

Lenka LAUSOVÁ¹

ÚNOSNOST OCELOVÝCH OTEVŘENÝCH A UZAVŘENÝCH PROFILŮ ZA POŽÁRU

Abstrakt

Únosnost sloupu a prostého nosníku za požáru lze ovlivnit vhodnou volbou průřezu. Tento článek je zaměřen na srovnání únosností otevřených a uzavřených ocelových profilů za požáru.

1 ÚVOD

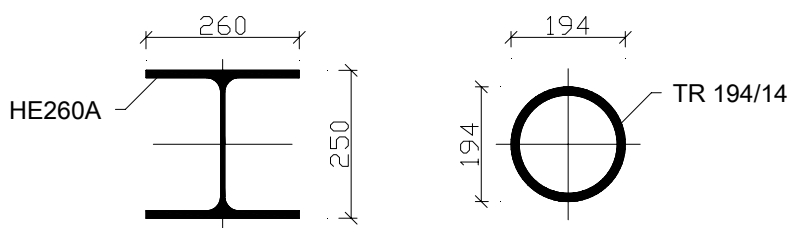
Předmětem této práce je porovnání únosností otevřených a uzavřených ocelových profilů centricky tlačného sloupu a ohybaného nosníku v čase trvání požáru, který je modelován nominální normovou teplotní křivkou. Únosnost sloupu je řešena z hlediska namáhání vzpěrným tlakem, únosnost nosníku z hlediska namáhání ohybovým momentem. Nárůst teploty v konstrukci je počítán pro nechráněný průřez a pro průřez chráněný obkladem ze sádrovláknitých desek.

2 ÚNOSNOSTI ZA POKOJOVÉ TEPLOTY

Řešený sloup o délce 3,6 m je namáhán pouze normálovou silou. Hodnota meze kluzu $f_y = 355$ MPa. Statické schéma sloupu vzhledem k oběma osám je předpokládáno stejné, dole je vetknutý a nahoře kloubově podepřený. Vzpěrná délka vzhledem k uložení sloupu v obou osách je $L_{cr} = 0,7l = 2448$ mm. Posuzované průřezy uzavřený kruhový profil 194/14 a otevřený HE260A dle obr.1 jsou zvoleny tak, aby za běžné pokojové teploty (20°C) měly srovnatelnou únosnost ve vzpěrném tlaku:

$$N_{Rd,TR} = \chi_{\min} \frac{A f_{y,k}}{\gamma_{M1}} = 0,93 \frac{7,917 \times 355}{1,00} = 2614 \text{ [kN]} \quad (1)$$

$$N_{Rd,HEA} = \chi_{\min} \frac{A f_{y,k}}{\gamma_{M1}} = 0,85 \frac{8,682 \times 355}{1,00} = 2620 \text{ [kN]} \quad (2)$$



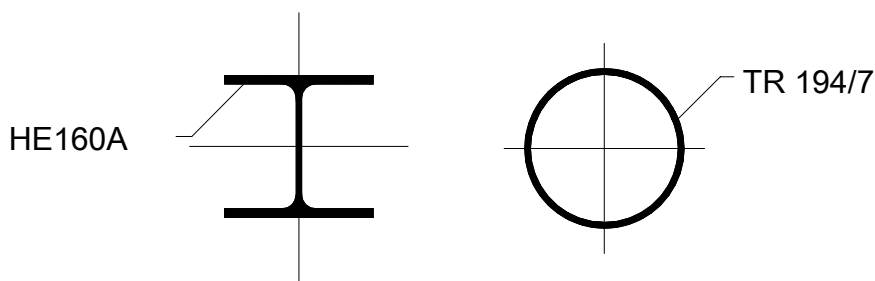
Obr. 1: Průřezy sloupů.

