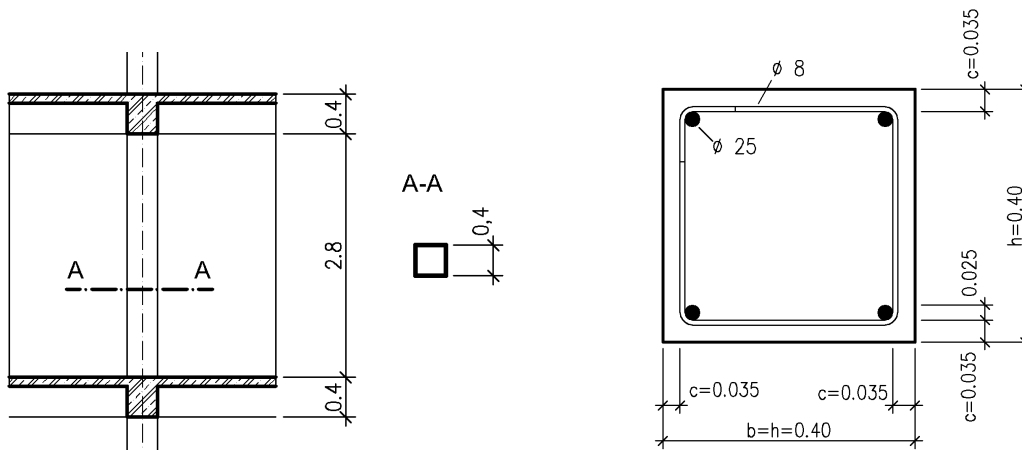


15 Železobetonový sloup rámové konstrukce ve ztužené budově, namáhaný tlakem (řešený příklad)

Posuďte zda sloup průřezu 0,4 m x 0,4 m, který je součástí rámové konstrukce budovy, s konstrukční výškou podlaží 3,2 m (obr. 1), vyhoví na požární odolnost R 60. Vodorovná tuhost budovy je zajištěna ztužujícími stěnami. Sloup má účinnou délku 1,80 m a je zatížen návrhovou normálovou silou $N_{Ed} = 3500$ kN (tlak), návrhový ohybový moment $M_{Ed} \cong 0$. Uvažujte stupeň vlivu prostředí XC1 a životnost konstrukce 50 let. Sloup je z betonu C30/37 a oceli 10 505.



Obr. 1 Střední sloup rámové konstrukce

Obr. 2 Průřez sloupu

Návrh za běžné teploty (EN 1992-1-2)

Předpokládáme: podélná výztuž $\phi = 25$ mm, třmínky $\phi = 8$ mm (obr. 2)

Krycí vrstva výztuže

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max \{ c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm} \}$$

$$c_{min,b} \geq \phi$$

$c_{min,dur}$: prostředí XC1 (min třída betonu C20/25), třída konstrukce S4 (životnost 50 let) - při použití betonu C30/37 lze redukovat o 1 třídu; pro třídu konstrukce S3 je

$$c_{min,dur} = 10 \text{ mm}$$

- podélná výztuž: $c_{min} = \max \{ 25; 10; 10 \} = 25 \text{ mm}$

- třmínky: $c_{min} = \max \{ 8; 10; 10 \} = 10 \text{ mm}$

c_{min} pro podélnou výztuž musí být $c_{min} \geq 10 + 8 = 18 \text{ mm} < 25 \text{ mm}$, tedy $c_{min} = 25 \text{ mm}$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 + 10 = 35 \text{ mm, zvoleno } c = 35 \text{ mm}$$

Štíhlost sloupu:

$$\lambda = \frac{l_0 \cdot \sqrt{12}}{h} = \frac{1,80 \cdot \sqrt{12}}{0,4} = 15,6$$

uvažujeme-li: $A = 0,7$; $B = 1,1$; $C = 1,2$; $n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{3,500}{0,16 \cdot 20} = 1,094$, obdržíme

