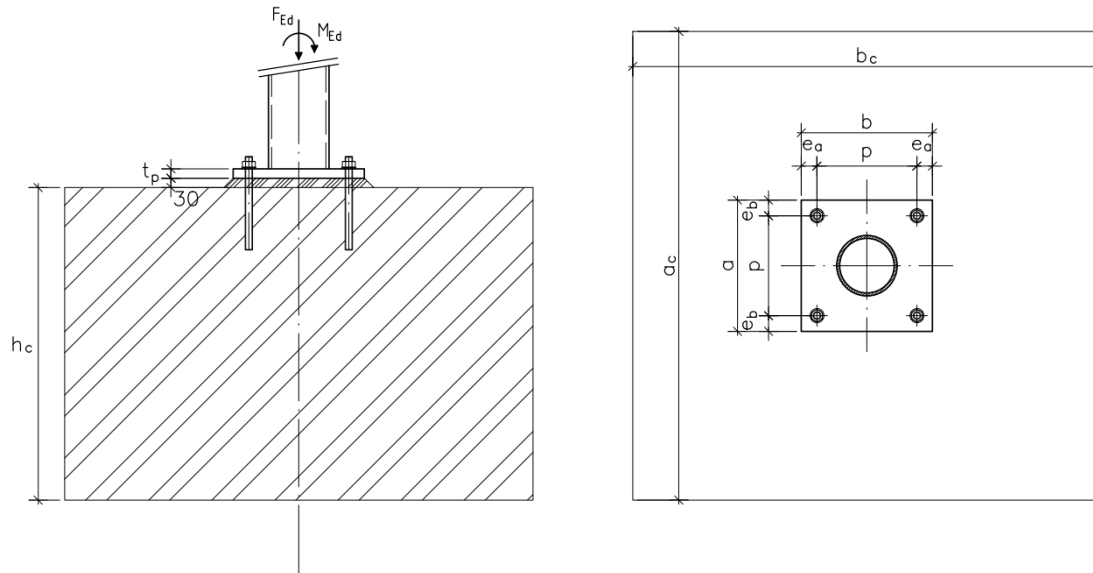


VETKNUTÁ PATKA OCELOVÉHO SLOUPU PRŮŘEZU TR

Posouzení vetknutého ocelového sloupu kruhového uzavřeného průřezu, viz obrázek 1. Sloup je kotven přes patní plech do základové železobetonové patky. Dimenze sloupu, patního plechu, kotevních šroubů a železobetonové patky a jejich materiálové charakteristiky jsou uvedeny níže. Sloup je zatížen návrhovou tlakovou silou a ohybovým momentem.



Obr. 1: Vetknutá patka ocelového sloupu průřezu TR

Ocelový sloup:

TR194x10:

kde: $D = 194 \text{ mm}$ průměr průřezu;
 $r = 97 \text{ mm}$ poloměr průřezu;
 $t_w = 10 \text{ mm}$ tloušťka stěny průřezu;

$A_a = 5781 \text{ mm}^2$ plocha průřezu;
 $I_a = 24,54 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$ poloměr setrvačnosti průřezu;
 $W_{pl,a} = 338,90 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$ plastický průřezový modul;

Patní plech:

kde: $a = 420 \text{ mm}$ šířka plechu;
 $b = 420 \text{ mm}$ délka plechu;
 $t_p = 30 \text{ mm}$ tloušťka plechu;

rozteče šroubů:

$e_a = 50 \text{ mm};$
 $e_b = 50 \text{ mm};$
 $p = 320 \text{ mm};$

Ocel S355

kde: $f_{y,k} = 355 \text{ MPa}$ charakteristická hodnota meze kluzu oceli;
 $E_a = 97 \text{ mm}$ modul pružnosti oceli;
 $t_w = 10 \text{ mm}$ tloušťka stěny průřezu;
 $\gamma_{M0} = 1,0$ dílčí součinitel spolehlivosti;

$$f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{355}{1,0} = 355 \text{ MPa}$$

$f_{y,d} = 355 \text{ MPa}$ návrhová hodnota meze kluzu oceli;

Kotevní šrouby M24/8.8

kde: $d = 24 \text{ mm}$ průměr dřívku;
 $A_s = 353 \text{ mm}^2$ plocha průřezu dřívku;
 $f_{u,b} = 800 \text{ MPa}$ mez pevnosti oceli;
 $\gamma_{Mb} = 1,25$ dílčí součinitel spolehlivosti;

Železobetonový základ:

ŽB patka 1500x1500x1000mm

kde: $a_c = 1500 \text{ mm}$ šířka základu;
 $b_c = 1500 \text{ mm}$ délka základu;
 $h_c = 1000 \text{ mm}$ výška základu;