Řešený **nosník** je posuzován z hlediska namáhání ohybovým momentem, hodnota meze kluzu $f_y = 355$ MPa. Posuzované průřezy uzavřený kruhový profil 194/7 a otevřený HE160A dle obr.2 jsou opět zvoleny tak, aby měly za běžné teploty srovnatelnou momentovou únosnost:

¹ Ing. Lenka Lausová, Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděštila 1875, Ostrava-Poruba, tel.: +420 597 321 326, e-mail: lenka.lausova@vsb.cz.

$$M_{Rd,TR} = \frac{W_{y,pl} f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{245 \cdot 10^{-6} \times 355 \cdot 10^3}{1,00} = 87 \text{ [kNm]} \quad (3)$$

$$M_{Rd,HEA} = \frac{W_{y,pl} f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{245 \cdot 10^{-6} \times 355 \cdot 10^3}{1,00} = 87 \text{ [kNm]} \quad (4)$$



Obr. 2: Průřezy nosníků.

3 ROZVOJ TEPLOTY V POŽÁRNÍM ÚSEKU

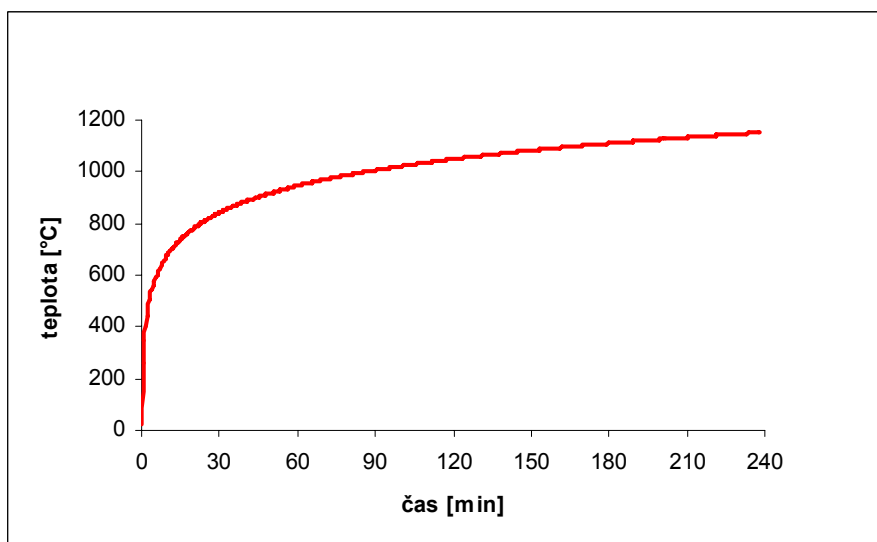
Při modelování normové teplotní křivky je teplota v požárním úseku závislá pouze na době požáru. Teplota plynu se řídí logaritmickou funkcí:

$$\theta_g = 20 + 345 \log(8t + 1) \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (5)$$

kde:

θ_g – teplota plynu v příslušném požárním úseku [$^\circ\text{C}$]

t – čas [min]



Obr. 3: Rozvoj teploty plynu podle nominální normové teplotní křivky.

4 ROZVOJ TEPLoty V PRŮŘEZU

Přestup tepla do ocelové konstrukce je počítán iterační přírůstkovou metodou. Změnu teploty průřezu $\Delta\theta_{a,t}$ za daný časový úsek ($\Delta t = 30$ sekund) přičteme vždy k předcházející vypočtené teplotě v konstrukci $\theta_{a,t}$. Vypočtené hodnoty teploty plynu v požárním úseku a v jednotlivých průřezích ve vybraných časech viz tabulka 1 a 2.

Nechráněný průřez

Přírůstek teploty v nechráněném průřezu se vypočte z teploty plynu prostřednictvím tepelného toku \dot{h}_{net} a je závislý na součiniteli průřezu A_m/V , na hodnotě měrného tepla c_a a měrné hmotnosti oceli ρ_a dle [1]:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{\frac{A_m}{V}}{c_a \rho_a} \dot{h}_{net,d} \Delta t \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (6)$$

kde:

$\rho_a = 7850 \text{ kg.m}^{-3}$ – měrná hmotnost oceli

c_a – měrné teplo oceli v závislosti na teplotě viz [1] [$\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$]

$\dot{h}_{net,d}$ – hustota tepelného toku viz [1] [Wm^{-2}]

k_{sh} – součinitel vlivu zastínění.

