



LOCAFI+

Určenie teploty zvislého prvku namáhaného lokálnym požiarom
(LOCALised Fire)

Rozšírenie výsledkov

Dohoda o grante č. 754072

6. Určenie požiarnej odolnosti

6. Určenie požiarnej odolnosti

6.1. Všeobecný postup

Krok 1 : Definícia tepelného zaťaženia

Krok 2 : Tepelný výpočet

Krok 3 : Mechanický výpočet

Všeobecný postup je krok za krokom (Krok 1 → Krok 2 → Krok 3), ale presnejšie je zohľadniť previazanie v oboch smeroch. Ak sa s touto obojstrannou väzbou neuvažuje, inžinier si musí byť vedomý pridružených predpokladov!

- Priehyb/premiestnenie konštrukčného prvku môže ovplyvniť vývoj požiaru
- Priehyb/premiestnenie konštrukčného prvku môže ovplyvniť tepelné namáhanie
- Nárast teplôt prvku môže ovplyvniť absorbovanú energiu pohltenu stenami/stropmi
- Plasticita a trhliny môžu spôsobiť vyvíjanie tepla alebo únik tepla
- ...

6. Určenie požiarnej odolnosti

6.2. Definícia požiarneho scenára

6.2.1. Požiar v požiarnom úseku

- Nominálna požiarna krivka (ISO-834, hydrouhličitanová,...)
- krivka prirodzeného požiaru (parametrická krivka podľa Prílohy A EN 1991-1-2, software OZone založený na EN 1991-1-2 Prílohy D a E)

6.2.2. Lokálny požiar

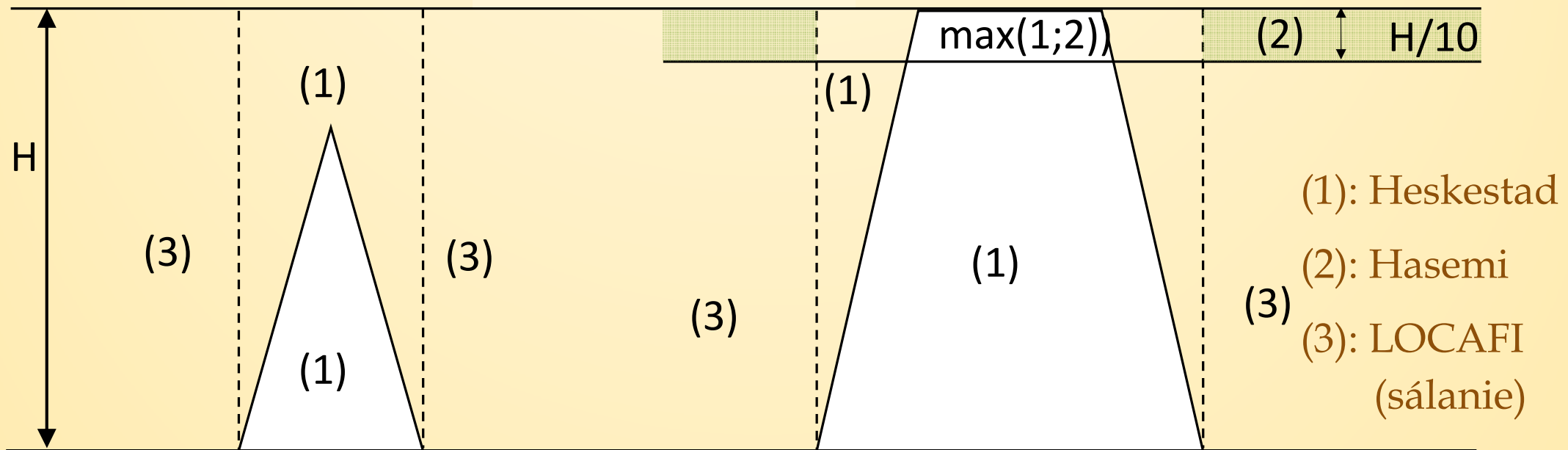
- Požiarne scenár definovaný inžinierom/ úradmi (priemer, RHR)

6. Určenie požiarnej odolnosti

6.2. Definícia požiarneho scenára

6.2.2. Lokálny požiar

Úroveň stropu



6. Určenie požiarnej odolnosti

6.3. Tepelná analýza

6.3.1. Ustálená teplota

Ustálená teplota θ je teplota, pri ktorej je pohltенý tepelný tok v rovnováhe s vyžiareným tokom (prúdenie a sálanie)

$$0 = \underbrace{\alpha_c(\theta - 20)}_{\text{Vyžiarený konvekčný tok}} + \underbrace{\sigma\varepsilon[(\theta + 273)^4 - (20 + 273)^4]}_{\text{Vyžiarený radiačný tok}} - \underbrace{\varepsilon * \dot{h}_{m,r}}_{\text{pohltенý tok}} \quad [\text{W.m}^{-2}]$$

V prípade požiarov v požiarnom úseku hlavný dopadajúci sálavý tok $\dot{h}_{m,r}$ musí byť nahradený $\dot{h}_{m,tot}$, zahŕňajúcim konvekčný aj radiačný tok.