Beton C25/30

kde: $f_{c,k} = 25 \text{ MPa}$ charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku;
 $E_{cm} = 30500 \text{ MPa}$ sečnový modul pružnosti betonu;;

$$f_{c,d} = \frac{f_{c,k}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 13,33 \text{ MPa}$$

$f_{c,d} = 13,33 \text{ MPa}$ návrhová hodnota pevnosti betonu v tlaku;

Zatížení

kde: $F_{Ed} = 750 \text{ kN}$ návrhová tlaková síla;
 $M_{Ed} = 70 \text{ kNm}$ návrhový moment;

$$e = \frac{M_{Ed}}{F_{Ed}} = \frac{70}{750} = 0,093 \text{ m} = 93,33 \text{ mm}$$

$e = 93,33 \text{ mm}$ excentricita zatížení;

Únosnost komponenty patní plech v ohybu a kotevní šrouby v tahu

Vzdálenost osy kotevních šroubů od hrany svaru, v případě, že sloup je přivařen k patnímu plechu pomocí koutového svaru výšky $a_{wf} = 6 \text{ mm}$:

$$m_{b,1} = \left(\frac{a}{2} - r - e_a\right) - 0,8a_{wf}\sqrt{2} = \left(\frac{420}{2} - 97 - 50\right) - 0,8 \cdot 6 \cdot \sqrt{2} = 56,21 \text{ mm}$$

$$m_{b,2} = \left(\frac{b}{2} - r - e_b\right) - 0,8a_{wf}\sqrt{2} = \left(\frac{420}{2} - 97 - 50\right) - 0,8 \cdot 6 \cdot \sqrt{2} = 56,21 \text{ mm}$$

Efektivní délka náhradního T profilu pro patní plech, v případě že nedochází k páčení:

$$l_{eff} = \min(l_{eff,1}; l_{eff,2}; l_{eff,5}; l_{eff,6}; l_{eff,7};)$$

$$l_{eff,1} = \pi m_{b,1} = \pi \cdot 56,21 = 176,59 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = \frac{\left(\frac{b}{2}\right)}{2} = \frac{\left(\frac{420}{2}\right)}{2} = 105,00 \text{ mm}$$

$$l_{eff,5} = \frac{\sqrt{a_l^2 + \left[\frac{a_l \cdot \left(\frac{b}{2} - b_l\right)}{\frac{a}{2} - a_l}\right]^2}}{4} \cdot \left(\frac{b_l - e_b}{a_l - e_a} + \frac{a_l - e_a}{b_l - e_b}\right)$$

$$b_l = \frac{b}{2} - x \quad a_l = \frac{a}{2} - x \quad x = r \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right)$$

$$x = 97 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) = 68,59 \text{ mm}$$

$$b_l = \frac{420}{2} - 68,59 = 141,41 \text{ mm}$$

$$a_l = \frac{420}{2} - 68,59 = 141,41 \text{ mm}$$

$$l_{eff,5} = \frac{\sqrt{141,41^2 + \left[\frac{141,41 \cdot \left(\frac{420}{2} - 141,41\right)}{\frac{420}{2} - 141,41}\right]^2}}{4} \cdot \left(\frac{141,41 - 50}{141,41 - 50} + \frac{141,41 - 50}{141,41 - 50}\right) = 99,99 \text{ mm}$$

$$l_{eff,6} = \frac{\left(\frac{a}{2}\right)}{2} = \frac{\left(\frac{420}{2}\right)}{2} = 105,00 \text{ mm}$$

$$l_{eff,7} = \pi m_{b,2} = \pi \cdot 56,21 = 176,59 \text{ mm} = 105,00 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 99,99 \text{ mm}$$

Únosnost T profilu se dvěma kotevními šrouby:

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1*,Rd}; F_{T,3,Rd})$$

$$F_{T,1*,Rd} = \frac{2 l_{eff} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,k}}{4 m_{b,5} \cdot \gamma_{M,0}}$$

$$m_{b,5} = \sqrt{(a_1 - e_a)^2 + (b_1 - e_b)^2} = \sqrt{(141,41 - 50)^2 + (141,41 - 50)^2} = 129,27 \text{ mm}$$

$$F_{T,1*,Rd} = \frac{2 \cdot 99,99 \cdot 30^2 \cdot 355}{4 \cdot 129,27 \cdot 1,0} = 122,34 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = 2 \cdot B_{T,Rd}$$

$$B_{T,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{u,b} \cdot A_s}{\gamma_{M,b}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 353}{1,25} = 203,33 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = 2 \cdot 203,3 = 406,66 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min(122,34; 406,66) = 122,34 \text{ kN}$$

