LOCAFI+

Temperature assessment of a vertical member subjected to LOCAlised Fire, Dissemination

Stanovení teploty svislých prvků vystavených lokálnímu požáru

Projekt č. 754072

6. Sloučení Požární odolnosti

6. Sloučení Požární odolnosti

6.1. Obecný postup

1: Definice tepelného zatížení

2: Tepelná analýza

3: Mechanická analýza

Obecný postup je krok za krokem (Krok 1 → Krok 2 → Krok 3), ale přesněji by spojení mělo být v obou směrech. Pokud se tato dvojitá vazba nezohledňuje, musí si inženýři uvědomit související předpoklady!

- Deformace/posuny konstrukčního prvku mohou ovlivnit vznik požáru
- Deformace/posuny konstrukčního prvku mohou ovlivnit tepelnou expozici
- Zvýšení teploty v prvcích může ovlivnit energie absorbovaná ve stěnách/podlahách
- Plasticita a popraskání mohou vyvolat vznik nebo úniku tepla
- ...

6. Sloučení Požární odolnosti

6.2. Definice požárních scénářů

6.2.1. Prostorový požár

- Normové teplotní křivky (ISO-834, Uhlovodíková,…)
- Křivky přirozeného požáru (parametrická křivka dle Přílohy A EN 1991-1-2, software OZone založený na EN 1991-1-2 Přílohách D a E)

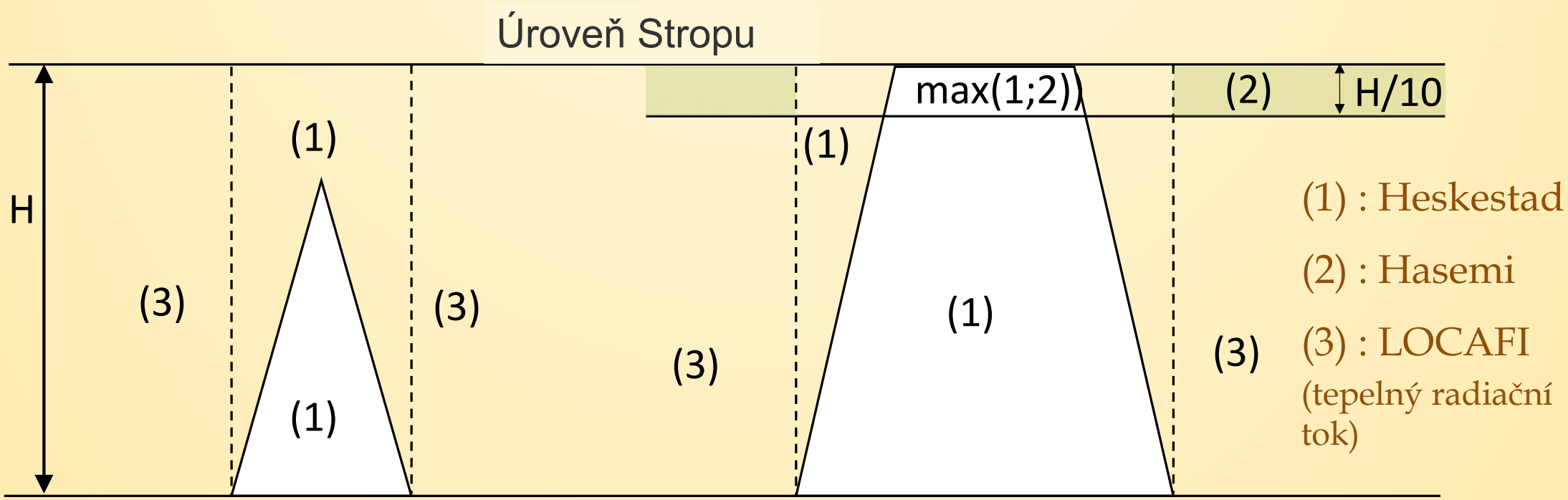
6.2.2. Lokální požár

- Požární scénář definovaný na základě vědeckých poznatků (průměrem požáru a RHR)

6. Sloučení Požární odolnosti

6.2. Definice požárních scénářů

6.2.2. Lokální požár



6. Sloučení Požární odolnosti

6.3. Teplotní analýza

6.3.1. Teplota v ustáleném stavu

Teplota v ustáleném stavu θ je teplota, při které je přijatý tok vyvažován emitovanými tepelnými (konvekčními a radiačními) toky

$$0 = \underbrace{\alpha_c(\theta - 20)}_{\text{Emitovaný čistý konvekční tok}} + \underbrace{\sigma\varepsilon[(\theta + 273)^4 - (20 + 273)^4]}_{\text{Emitovaný radiační tok}} - \underbrace{\varepsilon * \dot{h}_{m,r}}_{\text{Přijatý tepelný tok}} \qquad [\mathrm{W.m^{-2}}]$$

V případě prostorového požáru musí být průměrný radiační tok $\dot{h}_{m,r}$ nahrazen $\dot{h}_{m,tot}$ včetně konvekčního a radiačního toku.

