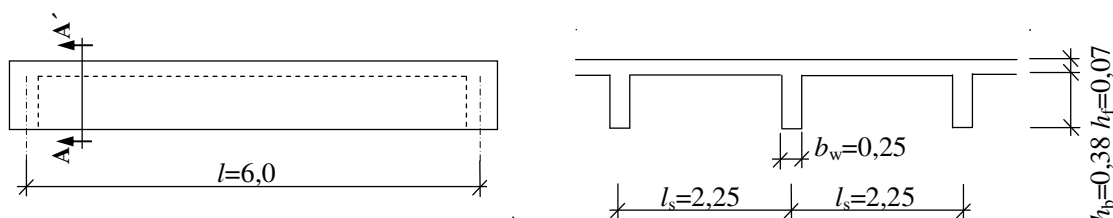


14 Železobetonový trám T průřezu prostě uložený, vystavený účinkům požáru (řešený příklad)

Posudte zda prostě uložený trám T průřezu (viz obr. 1) splňuje požadavek požární odolnosti R90. Trám je zatížen charakteristickým stálým zatížením $g_k = 13,79$ kN/m (včetně vlastní tíhy) a proměnným zatížením $q_k = 17,66$ kN/m. Stropní konstrukce je v obchodním domě ($\psi_{2,1} = 0,6$). Trám se nalézá ve stupni vlivu prostředí XC1. Návrhová životnost je 50 let. Uvažujte beton třídy C 20/25, výztuž 10505.



Obr. 1 Trám T průřezu prostě uložený

Návrh za běžné teploty (EN 1992-1-1)

Návrhové zatížení: $f_d = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k = 1,35 \cdot 13,79 + 1,5 \cdot 17,66 = 45,11$ kN/m

Návrhový ohybový moment: $M_{Ed} = f_d \cdot l^2 / 8 = 45,11 \cdot 6,002^2 / 8 = 203,0$ kNm

Krytí výztuže: předpoklad: $\phi = 20$ mm (podélná výztuž); $\phi_{st} = 6$ mm (třmínky)

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

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

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

$c_{min,dur}$: prostředí **XC1** (min třída betonu C16/20), životnost **50 let** $\Rightarrow$ třída konstrukce S4

pro XC1 a S4: $c_{min,dur} = 15$ mm

- podélná výztuž: $c_{min} = \max \{ 20; 15; 10 \} = 20$ mm

- třmínky: $c_{min} = \max \{ 6; 15; 10 \} = 15$ mm

c_{min} pro podélnou výztuž musí být $c_{min} = 15 + 6 = 21$ mm

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

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 21 + 10 = 31 \text{ mm, zvoleno } c = 30 \text{ mm} \approx 31 \text{ mm}$$

Materiály: $f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_C} = \frac{20}{1,5} = 13,3$ MPa; $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_S} = \frac{500}{1,15} = 435$ MPa

Dimenzování:

Spolupůsobící šířka desky (viz obr. 2):

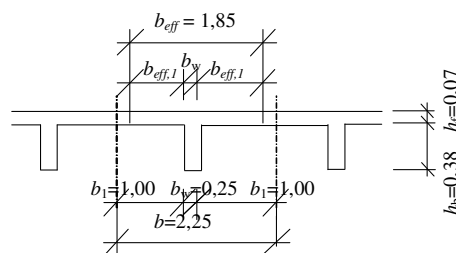
$$b_{eff} = 2 b_{eff,1} + b_w \leq b$$

$$b_{eff,1} = 0,2 b_1 + 0,1 l_0 \leq b$$

$$b_{eff,1} = 0,2 \cdot 1,00 + 0,1 \cdot 6 = 0,80 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 2 \cdot 0,80 + 0,25 = 1,85 \text{ m} \leq 2,25 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,45 - 0,04 = 0,41 \text{ m}$$