Únosnost komponenty beton v tlaku a patní plech v ohybu

Pevnost betonu v koncentrovaném tlaku na ploše o rozměrech a_1 ; b_1 .

$$a_1 = b_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} a_c \\ 3a \\ a + h_c \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 1500 \\ 3 \cdot 420 \\ 420 + 1000 \end{array} \right\} = 1260 \text{ mm}$$

$$a_1 = b_1 = 1260 \text{ mm} > a = b = 420 \text{ mm} \quad - \text{ podmínka splněna}$$

Součinitel koncentrace napětí k_j

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{1260 \cdot 1260}{420 \cdot 420}} = 3,00$$

Kontrola vlivu maltového podlití na pevnost betonu v koncentrovaném tlaku:

$$0,2 \cdot \min(a; b) = 0,2 \cdot \min(420; 420) = 420 \text{ mm} > 30 \text{ mm} = t_g$$

- maltové lože neovlivní návrhovou pevnost.

$$f_{jd} = \frac{2}{3} \cdot \frac{k_j \cdot f_{c,k}}{\gamma_{Mc}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{3,00 \cdot 25}{1,5} = 33,33 \text{ MPa}$$

Z výminky rovnováhy ve svislém směru se vyjádří efektivní plocha betonu v tlaku A_{eff} pro případ plného využití tažené části patky:

$$A_{eff} = \frac{F_{E,d} + F_{T,Rd}}{f_{j,d}} = \frac{600 + 25}{33,33 \cdot 10^3} = 18 \, 751 \text{ mm}^2$$

Poddajná patní deska se nahradí tuhou deskou odpovídající plochy. Účinná šířka patní desky c , okolo kruhového průřezu sloupu, viz obr. 2, se vypočte z:

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{j,d} \cdot \gamma_{M0}}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 33,33 \cdot 1,0}} = 56,52 \text{ mm}$$

Výsledná únosnost v ohybu

Velikost účinného efektivního výseku, se vypočítá jako:

$$\theta = \frac{A_{eff}}{2 \cdot r \cdot c} = \frac{18 \, 751}{2 \cdot 97 \cdot 56,52} = 97,98^\circ$$

Rameno mezi těžištěm tlačené betonové části a osou sloupu se stanoví jako:

$$z_c = r \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) = 63,65 \text{ mm}$$

Rameno mezi středem kotevního šroubu a osou sloupu se stanoví jako:

$$z_t = \frac{p}{2} = \frac{320}{2} = 160 \text{ mm}$$

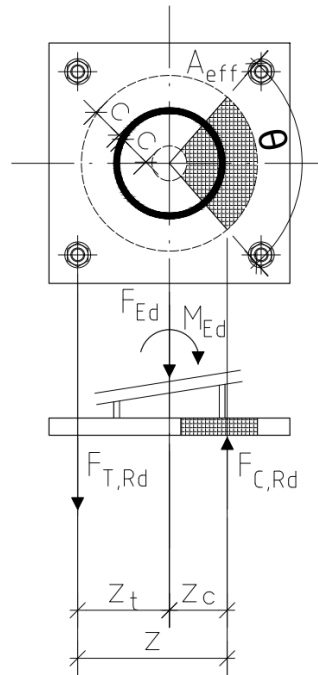
Moment únosnosti patky:

$$M_{Rd} = F_{T,Rd} \cdot z_t + A_{eff} \cdot f_{jd} \cdot z_c$$

$$M_{Rd} = 122,34 \cdot 10^3 \cdot 160 + 18751 \cdot 63,65 \cdot 96,99 = 135,33 \text{ kNm}$$

Pod působící silou $F_{Ed} = 750 \text{ kN}$ je momentová únosnost patky:

$$M_{Rd} = 135,33 \text{ kNm} > M_{Ed} = 70 \text{ kNm}$$



Obr. 2: Rovnováha sil na patce sloupu

Únosnost v patě sloupu

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{y,k}}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{D}{t_w} \leq 50 \cdot \varepsilon^2$$

$$\frac{194}{10} \leq 50 \cdot 0,81^2$$

$$19,4 \leq 32,81 \quad \text{- průřez 1. třídy.}$$

Návrhová únosnost v čistém tlaku:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_a \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{5781 \cdot 355}{1,0} = 2\,052,26 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = 2\,052,26 \text{ kN} > N_{Ed} = 750 \text{ kN} \quad \text{- vyhovuje}$$

Návrhová momentová únosnost:

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,a} \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{338,90 \cdot 10^3 \cdot 355}{1,0} = 120,31 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 120,31 \text{ kNm} > M_{Ed} = 70 \text{ kNm} \quad - \text{ vyhovuje}$$