$$\dot{h}_{m,tot} = \min(\dot{h}_{m,r} + \dot{h}_{m,c}; 100000) \quad [\text{W.m}^{-2}]$$

Tento zjednodušený prístup zanedbáva tepelnú zotrvačnosť prvku

6. Určenie požiarnej odolnosti

6.3. Tepelná analýza

6.3.2. Prírastková metóda (konštantná teplota)

Teplota prvku sa počíta stanovením tepelnej rovnováhy prvku

$$\rho_a c_a(T) \frac{dT}{dt} = \frac{A_m}{V} [\varepsilon * \dot{h}_{m,r} + \alpha_c (20 - \theta) + \varepsilon (\sigma (293^4 - (\theta + 273)^4))]$$

ρ_a , c_a a A_m/V sú objemová hmotnosť [kg.m^{-3}], merná tepelná kapacita [$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$] a súčiniteľ prierezu [m^{-1}] prvku

EN 1993-1-2 určuje, že prírastok času Δt nemôže byť viac ako 5 s

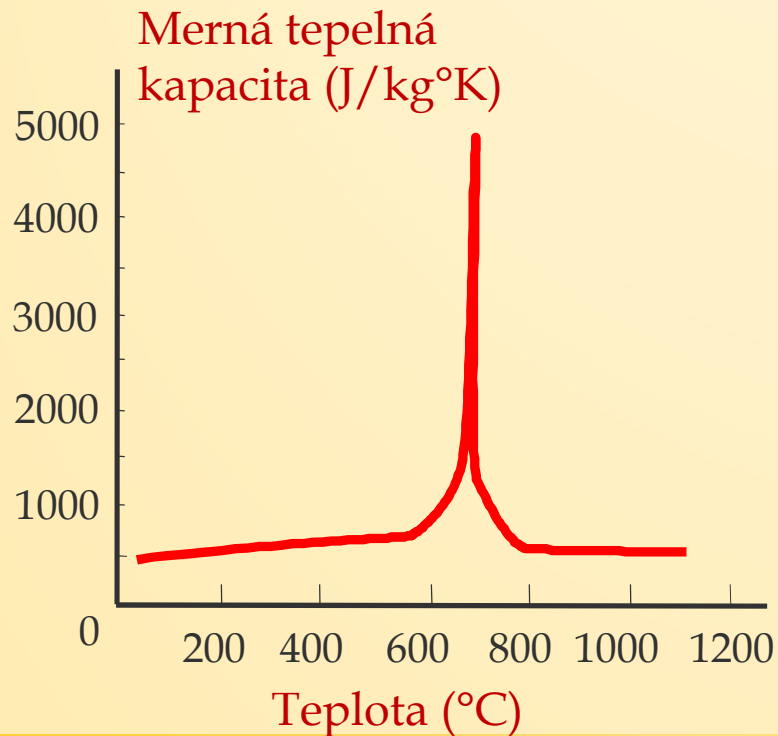
V prípade požiarov v požiarnom úseku hlavný dopadajúci sálavý tok $\dot{h}_{m,r}$ musí byť nahradený \dot{h}_{tot} , zahŕňajúcim konvekčný aj radiačný tok.

$$\dot{h}_{m,tot} = \min(\dot{h}_{m,r} + \dot{h}_{m,c}; 100000) \quad [\text{W.m}^{-2}]$$