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 1,2}{\sqrt{1,094}} = 17,67 > \lambda = 15,6 \Rightarrow \text{účinky 2. řádu neuvažujeme}$$

Dimenzování: výztuž navrhne odhadem

$$A_{s,req} > (|N_{Rd}| - A_c \cdot 0,9 \cdot \eta \cdot f_{cd}) / \sigma_s = (3500 - 0,4^2 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3) / 400 \cdot 10^3 = 1550 \cdot 10^6 \text{ m}^2$$

navrženo 4 $\phi 25$ $A_s = 1964 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_{s,req} = 1550 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

Posouzení: při posouzení musíme uvažovat minimální výstřednost

$$e_0 = \max(h/30; 20 \text{ mm}) = \max(400/30 = 13,3 \text{ mm}; 20 \text{ mm}); e_0 = \underline{20 \text{ mm}}$$

$$|N_{Ed}| = 3500 \text{ kN}; M_{Ed} = 3500 \cdot 0,02 = 70 \text{ kNm}$$

při uvažování náhrady interakčního diagramu lomenou čarou mezi body 0 a 1

$$N_{Rd0} = b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} - \Sigma A_s \cdot \eta_s = 0,4 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + 1964 \cdot 10^{-6} \cdot 400 \cdot 10^3 = 3985,6 \text{ kN}; M_{Rd0} = 0 \text{ kNm}$$

$$N_{Rd1} = b \cdot \lambda \cdot d \cdot \tilde{\eta} \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd} = 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,352 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + 982 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 2680,0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = b \cdot \lambda \cdot d \cdot \tilde{\eta} \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot d) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2 = 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,352 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,352) + 982 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 \cdot 0,152 = 198,3 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = M_{Rd0} + \frac{M_{Rd1} - M_{Rd0}}{N_{Rd0} - N_{Rd1}} \cdot (N_{Rd0} + |N_{Ed}|) = 0 + \frac{198,3 - 0}{3985,6 - 2680,0} \cdot (3985,6 - 3500) =$$

$$= 73,8 \text{ kNm} > M_{Ed} = 70 \text{ kNm} \rightarrow \text{průřez vyhovuje}$$

Posouzení požární odolnosti (EN 1992-1-2) - [vývojový diagram 10](#):

Sloup je ve ztužené konstrukci? Ano. Požadovaná požární odolnost R 60

Posouzení podle tabulek? Ano.

Vzdálenost osy podélné výztuže od okraje průřezu - [EN 1992-1-2 čl. 5.2\(13\), \(14\)](#):

$$a = c_{nom} + \phi / 2 = 35 + 25 / 2 = 47,5 \text{ mm}$$

Sloup je namáhám převážně tlakem? Ano. \Rightarrow Metoda A

Splněny omezující podmínky podle [EN 1992-1-2 čl. 5.3.2\(2\)](#)?

1. Účinná délka sloupu při požární situaci $l_{0,fi} \leq 3\text{m}$? Hodnota $l_{0,fi}$ se vždy rovná l_0 při běžné teplotě. Tedy $l_{0,fi} = l_0 = 1,88 \text{ m} \leq 3\text{m} \Rightarrow$ splněno

2. Výstřednost 1. řádu při požární situaci $e = M_{0,fi} / N_{0,fi} \leq e_{\max} = 0,15 h$ ($1,05 b$). Výstřednost 1. řádu při požární situaci se uvažuje stejná jako u návrhu při běžné teplotě. Tedy $e = e_0 = 0,033 h < 0,15 h \Rightarrow$ splněno
3. Plocha podélné výztuže $A_s < 0,04 A_c$, V našem případě $A_s / A_c = 1964 \cdot 10^{-6} / 0,4^2 = 0,0123 < 0,04 \Rightarrow$ splněno

Výpočet $\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd}$ ([EN 1992-1-2 čl. 5.3.2\(3\)](#), [2.4.2\(3\)](#)).