Interakce normálové síly a momentu:

$$M_{Ny,Rd} = M_{pl,Rd} \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}}{1 - 0,5 \frac{A_a - 2 \cdot r \cdot t_w}{A_a}}$$

$$M_{Ny,Rd} = 120,31 \frac{1 - \frac{750}{2052,26}}{1 - 0,5 \frac{5781 - 2 \cdot 97 \cdot 10}{5781}} = 114,28 \text{ kNm}$$

$$M_{Ny,Rd} = 114,28 \text{ kNm} > M_{Ed} = 70 \text{ kNm} \quad - \text{ vyhovuje}$$

Tuhost patní desky

Komponenta tuhosti kotevních šroubů a patní desky v ohybu:

$$k_b = 2,0 \cdot \frac{A_s}{L_b}$$

$$L_b = 8d + t_g + t_p = 8 \cdot 24 + 30 + 30 = 252 \text{ mm}$$

$$k_b = 2,0 \cdot \frac{353}{252} = 2,80 \text{ mm}$$

$$k_p = \frac{0,425 l_{eff} \cdot t_p^3}{m_{b,5}^3} = \frac{0,425 \cdot 99,99 \cdot 30^3}{129,27^3} = 0,531 \text{ mm}$$

Komponenta tuhosti betonový základ v tlaku a patní desky v ohybu:

$$k_c = \frac{E_{cm}}{1,275 \cdot E_a} \cdot \sqrt{a_{eq} \cdot b_c}$$

$$a_{eq} = t_w + 2,5t_p = 10 + 2,5 \cdot 30 = 85 \text{ mm}$$

$$b_c = 2 \cdot \sin \frac{\theta}{2} \cdot r = 2 \cdot \sin \frac{97,98}{2} \cdot 97 = 146,39 \text{ mm}$$

$$k_c = \frac{30500}{1,275 \cdot 210000} \cdot \sqrt{85 \cdot 146,39} = 12,71 \text{ mm}$$

Počáteční tuhost patky:

Rameno komponent v tahu a v tlaku k neutrální ose patky:

$$z_t = \frac{a}{2} - e_a = \frac{420}{2} - 50 = 160 \text{ mm}$$

$$z_c = \frac{D}{2} - \frac{t_w}{2} = \frac{194}{2} - \frac{10}{2} = 92 \text{ mm}$$

Součinitel tuhosti patky v tahu. Kotevní šrouby a náhradní T-profil:

$$k_t = \frac{1}{\frac{1}{k_b} + \frac{1}{k_p}} = \frac{1}{\frac{1}{2,8} + \frac{1}{0,531}} = 0,45$$

Stanovení ramena tažených a tlačných komponent pro výpočet počáteční tuhosti patky:

$$z = z_t + z_c = 160 + 92 = 252 \text{ mm}$$

$$a = \frac{k_c \cdot z_c - k_t \cdot z_t}{k_c + k_t} = \frac{12,71 \cdot 92 - 0,45 \cdot 160}{12,71 + 0,45} = 83,38 \text{ mm}$$

Ohybová tuhost pro excentricitu:

$$e = \frac{M_{Ed}}{F_{Ed}} = \frac{70}{750} = 0,093 \text{ m} = 93,33 \text{ mm}$$

$$S_{j,ini} = \frac{e}{e+a} \cdot \frac{E_a \cdot z^2}{1 \cdot \left(\frac{1}{k_t} + \frac{1}{k_c}\right)} = \frac{93,33}{93,33 + 83,38} \cdot \frac{210000 \cdot 252^2}{1 \cdot \left(\frac{1}{0,45} + \frac{1}{12,71}\right)} = 3,06 \cdot 10^9 \text{ Nmm/rad}$$

Klasifikace patní desky z hlediska ohybové tuhosti:

Klasifikace patní desky z hlediska ohybové tuhosti se vyhodnocuje porovnáním s ohybovou tuhostí připojovaného sloupu. Pro sloup délky $L_c = 4000 \text{ mm}$ a průřezu TR 194/10 se stanoví poměrná tuhost jako:

$$\bar{S}_{j,ini} = S_{j,ini} \frac{L_c}{E_a \cdot I_a} = 3,06 \cdot 10^9 \cdot \frac{4000}{210\,000 \cdot 24,54 \cdot 10^6} = 2,38$$

Navržená patní deska se uvažuje jako tuhá pro vyztužené prutové soustavy, protože:

$$\bar{S}_{j,ini} = 2,38 < \bar{S}_{j,ini,EC,s} = 30$$

Navržená patní deska se uvažuje jako tuhá také pro nevyztužené prutové soustavy, protože:

$$\bar{S}_{j,ini} = 2,38 < \bar{S}_{j,ini,EC,n} = 13$$

Vliv tolerancí a velikosti svaru, viz EN 1090-2, kapitola 8, se v příkladu neuvažuje.