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

Tento zjednodušený přístup zanedbává tepelnou setrvačnost prvku.

6. Sloučení Požární odolnosti

6.3. Teplotní analýza

6.3.2. Přírůstková metoda (rovnoměrné rozložení teploty)

Teplota konstrukčního prvku he vypočítá zavedením tepelné bilance prvku.

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

<u>Vlastnosti prvku:</u> ρ _ Hustota [kg/m^3], C_p _ Měrná tepelná kapacita [J.kg^{-1}.K^{-1}] a A_m/V _ Součinitel průřezu [m^{-1}]

EN 1993-1-2 předepisuje, že časový krok Δt nemá být větší než 5 sekund.

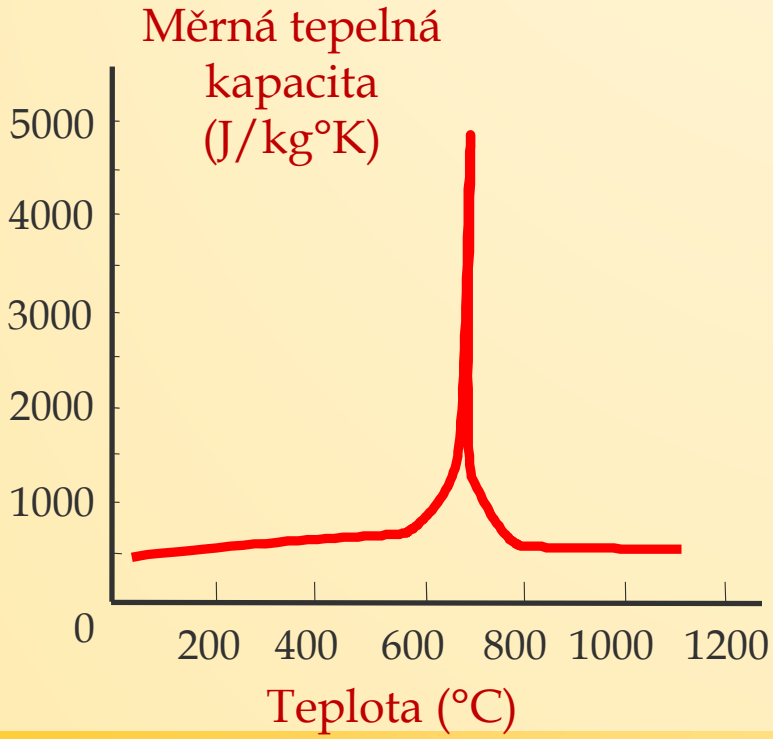
V případě prostorového požáru musí být průměrný radiační tok $\dot{h}_{m,r}$ nahrazen $\dot{h}_{m,tot}$ včetně konvekčního a radiačního toku.