V tomto případě je uvažován průřez exponovaný ze všech stran a u HE-A profilu není počítáno s vlivem zastínění ($k_{sh} = 1$).

A_m/V – součinitel průřezu pro průřezy vystavené požáru ze všech stran [m^{-1}]:

$A_m/V = O/A = 161 \text{ m}^{-1}$ – pro HE260A

$A_m/V = 1/t = 71,4 \text{ m}^{-1}$ – pro trubku 194/14

$A_m/V = O/A = 219 \text{ m}^{-1}$ – pro HE160A

$A_m/V = 1/t = 142,9 \text{ m}^{-1}$ – pro trubku 194/7.

Průřez chráněný obkladem

Zpomalení nárůstu teploty v průřezu je ovlivněno tepelně technickými vlastnostmi ochranného materiálu a jeho tloušťkou. Pro sádrovláknitou desku je uvažována hodnota měrného tepla $c_p = 1700 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$, tepelná vodivost $\lambda_p = 0,2 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$, měrná hmotnost $\rho_p = 800 \text{ kgm}^{-3}$ a tloušťka $d_p = 15 \text{ mm}$. Veličiny c_a , ρ_a představují měrné teplo a měrnou hmotnost oceli. Posuzované průřezy sloupů a nosníků viz obr.4 a 5.

Přírůstek teploty u chráněného průřezu dle [1]:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p \frac{A_p}{V}}{d_p c_a \rho_a} \frac{\theta_{g,t} - \theta_{a,t}}{1 + \frac{\phi}{3}} \Delta t - (e^{\frac{\phi}{10}} - 1) \Delta\theta_{g,t} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (7)$$

$$\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} d_p \frac{A_p}{V} \quad (8)$$

kde:

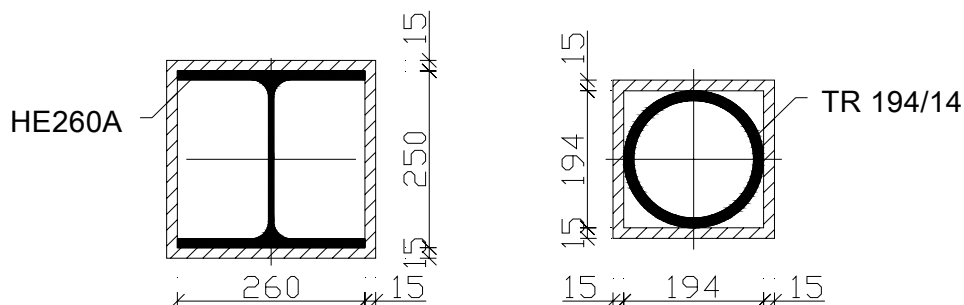
A_p/V – součinitel průřezu pro truhlíkové zakrytí konstantní tloušťky [m^{-1}]:

$A_p/V = 2(b+h)/V = 118 \text{ m}^{-1}$ – pro HE260A

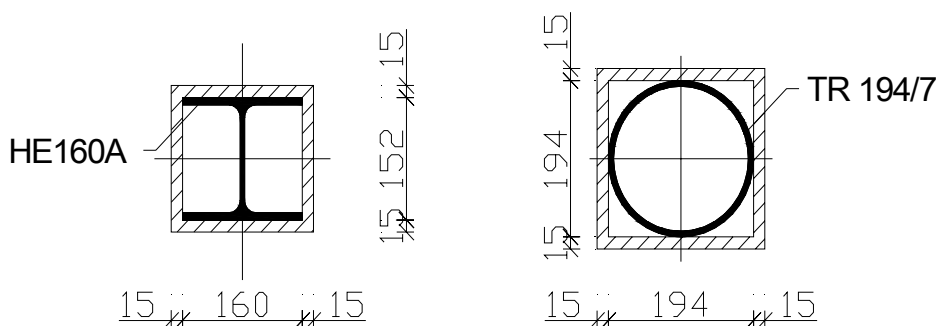
$A_p/V = 2(b+h)/V = 98 \text{ m}^{-1}$ – pro trubku 194/14

$A_p/V = 2(b+h)/V = 161 \text{ m}^{-1}$ – pro HE160A

$A_p/V = 2(b+h)/V = 188 \text{ m}^{-1}$ – pro trubku 194/7.