Obr. 2 Spolupůsobící šířka desky

$$M_{Ed} = 203,0 \text{ kNm}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{203,0}{1,85 \cdot 0,41^2 \cdot 1,13 \cdot 3 \cdot 10^3} = 0,049$$

$$\xi = 0,063 < \xi_{bal,1} = 0,617; x = 0,063 \cdot 0,41 = 0,026 \text{ m} < 0,07 \text{ m} \Rightarrow \text{n. o. jde deskou; } \xi = 0,973$$

$$A_{s1d} = \frac{M_{Ed}}{\xi \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{203,0}{0,973 \cdot 0,41 \cdot 435 \cdot 10^3} = 1170 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2; \text{ navrženo } 4 \text{ } \varnothing 20; A_{s1} = 1257 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posouzení:

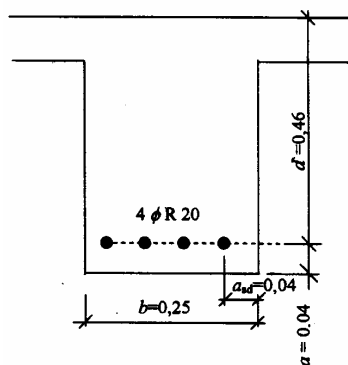
$$x = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{1257 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3}{1,85 \cdot 0,8 \cdot 1,13 \cdot 3 \cdot 10^3} = 0,028 \text{ m}; \quad \xi = \frac{x}{d} = \frac{0,028}{0,41} = 0,068 < \xi_{bal,1} = 0,617$$

$$M_{Rd} = A_{s1} \cdot f_{yd} (d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x) = 1257 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 (0,41 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,028) = 218,2 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 203,0 \text{ kNm} > M_{Ed} = 203,0 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Posouzení požární odolnosti (EN 1992-1-2) - [vývojový diagram 7](#) a [8](#):

Normová požární odolnost R 90



Vzdálenost osy podélné výztuže od spodního okraje průřezu - [EN 1992-1-2 čl. 5.2\(13\), \(14\)](#) – viz obr. 3:

$$a = c_{nom} + \phi / 2 = 30 + 20 / 2 = 40 \text{ mm}$$

4 ϕ 20, výztuž v jedné vrstvě - vzdálenost osy výztuže od bočního líce trámu

$$a_{sd} = c_{nom} + \phi / 2 = 30 + 20 / 2 = 40 \text{ mm}$$

Obr. 3 Vzdálenosti a , a_{sd}

Trám prostě uložený - [EN 1992-1-2 Tabulka 5.5](#):

pro R 90	sl. 3	sl. 4	interpolací
b_{min}	200 mm	300 mm	250 mm
a_{min}	45 mm	40 mm	42.5 mm

Posouzení:

$$b = 250 \text{ mm} = b_{min} = 250 \text{ mm}$$

$$a = 40 \text{ mm} < a_{min} = 42.5 \text{ mm}$$

Na požární R 90 podle tabulek nevyhoví osová vzdálenost a výztuže od povrchu betonu. Vzhledem k tomu, že se jedná o trám prostě uložený, lze osovou vzdálenost výztuže od povrchu betonu upravit s přihlédnutím k její kritické teplotě - viz [EN 1992-1-2 čl. 5.2\(7\)](#):

Účinky zatížení při požáru jsou uvaženy pomocí redukčního součinitele η_{fi} - viz [EN 1992-1-2 čl. 2.4.2\(3\)](#) - doporučuje se hodnotu η_{fi} stanovit výpočtem, než použít doporučenou konzervativní hodnotu $\eta_{fi} = 0,7$

$$\eta_{fi} = (G_k + \psi_{2,1} Q_{k,1}) / (\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1}) = (13,79 + 0,6 \cdot 17,66) / (1,35 \cdot 13,79 + 1,5 \cdot 17,66) = 0,541$$