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

6. Sloučení Požární odolnosti

6.3. Teplotní analýza

6.3.2. Přírůstková metoda (rovnoměrné rozložení teploty)



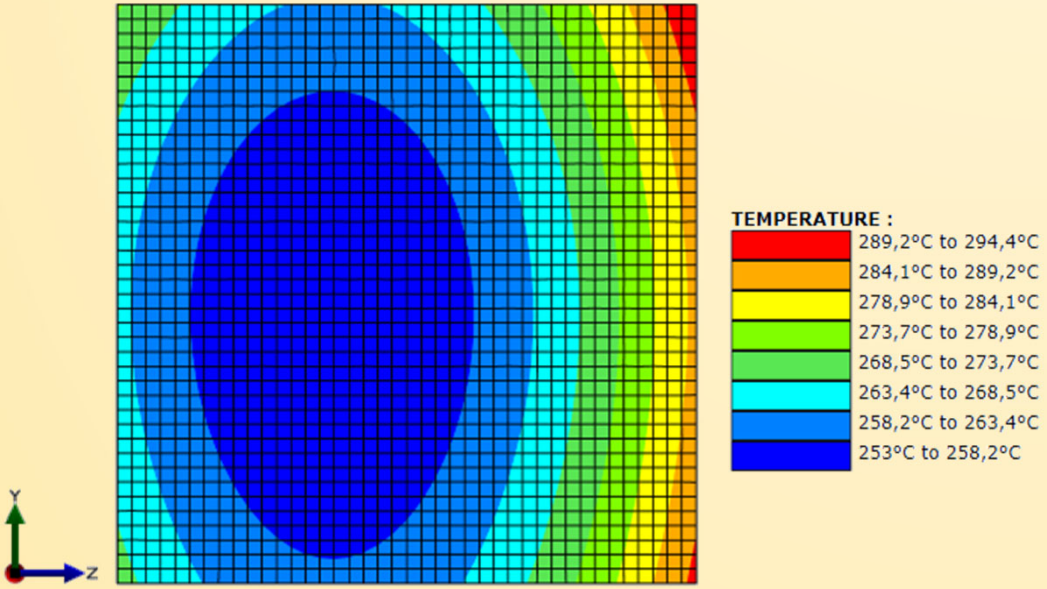
Objemová hmotnost oceli: 7850 kg/m^3

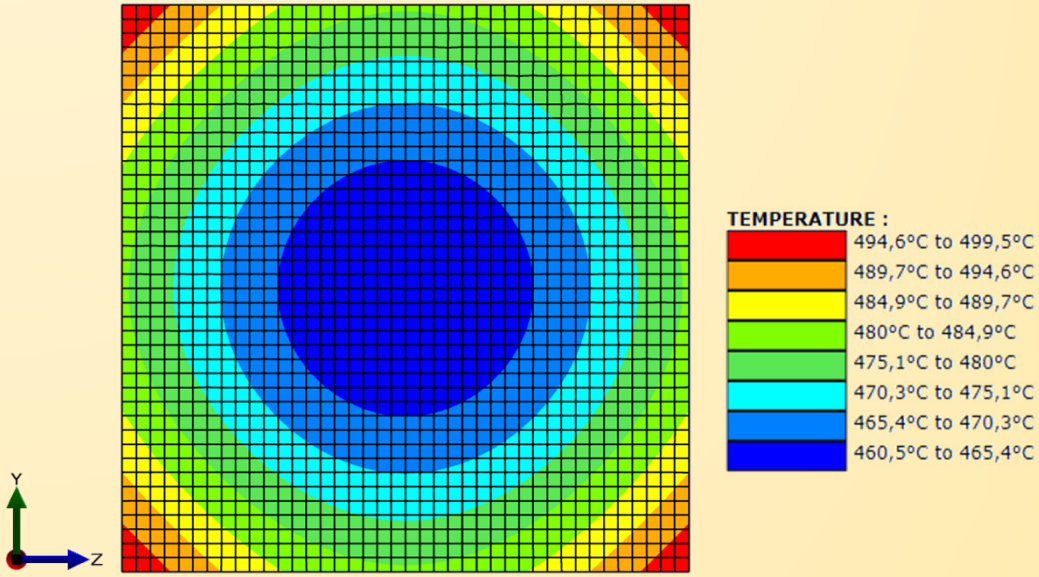
Nezávisle na teplotě

6. Sloučení Požární odolnosti

6.3. Teplotní analýza

6.3.3. F.E. tepelná analýza (nerovnoměrné rozložení teploty)





Rozložení teploty [°C] po 33 minutách ve sloupu výšky 3,36 [m] čtvercového průřezu 130 [mm] x 130 [mm]. Okolo sloupu jsou rozestavěny 3 hořící vozy a 1 vana s hořlavou kapalinou a) výšky 0,94 [m]; b) výška 3,1 [m].

6. Sloučení Požární odolnosti

6.4. Mechanická analýza

6.4.1. Obecná pravidla - EN 1993-1-2-Ocelové konstrukce

Pouze únosnost R ocelových konstrukcí se řídí pravidly návrhu požární části Eurokódu 3.

Únosnost konstrukce je splněna pouze tehdy, jestliže během příslušné doby vystavení požáru t platí:

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

kde $E_{fi,d,t}$: návrhové zatížení (Eurokódy 0 a 1)

$R_{fi,d,t}$: odpovídající únosnost konstrukce v čase t

6. Sloučení Požární odolnosti

6.4. Mechanická analýza

6.4.1. Obecná pravidla - EN 1993-1-2-Ocelové konstrukce

Kombinace pro MSÚ

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

Kombinace pro Nahodilé zatížení

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

Doporučeno použít dle odpovídající Národní přílohy

Zatížení dle provozu	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Kategorie A: domácnosti, obytné prostory	0.7	0.5	0.3
Kategorie B : kancelářské prostory	0.7	0.5	0.3
Kategorie C : shromažďovací prostory	0.7	0.7	0.6
Kategorie D : obchody a obchodní centra	0.7	0.7	0.6
Kategorie E : skladovací prostory	1	0.9	0.8
…	…	…	…

