kNmm} = 181,6 \text{ kNm}$$

lub

$$M_{z,Rd} = \frac{F_{C,z,Rd} \cdot z}{z_T / e - 1} = \frac{-989 \cdot 404}{-235 / 257,1 - 1} = 208,7 \cdot 10^3 \text{ kNmm} = 208,7 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Rd} = \frac{F_{T,y,Rd} \cdot y}{y_c / e + 1} = \frac{154 \cdot 279}{-119 / 257,1 + 1} = 80 \cdot 10^3 \text{ kNmm} = 80 \text{ kNm}$$

lub

$$M_{y,Rd} = \frac{F_{C,y,Rd} \cdot y}{y_T / e - 1} = \frac{-1260 \cdot 279}{-160 / 257,1 - 1} = 216,7 \cdot 10^3 \text{ kNmm} = 216,7 \text{ kNm}$$

Do dalszych obliczeń przyjmuje się  $M_{z,Rd} = 181,6 \text{ kNm}$  oraz  $M_{y,Rd} = 80 \text{ kNm}$ . Ustala się zgodnie ze wzorem (18):

$$M_{j,y} = \{ [1 - (M_{j,z}/M_{z,Rd})^2] M_{y,Rd}^2 \}^{0,5} = M_{j,z} \cot(\alpha).$$

Z rozwiązania tej zależności przy  $\cot(\alpha) = 0,24$  uzyskuje się:

$$M_{j,z} = M_{y,Rd} / [ (M_{y,Rd}/M_{z,Rd})^2 + \cot^2(\alpha) ]^{0,5} = 80 / [ (80/181,6)^2 + 0,24^2 ]^{0,5} = 160 \text{ kNm},$$

$$M_{j,y} = M_{j,z} \cdot \cot(\alpha) = 160 \cdot 0,24 = 38,4 \text{ kNm},$$

$$M_{j,\alpha,Rd} = (160^2 + 38,4^2)^{0,5} = 164 \text{ kNm} > 128,5 \text{ kNm}.$$

Warunek został spełniony.

Maksymalny docisk w strefach ściskanych wynosi:

$$f_c = f_{c,z} + f_{c,y} = 9,95 + 1,52 = 11,47 \text{ MPa} < 17,8 \text{ MPa}.$$

Maksymalną siłę rozciągającą śrubę kotwiącą ustala się:

$$\max F_{Tf} = 0,5(F_{T,zf} + F_{T,yf}) = 0,5(59,4 + 107,5) = 83,4 \text{ kN} < 86 \text{ kN}.$$

**Piśmiennictwo podano w pierwszej części artykułu.**