6. Určenie požiarnej odolnosti

6.3. Tepelná analýza

6.3.2. Prírastková metóda (konštantná teplota)

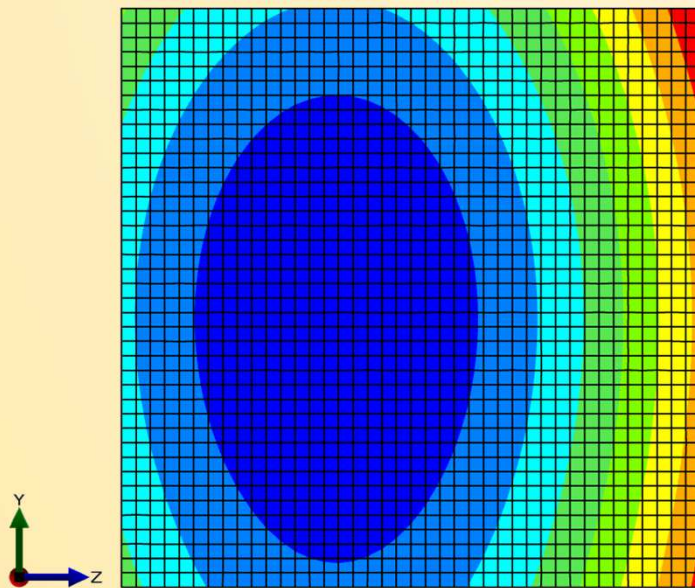


Objemová hmotnosť ocele: 7850 kg/m^3
nezávislá od teploty

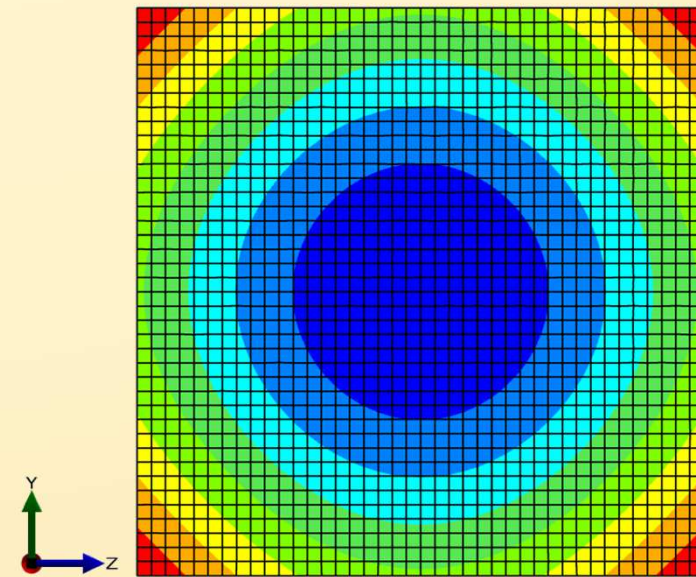
6. Určenie požiarnej odolnosti

6.3. Tepelná analýza

6.3.3. MKP tepelná analýza (nerovnomerná teplota)



TEMPERATURE :	
Red	289,2°C to 294,4°C
Orange	284,1°C to 289,2°C
Yellow	278,9°C to 284,1°C
Light Green	273,7°C to 278,9°C
Green	268,5°C to 273,7°C
Cyan	263,4°C to 268,5°C
Blue	258,2°C to 263,4°C
Dark Blue	253°C to 258,2°C



TEMPERATURE :	
Red	494,6°C to 499,5°C
Orange	489,7°C to 494,6°C
Yellow	484,9°C to 489,7°C
Light Green	480°C to 484,9°C
Green	475,1°C to 480°C
Cyan	470,3°C to 475,1°C
Blue	465,4°C to 470,3°C
Dark Blue	460,5°C to 465,4°C

Rozloženie teploty [°C] po 33 minútach pre stĺp vysoký 3.36 m s pravouhlým prierezom 130 x 130 mm obkolesený 3 autami a 1 dodávkou vo výške a) 0.94 m; b) 3.1 m

6. Určenie požiarnej odolnosti

6.4. Mechanický výpočet

6.4.1. Všeobecné pravidlá EN 1993-1-2

Návrhové pravidlá Eurokódu 3, týkajúceho sa požiaru, zahŕňajú len nosnú funkciu **R**

Nosná funkcia konštrukcie je zabezpečená, ak počas trvania vystavenia požiaru t platí

$$E_{fi,d,t} \leq R_{fi,d,t}$$

kde $E_{fi,d,t}$: návrhový účinok zaťaženia (Eurokódy 0 a 1)
 $R_{fi,d,t}$: zodpovedajúca návrhová odolnosť konštrukcie v čase t

6. Určenie požiarnej odolnosti

6.4. Mechanický výpočet

6.4.1. Všeobecné pravidlá EN 1993-1-2

Kombinácia MSÚ

$$E_d = 1.35 \cdot \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + 1.5 \cdot Q_{k,1} + 1.5 \cdot \sum_{i \geq 2} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Mimoriadna kombinácia

$$E_{fi,d,t} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \Psi_{2,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Poznámka: $\psi_{1,1}$ alebo $\psi_{2,1}$ sa majú použiť podľa predpisov príslušnej krajiny.

Zaťaženie	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Kategória A: obytné plochy	0.7	0.5	0.3
Kategória B: administratívne plochy	0.7	0.5	0.3
Kategória C: zhromažďovacie plochy	0.7	0.7	0.6
Kategória D: obchodné plochy	0.7	0.7	0.6
Kategória E: skladové plochy	1	0.9	0.8
...