6. Sloučení Požární odolnosti

6.4. Mechanická analýza

6.4.1. Obecná pravidla - EN 1993-1-2-Ocelové konstrukce

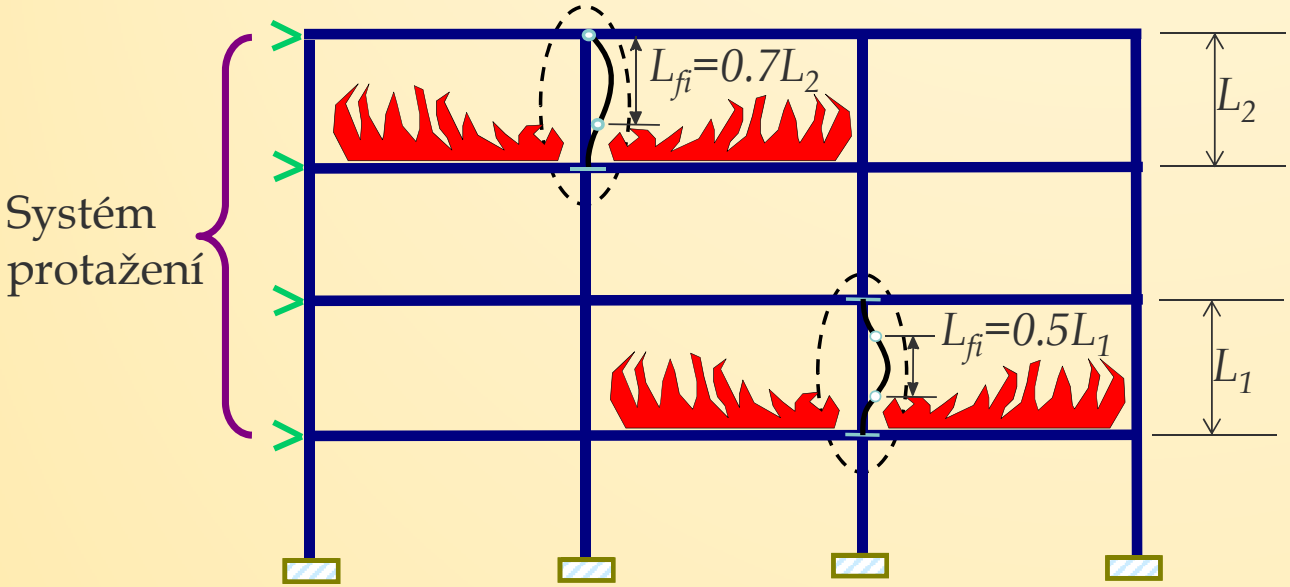
Součinitele bezpečnosti oceli při zvýšených teplotách

Typ prvku	Návrh za studena	Návrh za tepla
Průřez	$\gamma_{M0} = 1.0$	$\gamma_{M,fi} = 1.0$
Prvek s nestabylitou	$\gamma_{M1} = 1.0$	$\gamma_{M,fi} = 1.0$
Napětí prvku k destrukci	$\gamma_{M2} = 1.25$	$\gamma_{M,fi} = 1.0$
Spoje	$\gamma_{M2} = 1.25$	$\gamma_{M,fi} = 1.0$

6. Sloučení Požární odolnosti

6.4. Mechanická analýza

6.4.1. Obecná pravidla - EN 1993-1-2-Ocelové konstrukce



Podmínky:

- Konstrukce je propojená s okolními prvky
- Je ukončena nebo pokračuje přes sloupy
- Sloupy a stropní konstrukce mají stejnou požární odolnost R

6. Sloučení Požární odolnosti

6.4. Mechanická analýza

6.4.1. Obecná pravidla - EN 1993-1-2-Ocelové konstrukce

<u>Ověření požární odolnosti konstrukce dle jedné z následujících tří metod:</u>

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

Méně obvyklá metoda, platná pouze pro danou T°.

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

Možnost ručního výpočtu (snížená kapacita v požadované době).