Obr. 4: Průřezy chráněných sloupů.



Obr. 5: Průřezy chráněných nosníků.

Hodnoty teplot plynu v požárním úseku a jim odpovídající teploty v jednotlivých průřezích sloupů jsou uvedeny v tabulkách 1 a 2.

Tab. 1: Teplota plynu v požárním úseku a v nechráněných průřezích v závislosti na čase t .

nechráněné průřezy	teplota [°C] podle normové teplotní křivky v čase t							
	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	60 min	90 min	120 min
teplota plynu	576	678	739	781	842	945	1006	1049
trubka 194/14	147	325	491	617	738	936	1001	1046
HE260A	274	531	671	732	825	942	1004	1048
trubka 194/7	191	408	579	686	774	939	1003	1046
HE160A	334	589	700	738	834	943	1004	1048

Tab. 2: Teplota plynu v požárním úseku a v chráněných průřezích v závislosti na čase t .

chráněné průřezy	teplota [°C] podle normové teplotní křivky v čase t							
	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	60 min	90 min	120 min
teplota plynu	576	678	739	781	842	945	1006	1049
trubka 194/14	36	85	125	170	255	464	610	711
HE260A	50	104	160	214	313	540	685	746
trubka 194/7	77	160	240	313	437	675	767	901
HE160A	60	135	208	276	395	635	740	851

5 VÝPOČET ÚNOSNOSTÍ PRŮŘEZŮ ZA POŽÁRU

Vzpěrná únosnost tlačných prvků s rovnoměrným rozložením teploty po průřezu se určí ze vztahu:

$$N_{b,fi,t,Rd} = \frac{\chi_{fi} A k_{y,\theta} f_{y,k}}{1,2 \gamma_{m,fi}} \quad [\text{kN}] \quad (9)$$

kde:

χ_{fi} – součinitel vzpěrnosti, menší z hodnot $\chi_{y,fi}$ a $\chi_{z,fi}$ a vypočte se podle [1] nebo se odečte z křivky vzpěrné pevnosti c viz [3]

$k_{y,\theta}$ – redukční součinitel meze kluzu za požáru viz [1]

A – průřezová plocha

$\gamma_{M,fi}$ – součinitel spolehlivosti materiálu pro požární situaci (pro ocel $\gamma_{M,fi} = 1,00$).

Momentová únosnost ohýbaného prvku za požáru se vypočte podle vztahu:

$$M_{fi,\theta,Rd} = \frac{W_y k_{y,\theta} f_{y,k}}{\gamma_{M,fi}} \cdot \frac{1}{\kappa_1 \kappa_2} \quad [\text{kNm}] \quad (10)$$

kde:

W_y – modul průřezu

κ_1, κ_2 – součinitelé nerovnoměrného rozdělení teploty po výšce průřezu a po délce nosníku

$\kappa_1 = \kappa_2 = 1,00$.