6. Určenie požiarnej odolnosti

6.4. Mechanický výpočet

6.4.1. Všeobecné pravidlá EN 1993-1-2

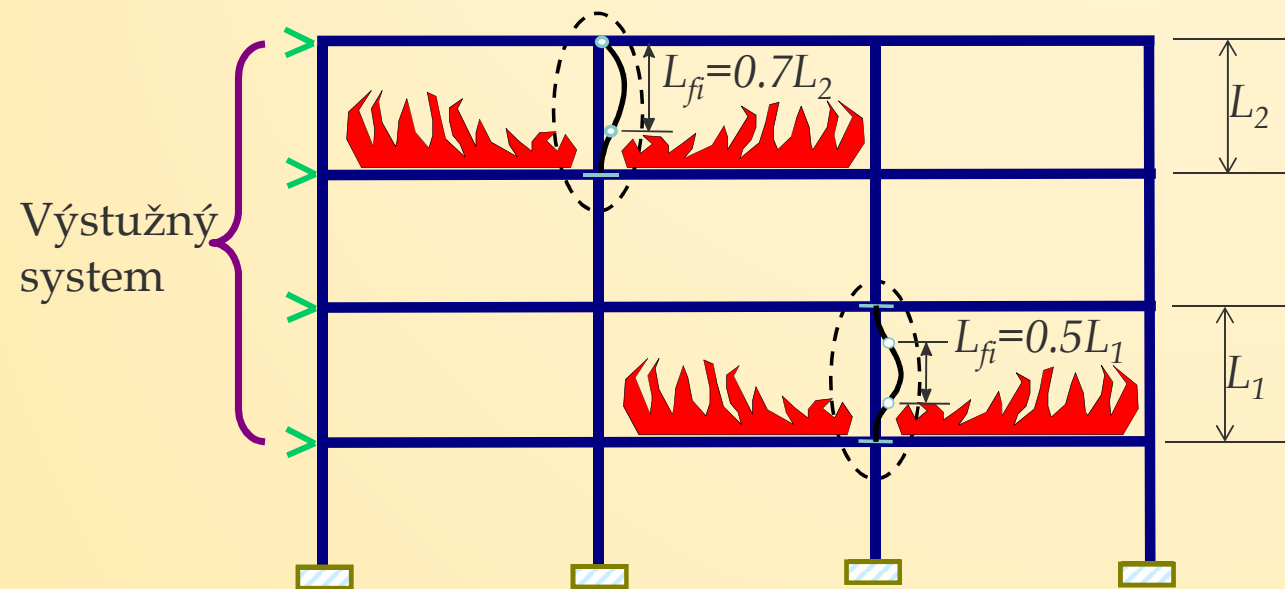
Parciálne súčinitele spoľahlivosti ocele pri zvýšených teplotách

Typ prvku	Návrh za normálnej teploty	Požiarny návrh
Odolnosť prierezov	$\gamma_{M0} = 1.0$	$\gamma_{M,fi} = 1.0$
Odolnosť prútov pri strate stability	$\gamma_{M1} = 1.0$	$\gamma_{M,fi} = 1.0$
Odolnosť ťahaných prierezov proti lomu	$\gamma_{M2} = 1.25$	$\gamma_{M,fi} = 1.0$
Odolnosť uzlov	$\gamma_{M2} = 1.25$	$\gamma_{M,fi} = 1.0$

6. Určenie požiarnej odolnosti

6.4. Mechanický výpočet

6.4.1. Všeobecné pravidlá EN 1993-1-2



Podmienky:

- Vystužená konštrukcia
- Stĺp upevnený spojitými alebo polospojitými
- Rovnaká požiarna odolnosť R stĺpov a požiarne deliacich prvkov

6. Určenie požiarnej odolnosti

6.4. Mechanický výpočet

6.4.1. Všeobecné pravidlá EN 1993-1-2

Overenie požiarnej odolnosti podľa jednej z nasledujúcich 3 metód:

Teplota: $\theta_{cr,d} \geq \theta_d$

Odolnosť: $R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t}$

Čas: $t_{fi,d} \geq t_{fi,required}$

Najjednoduchšia a bežne používaná metóda, platí len pre konštantnú teplotu a kde nehrozia stabilitné problémy

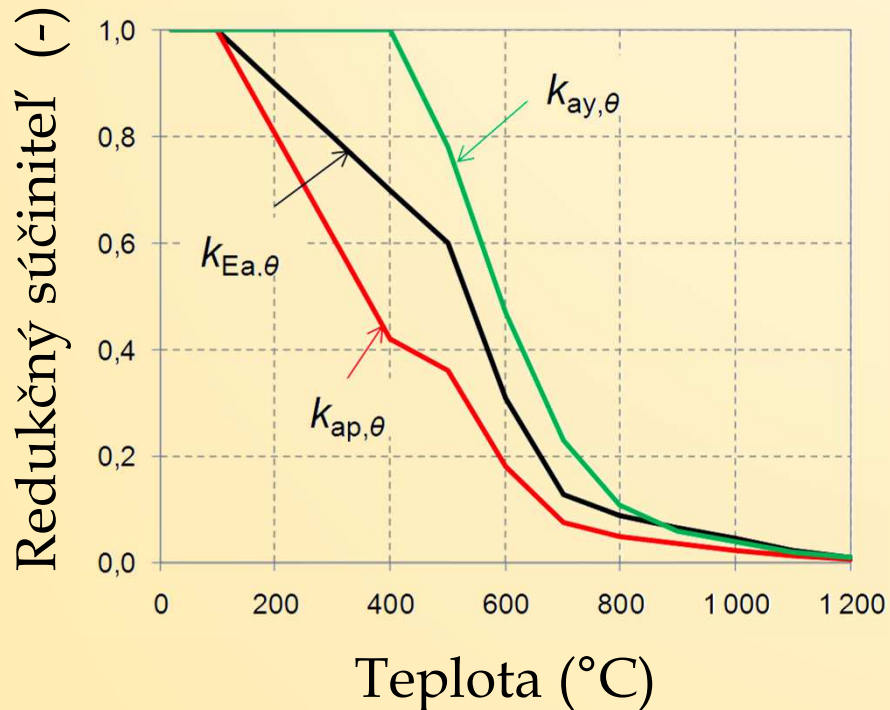
Vhodná pre ručný výpočet (redukovaná únosnosť v požadovanom čase)