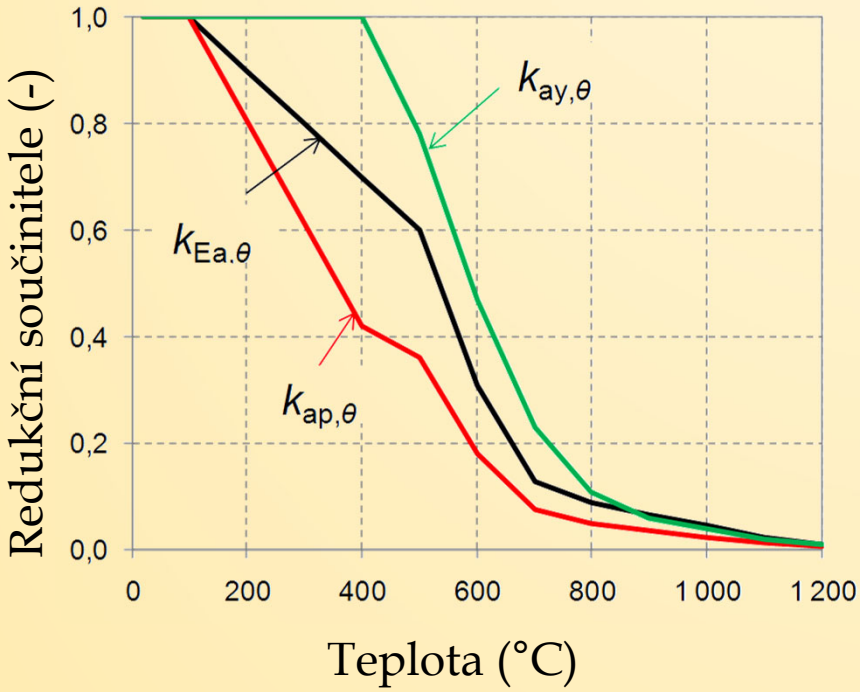
Časem : $t_{fi,d} \geq t_{fi,required}$

Nejpřehledněji vyjadřuje rezervy spolehlivosti - pokročilé nástroje (modely používající MKP).

6. Sloučení Požární odolnosti

6.4. Mechanická analýza

6.4.2. Analytické ověření únosnosti sloupu dle EN 1993-1-2



Teplotou

$k_{y,\theta}$: snížení meze kluzu

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

$k_{p,\theta}$: snížení meze úměrnosti

Aktuální verze EN 1993-1-2 platí pro třídy oceli S235 až S460

6. Sloučení Požární odolnosti

6.4. Mechanická analýza

6.4.2. Analytické ověření únosnosti sloupu dle EN 1993-1-2

Teplotou

Kombinace nahodilých zatížení

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

Doporučeno použít dle odpovídající Národní přílohy

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

Redukční součinitel dle úrovně zatížení

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

6. Sloučení Požární odolnosti

6.4. Mechanická analýza

6.4.2. Analytické ověření únosnosti sloupu dle EN 1993-1-2

Teplotou

Součinitele bezpečnosti zatížení

Při návrhu za zvýšené teploty

γ_{GA} = 1.0 Stálá zatížení;

$\psi_{2.1}$ = 0.3 Kombinační součinitel; proměnná zatížení, kancelářské

Při návrhu za běžné teploty

γ_G = 1.35 Stálá zatížení;

$\gamma_{Q.1}$ = 1.50 Proměnná zatížení

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

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

EN 1993-1-2 doporučuje η_{fi} = 0.65 (kromě Kategorie E, η_{fi} = 0.7)

6. Sloučení Požární odolnosti

6.4. Mechanická analýza

6.4.2. Analytické ověření únosnosti sloupu dle EN 1993-1-2

Teplotou

Kombinace nahodilých zatížení

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

Doporučeno použít dle odpovídající Národní přílohy

Redukční součinitel dle úrovně zatížení

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

Návrhová únosnost za běžné teploty

6. Sloučení Požární odolnosti

6.4. Mechanická analýza

6.4.2. Analytické ověření únosnosti sloupu dle EN 1993-1-2

Teplotou

Stupeň využití

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

- Součinitele bezpečnosti uvažujeme za pokojové a zvýšené teploty T° (obvykle v obou případech 1.0).
- Umožňuje přímý výpočet kritické teploty T°.
- V případě, že režim selhání zahrnuje nestabilitu, je vyžadována snížená nepoddajnost.