Návrhové napětí výztuže při požáru - viz [EN 1992-1-2 čl. 5.2\(7\)](#)

$$\sigma_{fi,s} = \eta_{fi} (f_{yk}(20^\circ\text{C}) / \gamma_s) \cdot (A_{s,req} / A_s) = 0,541 \cdot (500 / 1,15) \cdot (1170 / 1257) = 219 \text{ MPa}$$

a hodnota redukčního součinitele $k_s(\theta)$

$$k_s(\theta) = \sigma_{fi,s} / f_{yk}(20^\circ\text{C}) = 219 / 500 = 0,438$$

Kritická teplota v závislosti na redukčním součiniteli se odečte z grafu v normě nebo se vypočte pomocí vztahu pro daný teplotní interval- viz [EN 1992-1-2 čl. 5.2\(6\)](#)

$$k_s(\theta) = 1,0 \quad \text{pro } 20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 350^\circ\text{C}$$

$$k_s(\theta) = 1,0 - 0,4 \cdot (8 - 350) / 150 \quad \text{pro } 350^\circ\text{C} < \theta \leq 500^\circ\text{C}$$

$$k_s(\theta) = 0,61 - 0,5 \cdot (8 - 500) / 200 \quad \text{pro } 500^\circ\text{C} < \theta \leq 700^\circ\text{C}$$

$$k_s(\theta) = 0,1 - 0,1 \cdot (8 - 700) / 500 \quad \text{pro } 700^\circ\text{C} < \theta \leq 1200^\circ\text{C}$$

Předpokládáme: $500^\circ\text{C} < \theta_{crit} < 700^\circ\text{C}$

$$\text{potom: } \theta_{crit} = 500 + 200 / 0,5 \cdot (0,61 - k_s(\theta)) = 500 + 200 \cdot (0,61 - 0,438) / 0,5 = 569^\circ\text{C}$$

Pro $350^\circ\text{C} < \theta_{crit} < 700^\circ\text{C}$ lze upravit minimální požadovanou osovou vzdálenost výztuže od povrchu betonu na a'_{min} - viz [EN 1992-1-2 čl. 5.2\(7\), vztah \(5.3\)](#)

$$a'_{min} = a_{min} + 0,1 \cdot (500 - \theta_{crit}) = 42,5 + 0,1 \cdot (500 - 569) = 35,6 \text{ mm}$$

Posouzení:

$$a = 40 \text{ mm} > a'_{min} = 35,6 \text{ mm}$$

výztuž v jedné vrstvě - [EN 1992-1-2 Tabulka 5.5](#) - $b_{min,4} = 300 \text{ mm}$;

$$b = 250 \text{ mm} < b_{min,4} = 300 \text{ mm}$$

$$a_{sd} = 40 \text{ mm} < a'_{min} + 10 \text{ mm} = 35,6 + 10 = 45,6 \text{ mm}$$

nevyhovuje vzdálenost osy výztuže od bočního líce trámu – přesnější posouzení, popř. při návrhu lze předepsat boční krytí výztuže 46 mm, pak je ale třeba kontrola šířky trámu s přihlédnutím k požadovaným minimálním vzdálenostem mezi pruty výztuže:

$$2c + 4\phi + 3 \cdot 1,2\phi = 4 \cdot 46 + 4 \cdot 20 + 3 \cdot 1,2 \cdot 20 = 244 \text{ mm} < b = 250 \text{ mm} \text{ vyhovuje}$$

Závěr:

Trám vyhoví na požární odolnost R 90 při zvětšení vzdálenosti osy výztuže od bočního líce trámu na 46 mm.

QUALITY RECORD

Název	Železobetonový trám T průřezu prostě uložený, vystavený účinkům požáru (řešený příklad)
Popis	V příkladu je dokumentován postup návrhu prostě uloženého železobetonového trámu, a to za běžné teploty i za požáru při použití tabulek a dodržení konstrukčních zásad.
Kategorie	Železobetonové a předpjaté betonové konstrukce
Název souboru	2-14_Příklad_Tram_ZB_proste_ulozeny.pdf
Datum vytvoření	12. 12. 2006
Autor	Prof. Ing. Jaroslav Procházka, CSc. Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební, ČVUT v Praze
Klíčová slova	Trám železobetonový; Trám T průřezu; Trám prostě uložený; Posouzení požární odolnosti; Zatížení trámu za požáru; Posouzení podle tabulek; Kritická teplota; Úprava požadované vzdálenosti výztuže od povrchu.
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.