Vhodná len pri použití pokročilých nástrojov, napr. MKP

6. Určenie požiarnej odolnosti

6.4. Mechanický výpočet

6.4.2. Posúdenie stĺpa podľa EN 1993-1-2



Teplota

$k_{y,\theta}$: redukcia medze klzu

$k_{E,\theta}$: redukcia modulu pružnosti

$k_{p,\theta}$: redukcia medze úmernosti

Súčasná verzia EN 1993-1-2 platí pre triedy ocele S235 až S460

6. Určenie požiarnej odolnosti

6.4. Mechanický výpočet

6.4.2. Posúdenie stĺpa podľa EN 1993-1-2

Teplota

Mimoriadna kombinácia zaťažení

$$E_{fi,d,t} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \Psi_{2,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Poznámka: $\psi_{1,1}$ alebo $\psi_{2,1}$ sa majú použiť podľa predpisov príslušnej krajiny.

Redukčný súčiniteľ pre návrhovú úroveň zaťaženia

$$\eta_{fi} = \frac{E_{fi,d,t}}{E_d}$$

$$E_d = 1.35 * \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + 1.5 * Q_{k,1} + 1.5 * \sum_{i \geq 2} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

6. Určenie požiarnej odolnosti

6.4. Mechanický výpočet

6.4.1. Posúdenie stĺpa podľa EN 1993-1-2

Teplota

Redukčný súčiniteľ pre návrhovú úroveň zaťaženia

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} G_k + \psi_{2.1} Q_{k.1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q.1} Q_{k.1}}$$

Požiarny návrh, mimoriadna kombinácia

γ_{GA} = 1.0 Stále zaťaženia;
 $\psi_{2.1}$ = 0.3 Súčiniteľ kombinácie; premenné zaťaženia, administratíva

Návrh pre normálnu teplotu, základná kombinácia zaťaženia

γ_G = 1.35 Stále zaťaženia;
 $\gamma_{Q.1}$ = 1.50 Súčiniteľ kombinácie; premenné zaťaženia

Poznámka: $\psi_{1.1}$ alebo $\psi_{2.1}$ sa majú použiť podľa predpisov príslušnej krajiny.

$Q_{k.1}/G_k$	η_{fi}
0	0.74
1	0.53
2	0.46
4	0.41

EN 1993-1-2 odporúča $\eta_{fi} = 0.65$ (okrem kategórie E, $\eta_{fi} = 0.7$)

6. Určenie požiarnej odolnosti

6.4. Mechanický výpočet

6.4.2. Posúdenie stĺpa podľa EN 1993-1-2

Teplota

Mimoriadna kombinácia zaťažení

$$E_{fi,d,t} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \Psi_{2,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Poznámka: $\psi_{1,1}$ alebo $\psi_{2,1}$ sa majú použiť podľa predpisov príslušnej krajiny.

Redukčný súčiniteľ pre návrhovú úroveň zaťaženia

$$\eta_{fi,t} = \frac{E_{fi,d,t}}{R_d} < \eta_{fi}$$

Odolnosť za normálnej teploty

6. Určenie požiarnej odolnosti

6.4. Mechanický výpočet

6.4.1. Posúdenie stĺpa podľa EN 1993-1-2

Teplota

Stupeň využitia

$$\mu_0 = \left(\frac{E_{d,fi}}{R_{d,fi,0}} \right) = \eta_{fi,t} \left(\frac{\gamma_{M,fi}}{\gamma_{M0}} \right)$$

- Berie do úvahy parciálne súčinitele spoľahlivosti pri normálnej aj zvýšenej teplote (bežne sa obidva rovnajú 1.0)
- Umožňuje priamy výpočet kritickej teploty
- V prípade, že k porušeniu môže dôjsť stratou stability, vyžaduje sa redukovaná pomerná štihlosť

6. Určenie požiarnej odolnosti

6.4. Mechanický výpočet

6.4.1. Posúdenie stĺpa podľa EN 1993-1-2

Teplota

$\bar{\lambda}_{fi,0}$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
μ_0											
0.04	1000	977	949	913	880	839	787	742	696	678	659
0.06	900	885	866	837	795	756	700	679	656	630	602
0.08	860	839	811	785	749	697	674	647	616	588	564
0.10	820	797	780	752	703	677	648	614	585	557	527
0.12	792	777	755	719	685	656	622	588	559	526	474
0.14	775	757	730	694	668	636	597	567	533	487	373
0.16	758	737	705	681	652	615	580	546	507	408	
0.18	742	717	691	668	636	596	563	524	453		
0.20	725	698	680	655	619	582	545	503	384		
0.22	708	689	669	641	603	568	528	457			
0.24	696	679	658	628	591	554	511	406			
0.26	688	670	647	615	579	540	485				
0.28	679	660	636	602	568	526	446				
...				