6. Sloučení Požární odolnosti

6.4. Mechanická analýza

6.4.2. Analytické ověření únosnosti sloupu dle EN 1993-1-2

Teplotou

$\bar{\lambda}_{fi,0}$	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				
…	…	…	…	…	…	…	…				

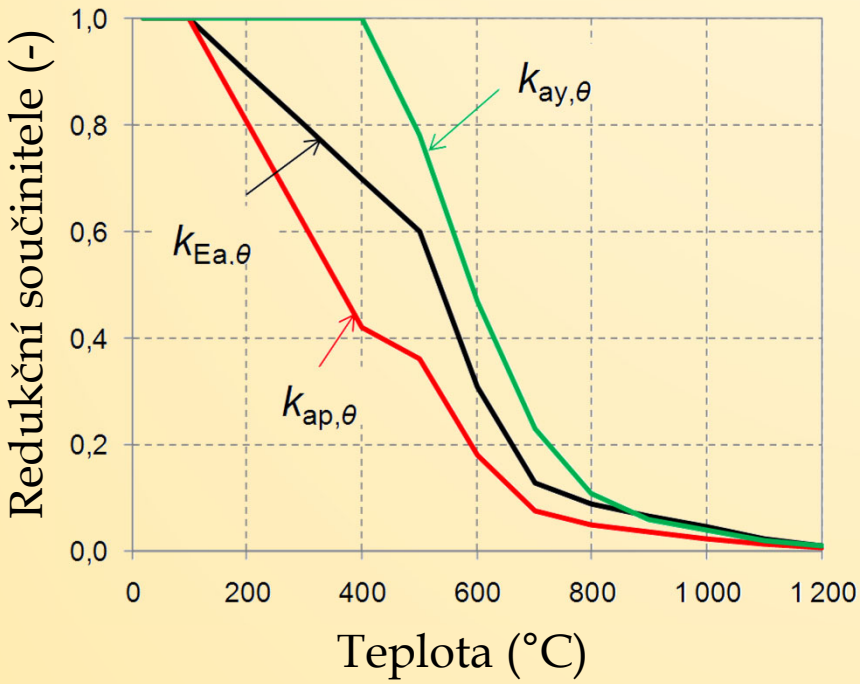
Kritická teplota ocelových prvků při nestabilitě určená pomocí specifických tabelovaných dat založených na:

- bezrozměrná štíhlost v čase 0
- konkrétní úroveň zatížení $\mu_0 = N_{fi,d,t} / N_{pl,fi,0}$
- každá třída oceli má své vlastní tabulkové údaje

6. Sloučení Požární odolnosti

6.4. Mechanická analýza

6.4.2. Analytické ověření únosnosti sloupu dle EN 1993-1-2



Únosností

$k_{y,\theta}$: snížení meze kluzu

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

$k_{p,\theta}$: snížení meze úměrnosti

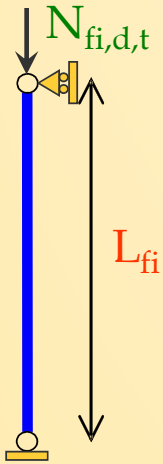
Aktuální verze EN 1993-1-2 platí pro třídy oceli S235 až S460

6. Sloučení Požární odolnosti

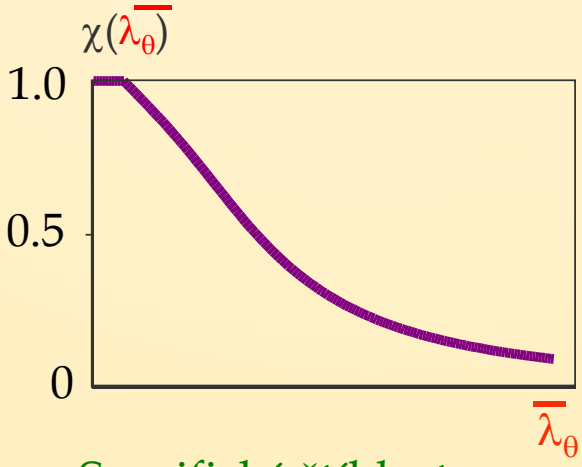
6.4. Mechanická analýza

6.4.2. Analytické ověření únosnosti sloupu dle EN 1993-1-2

Únosností



Řez a teplota



Specifická štíhlost

$$\alpha = 0.65\sqrt{\frac{235}{f_y}} \qquad \overline{\lambda_\theta} = \overline{\lambda}\sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}}$$

$$\varphi_\theta = \frac{1}{2}\left[1 + \alpha\overline{\lambda_\theta} + \overline{\lambda_\theta}^2\right]$$

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_\theta + \sqrt{\varphi_\theta^2 - \overline{\lambda_\theta}^2}}$$