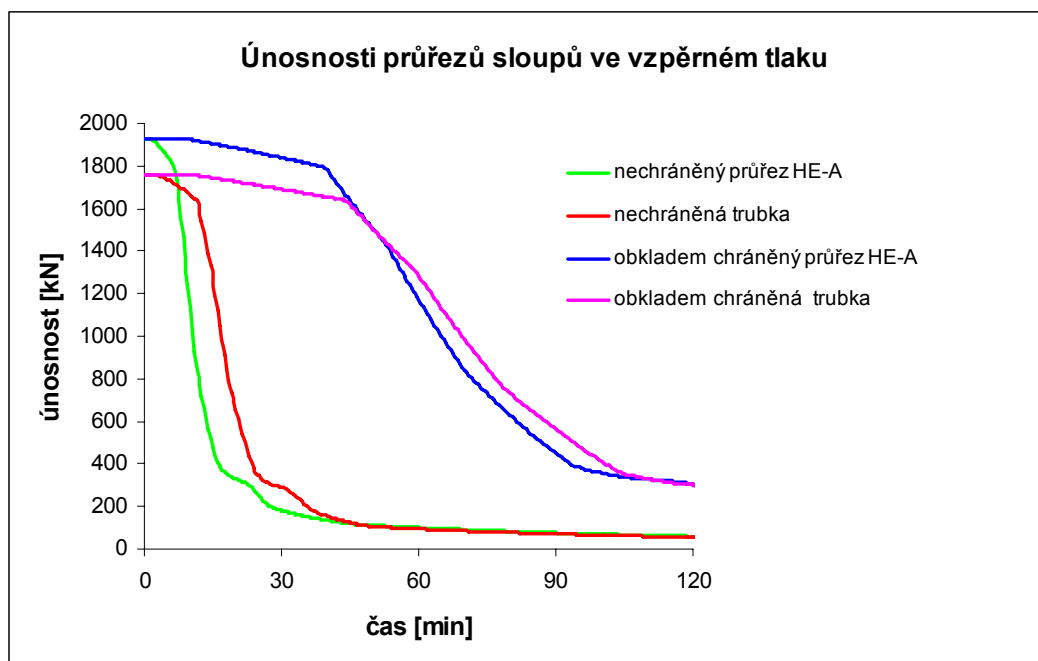
V tabulkách 3 a 4 jsou uvedeny vypočtené únosnosti centricky tlačného sloupu a ohýbaného nosníku v závislosti na době probíhajícího požáru. Vypočtené únosnosti jsou pak zobrazeny na obr. 6 a 7.

Tab. 3: Únosnosti průřezů sloupů ve vzpěrném tlaku v závislosti na čase t .

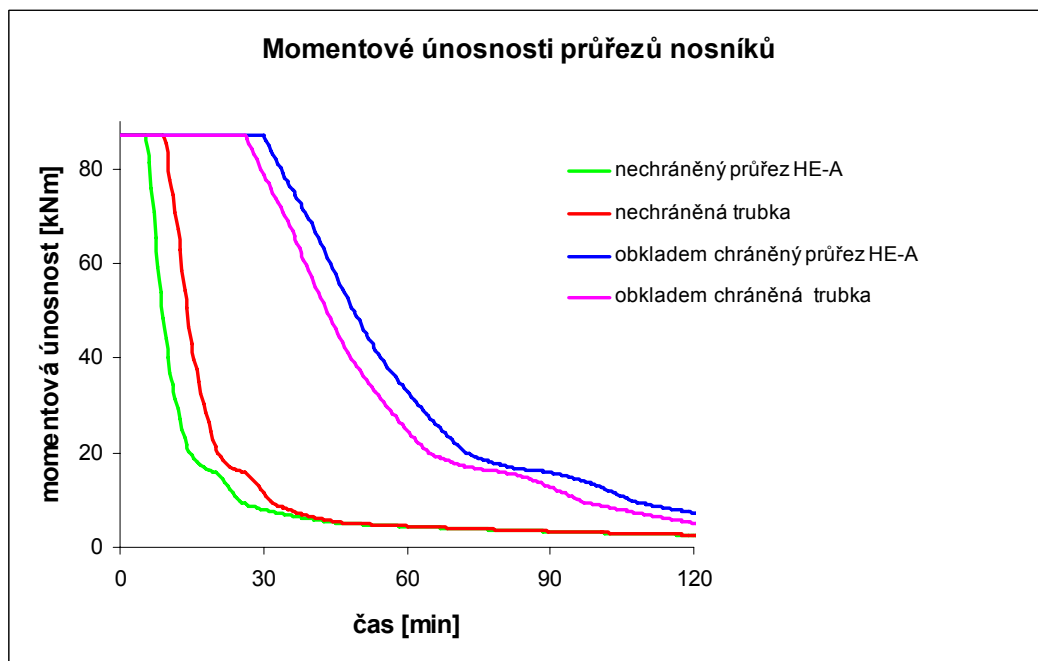
$N_{b,fi,t,Rd}$	únosnost sloupu [kN] v čase t							
	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	60 min	90 min	120 min
trubka 194/14 nechráněná	1737	1666	1273	651	291	94	71	55
HE260A nechráněný	1846	1133	478	328	180	101	77	60
trubka 194/14 obklad	1758	1758	1758	1743	1924	1691	1286	561
HE260A obklad	1928	1925	1908	1884	1839	1171	478	304