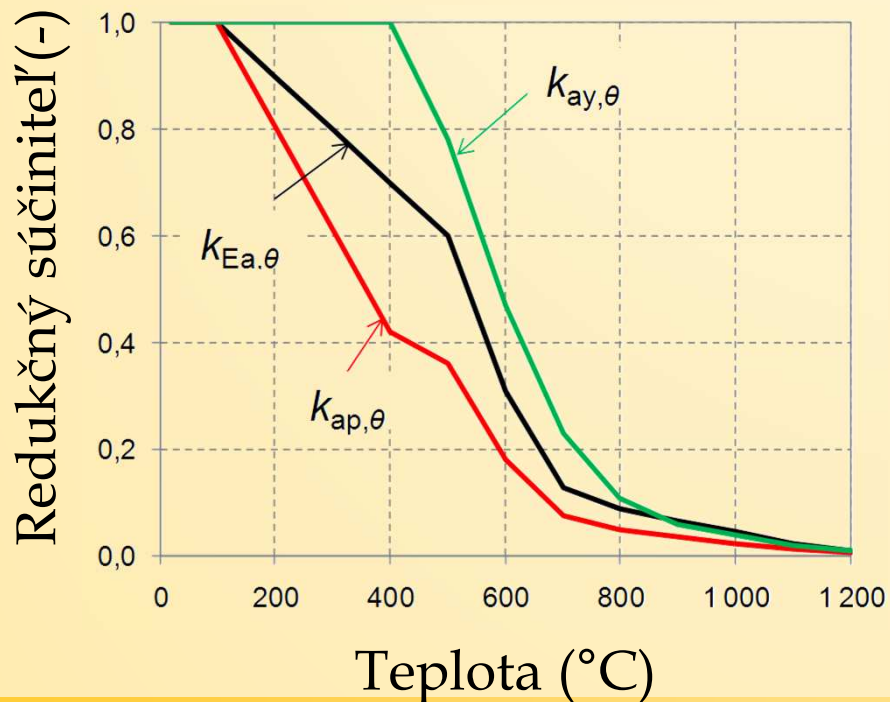
Kritická teplota ocelových prvkov v prípade straty stability pomocou špeciálnych tabuľkových hodnôt založených na:

- pomernej štíhlosti v čase $t = 0$
- a špecifickom stupni využitia $\mu_0 = N_{fi,d,t} / N_{pl,fi,0}$
- Každá trieda ocele má vlastné tabuľkové hodnoty

6. Určenie požiarnej odolnosti

6.4. Mechanický výpočet

6.4.2. Posúdenie stĺpa podľa EN 1993-1-2



Odolnosť

$k_{y,\theta}$: redukcia medze klzu

$k_{E,\theta}$: redukcia modulu pružnosti

$k_{p,\theta}$: redukcia medze úmernosti

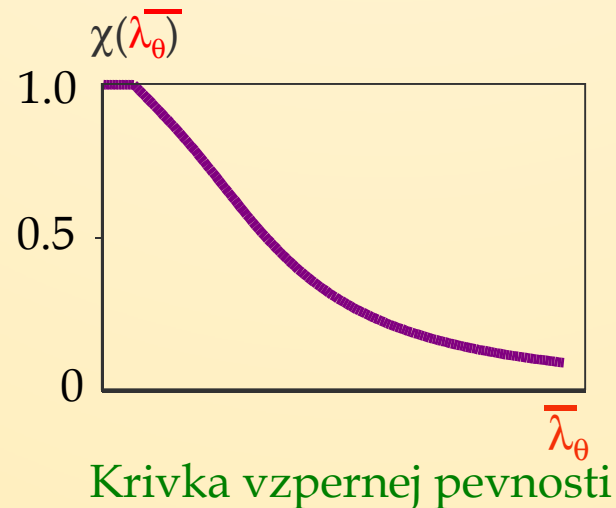
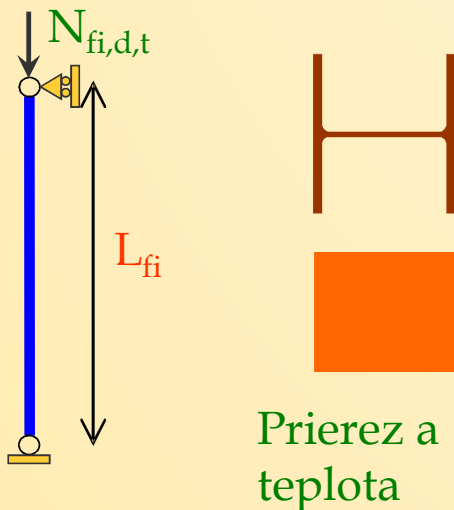
Súčasná verzia EN 1993-1-2 platí pre triedy ocele S235 až S460

6. Určenie požiarnej odolnosti

6.4. Mechanický výpočet

6.4.1. Posúdenie stĺpa podľa EN 1993-1-2

Odolnosť



$$\alpha = 0.65 \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad \bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda} \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}}$$

$$\varphi_\theta = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha \bar{\lambda}_\theta + \bar{\lambda}_\theta^2 \right]$$

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_\theta + \sqrt{\varphi_\theta^2 - \bar{\lambda}_\theta^2}}$$

$$N_{b,fi,t,Rd} = \frac{\chi_{fi} A k_{y,\theta} f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

6. Určenie požiarnej odolnosti

6.4. Mechanický výpočet

6.4.2. Posúdenie stĺpa podľa EN 1993-1-2

Odolnosť

Mimoriadna kombinácia zaťažení

$$E_{fi,d,t} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \Psi_{2,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Poznámka: $\psi_{1,1}$ alebo $\psi_{2,1}$ sa majú použiť podľa predpisov príslušnej krajiny.