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

6. Sloučení Požární odolnosti

6.4. Mechanická analýza

6.4.2. Analytické ověření únosnosti sloupu dle EN 1993-1-2

Únosností

Kombinace nahodilých zatížení

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

Doporučeno použít dle odpovídající Národní přílohy

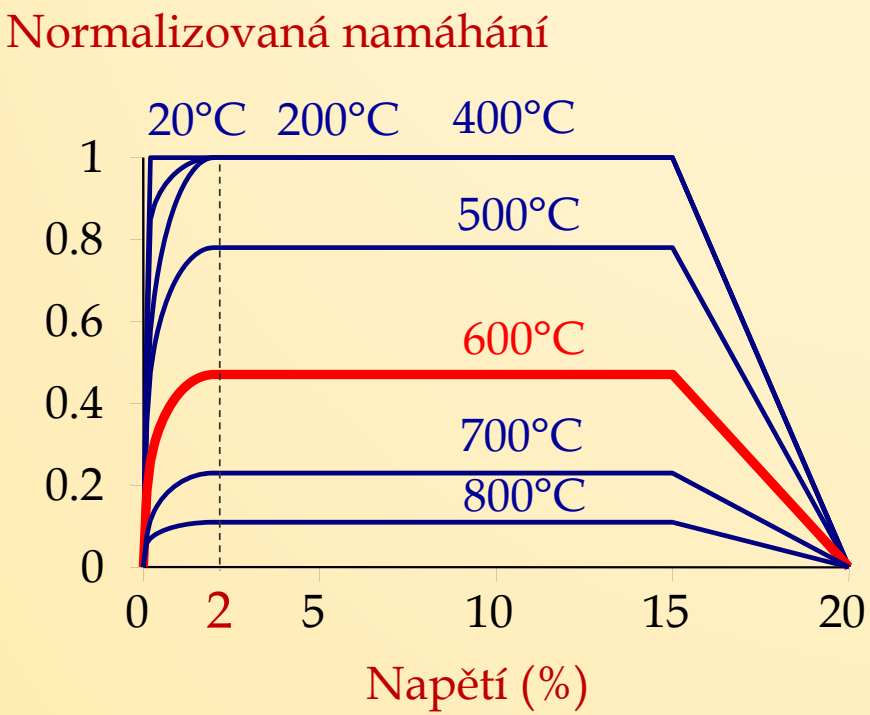
Kritéria návrhu

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

6. Sloučení Požární odolnosti

6.4. Mechanická analýza

6.4.3. Metoda konečných prvků



Čas

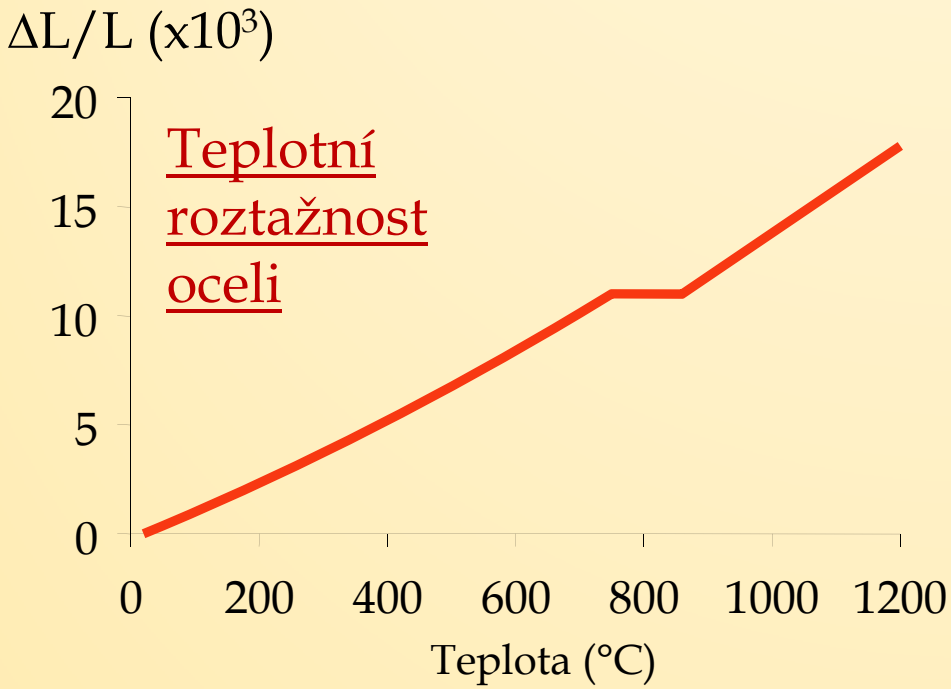
- Diagram průběhu napětí oceli je nelineární (elastický, parabolický, rovný, sestupný)
- Pevnost je při 600°C redukována o víc než 50%

