

Betonové a ocelové konstrukce

Ing. Josef Novák, Ph.D.
Katedra betonových a zděných konstrukcí

Ing. Břetislav Židlický, Ph.D.
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

České vysoké učení technické v Praze

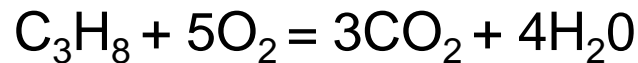
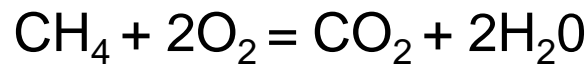


Seznam přednášek

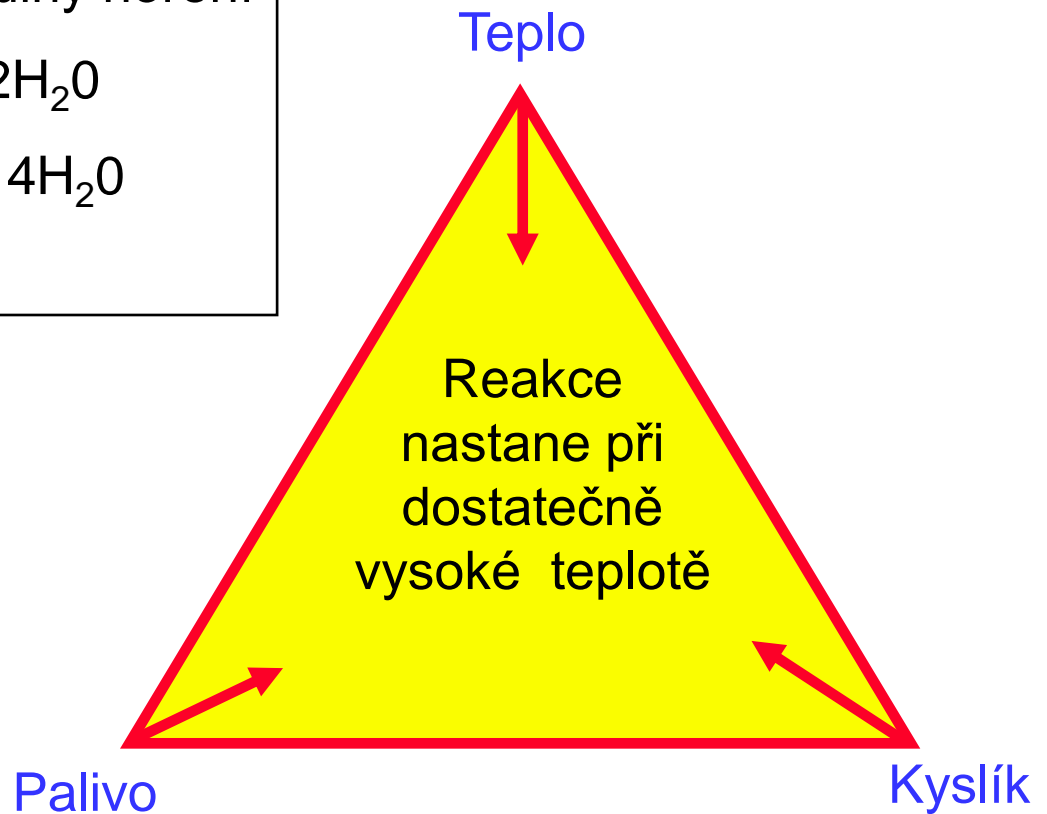
- Spoje: kloubové, tuhé a polotuhé; klasifikace styčníků, čepové spoje
- Kroucení, kombinace namáhání, únava ocelových konstrukcí
- Ocelové haly s jeřábovou dráhou – nosník dráhy, ztužení, detaily
- **Požární odolnost ocelových a ocelobetonových konstrukcí**
- Zásobníky, nádrže, lanové a membránové konstrukce
- Lešení, korozivzdorná ocel

Trojúhelník hoření

Palivo + Okysličení = Zplodiny hoření



...