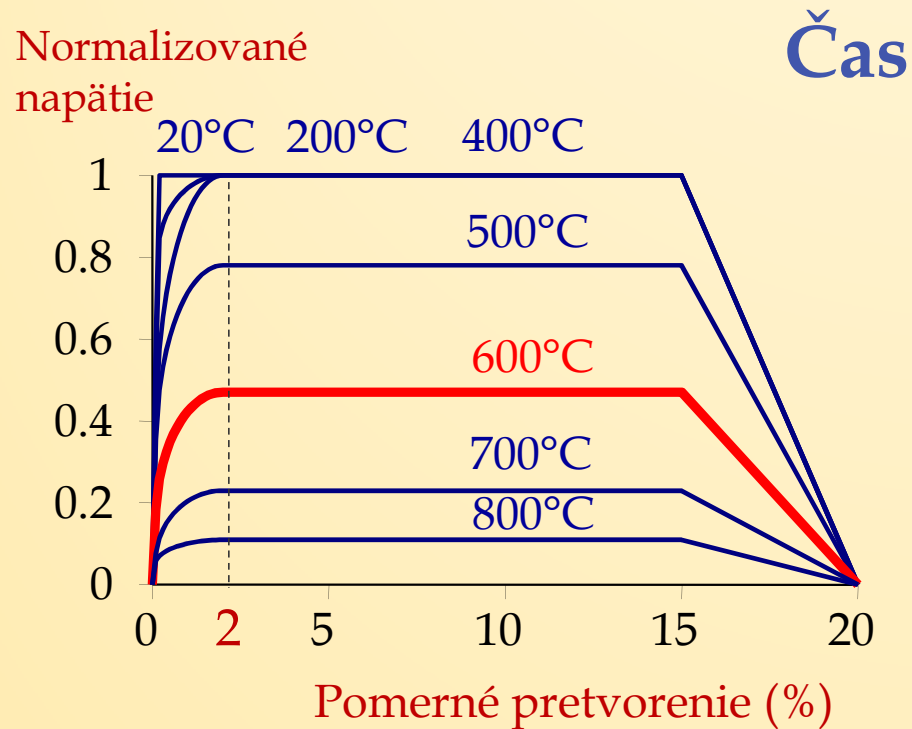
Podmienka

$$R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t}$$

6. Určenie požiarnej odolnosti

6.4. Mechanický výpočet

6.4.3. Výpočet pomocou MKP

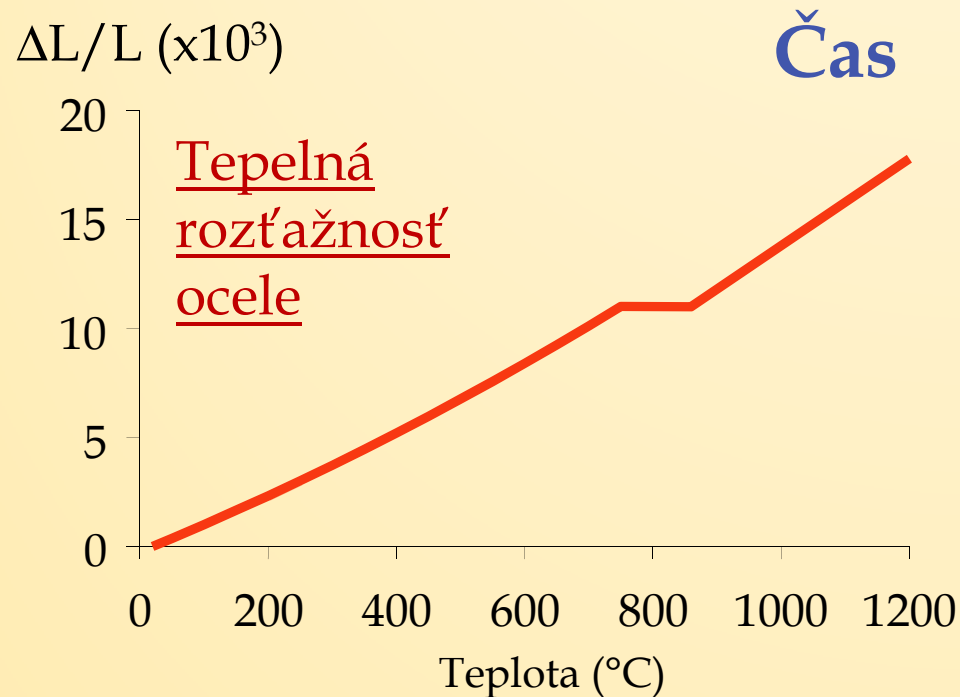


- ◆ Pracovný diagram ocele je nelineárny (pružná, parabolická, konštantná a klesajúca vetva)
- ◆ Medza klzu pri 600°C je redukovaná viac ako 50%