Tab. 4: Momentové únosnosti průřezů nosníků v závislosti na čase t .

$M_{fi,t,Rd}$	momentová únosnost nosníku [kNm] v čase t							
	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	60 min	90 min	120 min
trubka 194/7 nechráněná	118	118	90	48	22	6,2	4,7	3,6
HE160A nechráněný	117	73	33	22	11	6	4,5	3,5
trubka 194/7 obklad	118	118	118	118	118	91	42	23
HE160A obklad	117	117	117	117	117	76	31	20



Obr. 6: Únosnosti průřezů sloupů ve vzpěrném tlaku v závislosti na čase t .



Obr. 7: Momentové únosnosti průřezů nosníků v závislosti na čase t .

6 SHRnutí

- ❑ Za požáru je důležitou hodnotou pro přestup tepla do konstrukce součinitel průřezu, který je vyjádřen u nechráněných otevřených průřezů podílem obvodu průřezu a plochy a u uzavřených záleží na tloušťce průřezu. U truhlíkového zakrytí ochranným materiálem konstantní tloušťky je vyjádřen podílem vnitřního obvodu obložení a plochy. Obecně platí, že čím je tento součinitel větší, tím je rychlejší přestup tepla do průřezu, což ukazují i vypočtené hodnoty teplot průřezů v tabulkách 1 a 2.
- ❑ Únosnost otevřených a uzavřených průřezů za požáru závisí na tom, zda je prvek namáhán ohybovým momentem nebo vzpěrným tlakem.
- ❑ Zatímco u ohýbaného nosníku vychází za požáru lépe uzavřený průřez, u tlačенých prutů tomu může být zcela naopak.
- ❑ Za ohybu je únosnost prutů redukována redukčním součinitelem meze kluzu a to při dosažení teploty 400°C a více.
- ❑ Při vzpěrném tlaku za požáru součinitel vzpěrnosti odpovídá hodnotě na křivce vzpěrné pevnosti c bez ohledu na typ průřezu nebo osu ohybu (na rozdíl od posuzování za normální teploty). K jeho redukcii dochází už při 200°C vlivem změny modulu pružnosti v tahu a tlaku.
- ❑ U chráněných průřezů vycházejí lépe z hlediska požáru průřezy, které mají menší vnitřní obvod ochranného materiálu a větší průřezovou plochu.

7 ZÁVĚR

1. U nechráněných nosníků namáhaných ohybem lze předpokládat, že uzavřené profily budou mít za požáru vyšší únosnost než otevřené.
2. Při posuzování tlačенých prutů za požáru je třeba uvažovat se součinitelem vzpěrnosti, který odpovídá hodnotě na křivce vzpěrné pevnosti c . Tím dochází k tomu, že sloup otevřeného průřezu stejné únosnosti ve vzpěrném tlaku za normální teploty jako sloup uzavřeného průřezu, bude mít v čase požáru $t = 0$ dokonce vyšší únosnost než uzavřený průřez a v průběhu požáru se únosnosti postupně srovnávají.

LITERATURA

- [1] Wald, F. a kolektiv: *Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí*, ČVUT Praha, 2005.
- [2] ČSN EN 1991-1-2. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí, Část 1-2, *Obecná zatížení, Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*, Český Normalizační Institut, Praha, 2004.
- [3] Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: *Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*.

Oponentní posudek vypracoval: Prof. Ing. Vladimír Tomica, CSc.