6. Sloučení Požární odolnosti

6.4. Mechanická analýza

6.4.3. Metoda konečných prvků

Čas



6. Sloučení Požární odolnosti

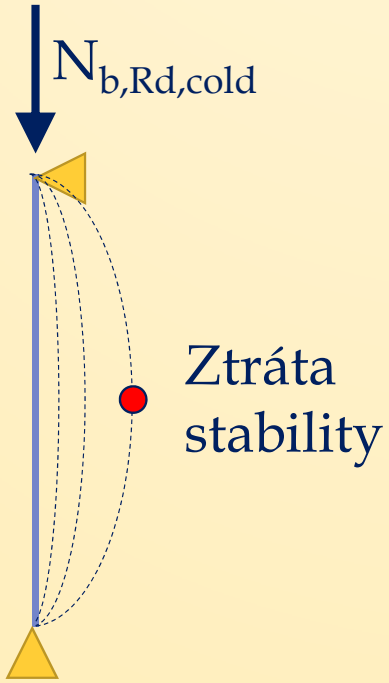
6.4. Mechanická analýza

6.4.3. Metoda konečných prvků

Čas

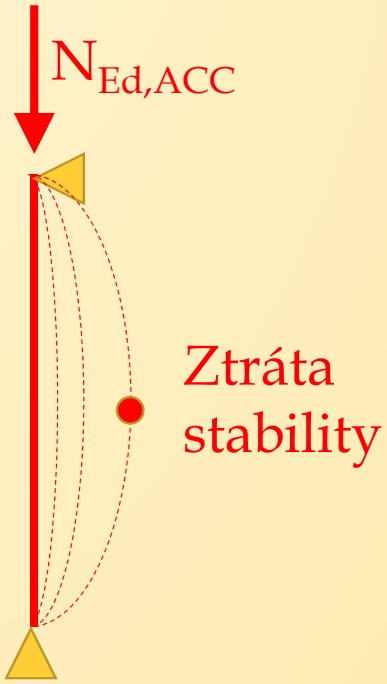
<u>Návrh za studena</u>

-Počáteční imperfekce
-Zatížení je zvyšováno až do selhání



<u>Návrh za zvýšené teploty</u>

- Počáteční imperfekce
- Počáteční zatížení
- Teplota je zvyšována až do selhání

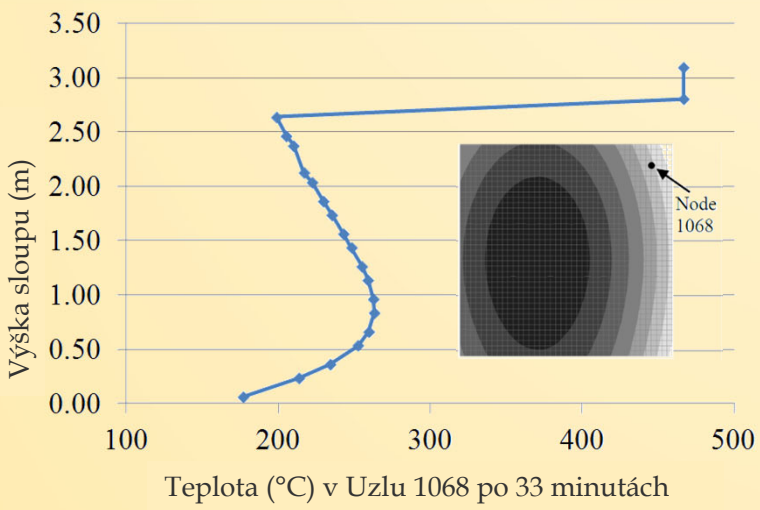


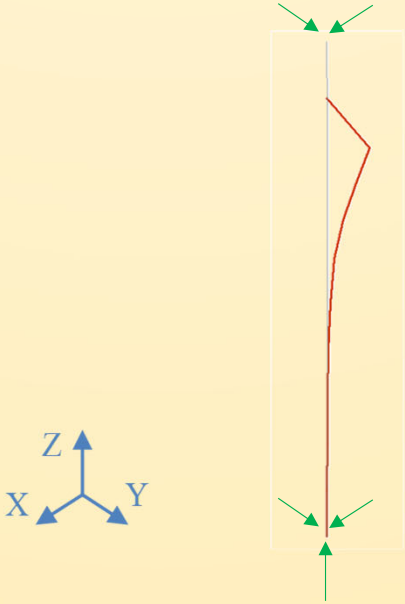
6. Sloučení Požární odolnosti

6.4. Mechanická analýza

6.4.3. Metoda konečných prvků

Čas





Vlevo : Rozložení teploty v Uzlu 1068 po 33 minutách podél 3.36 [m] vysokého sloupu čtvercového průřezu 130[mm]x130[mm] zatíženého požárem 3 vozidel a 1 vany s hořlavou kapalinou

Vpravo : Tvar vybočení tohoto sloupu