6. Určenie požiarnej odolnosti

6.4. Mechanický výpočet

6.4.3. Výpočet pomocou MKP



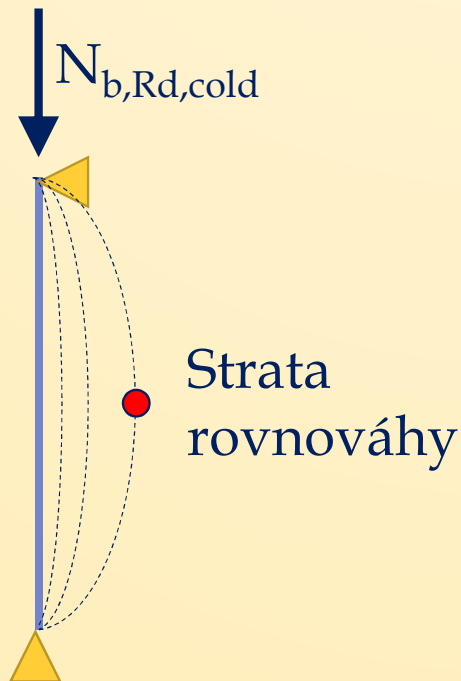
6. Určenie požiarnej odolnosti

6.4. Mechanický výpočet

6.4.3. Výpočet pomocou MKP

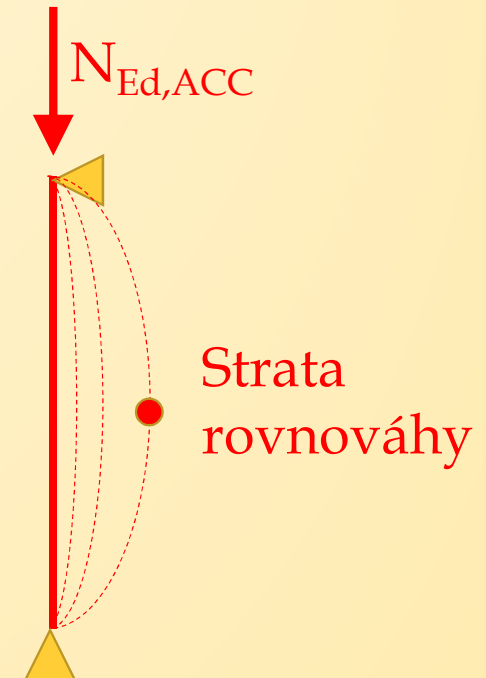
návrh pri 20°C

- Počiatočná imperfekcia
- Nárast zaťaženia až po porušenie



Návrh pri vysokých teplotách

- Počiatočná imperfekcia
- Počiatočné zaťaženie
- Nárast teploty až po porušenie

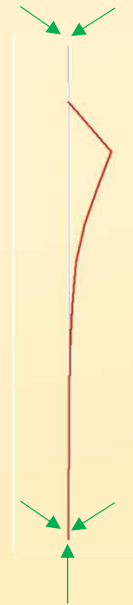
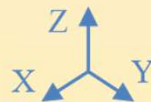
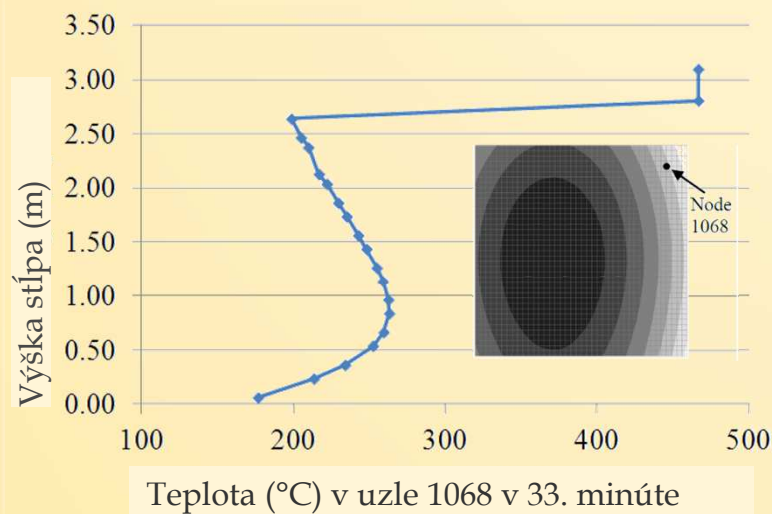


6. Určenie požiarnej odolnosti

6.4. Mechanický výpočet

6.4.3. Výpočet pomocou MKP

Čas



Vľavo: Priebeh teploty v uzle 1068 po 33 minútach pozdĺž 3.36 m stĺpa so štvorcovým prierezom obkoleseného 3 autami a 1 dodávkou

Vpravo: Priebeh premiestnení pri porušení (mierka 1:1) 3.36 m stĺpa so štvorcovým prierezom obkoleseného 3 autami a 1 dodávkou