Hodnota N_{Rd} se počítá podle EN 1992-1-1 s γ_m pro návrh při běžné teplotě, včetně účinků 2. řádu a s počáteční výstředností rovné výstřednosti síly $N_{Ed,fi}$. Jako bezpečné zjednodušení lze uvažovat $\mu_{fi} = \eta_{fi}$. V našem případě:

- a) Uvažujeme-li charakteristické hodnoty zatížení sloupu $N_{Gk} = 1,500$ MN, $N_{Qk} = 1,050$ MN, ($N_{Ed} = \gamma_G N_{Gk} + \gamma_Q N_{Qk} = 1,35 \cdot 1,500 + 1,5 \cdot 1,050 = 3,600$ MN), pak můžeme při uvažování $\psi_{2,1} = 0,3$ (viz EN 1990 – administrativní budova) stanovit hodnotu $N_{Ed,fi} = N_{Gk} + \psi_{2,1} N_{Qk} = 1,500 + 0,3 \cdot 1,050 = 1,815$ MN.

Při uvažování $e = e_0 = 0,02$ m ($M_{Ed} = 70$ kNm) lze uvažovat $N_{Rd} \cong 3,600$ MN, nebo přesnější hodnotu stanovit ze vztahu

$$N_{Rd} = N_{Rd0} - \frac{M_{Ed} - M_{Rd0}}{M_{Rd1} - M_{Rd0}} (N_{Rd0} - N_{Rd1}) = 3985,6 - \frac{70 - 0}{198,3 - 0} (3985,6 - 2680,0) = 3524,7 \text{ MN}$$

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd} = 1,815 / 3524,7 = 0,515$$

- b) Lze též uvažovat $\mu_{fi} = \eta_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Ed} = 1,815 / 3,500 = 0,519$, popř. pokud nechceme přesněji počítat, lze uvažovat konzervativní hodnotu $\mu_{fi} = \eta_{fi} = 0,7$.

Sloup vystaven požáru z více než jedné strany? Ano – ze všech stran.

Stanovení b_{\min} , a_{\min} viz [EN 1992-1-2, čl. 5.3.2\(1\) Tab. 5.2a, sloupce 2 až 4](#):

Pro R 60	sl. 3	sl. 4	interpolací
	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$	$\mu_{fi} = 0,515$
b_{\min}	300 mm	350 mm	300 mm
a_{\min}	31 mm	40 mm	32 mm

Sloup železobetonový? Ano.

Ověření:

$$b = h = 400 \text{ mm} > b_{\min} = 300 \text{ mm}$$

$$a = 47,5 \text{ mm} > a_{\min} = 32 \text{ mm}$$

Sloup vyhoví požadavku požární odolnosti R 60.

QUALITY RECORD

Název	Železobetonový sloup rámové konstrukce ve ztužené budově, namáhaný tlakem (řešený příklad)
Popis	V příkladu je dokumentován postup návrhu železobetonového sloupu rámové konstrukce ve ztužené budově, a to za běžné teploty i za požáru při použití tabulek; sloup je namáhan převážně tlakem.
Kategorie	Železobetonové a předpjaté betonové konstrukce
Název souboru	2-15_Příklad_Sloup_ZB_tlaceny.pdf
Datum vytvoření	12. 12. 2006
Autor	Prof. Ing. Jaroslav Procházka, CSc. Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební, ČVUT v Praze
Klíčová slova	Železobetonový sloup; Rámová konstrukce; Ztužená budova; Posouzení požární odolnosti; Zatížení sloupu za požáru; Posouzení podle tabulek.
Eurokódy	EN 1991-1-2: Zatížení konstrukcí, Obecná zatížení, Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru, ČNI, Praha 2004. EN 1992-1-2: Navrhování betonových konstrukcí, Část 1-2: Obecná pravidla, Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČNI, Praha 2006. EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí, Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI, Praha 2006.
Literatura	Wald F. a kol.: Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, České vysoké učení technické v Praze, Praha 2005, 336 s., ISBN 80-0103157-8.