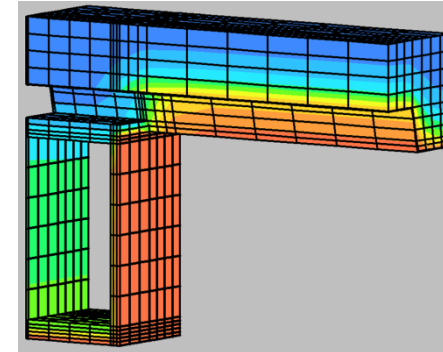
Princip návrhu konstrukce při požáru



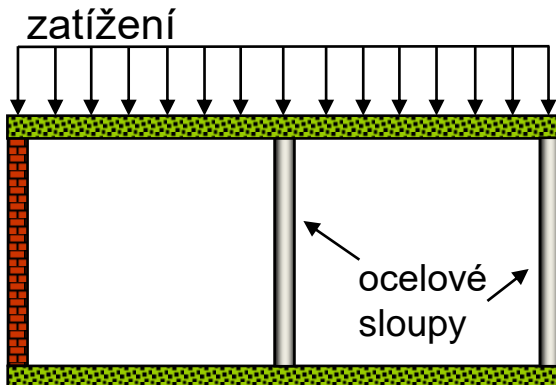
1: Vznik požáru



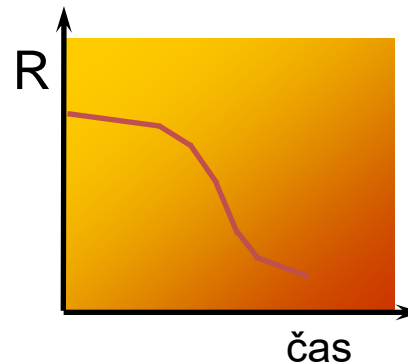
2: Teplota při požáru



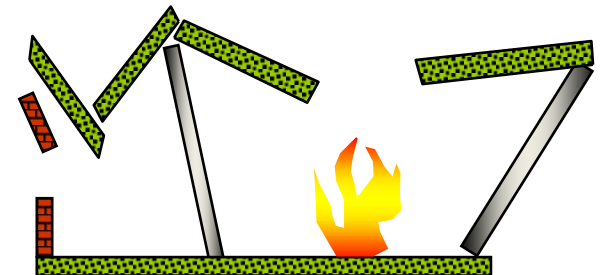
3: Teplota konstrukce



4: Mechanické zatížení

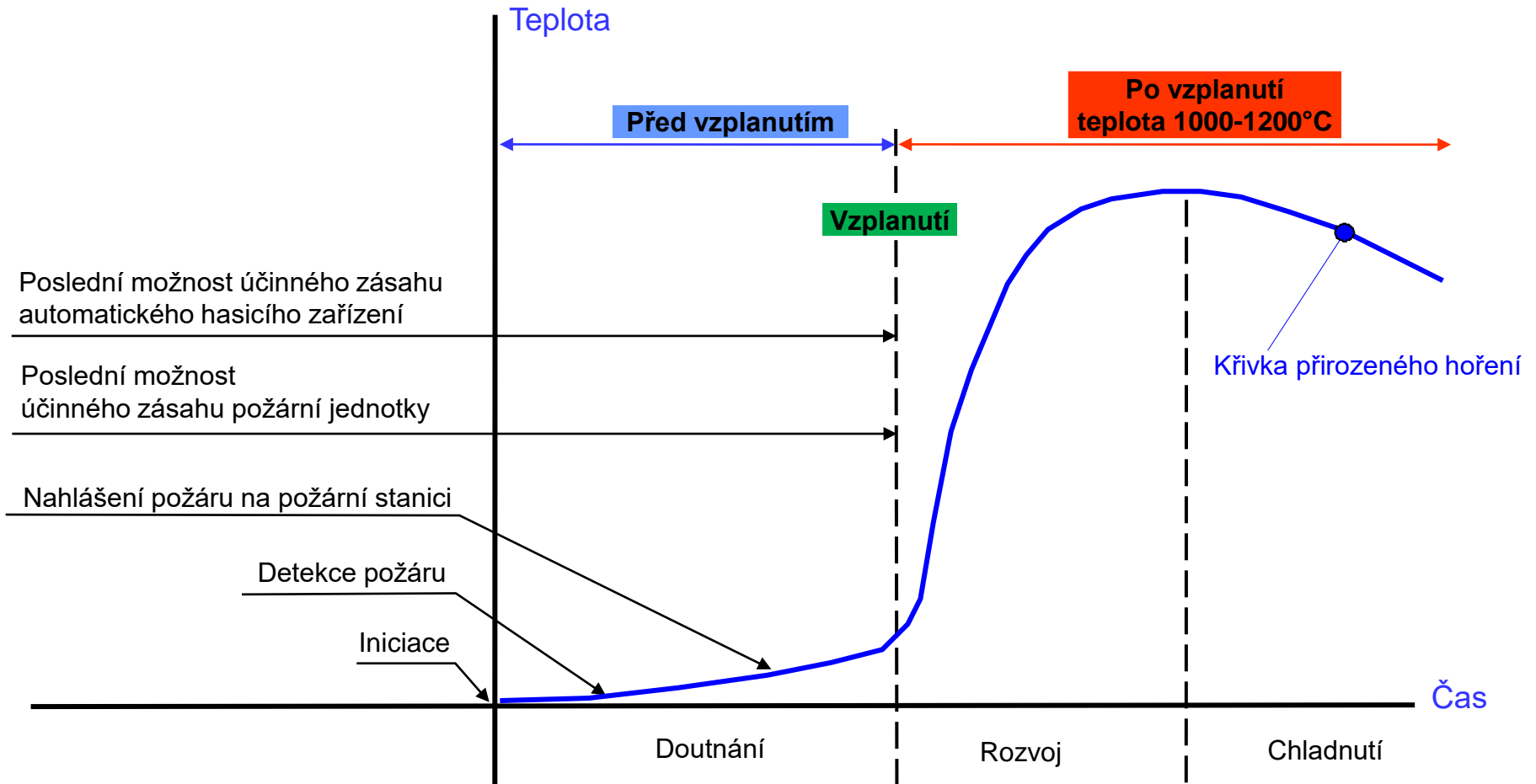


5: Analýza konstrukce



6: Možnost zřícení

Přirozený průběh požáru



Požadavky na stavební konstrukce

- Požadavky určuje požární specialista podle národních předpisů a udává je v Požárně bezpečnostním řešení
- Vychází se ze stupně požární bezpečnosti požárního úseku podle ČSN EN 1363-1 a souvisejících norem
- Požadavky na požární odolnost konstrukcí stanoví ČSN 73 0802, ČSN 73 0804 a navazující normy

Hodnocení požární odolnosti stavebních kcí

- Stupnice požární odolnosti konstrukcí
 - 15; 30; 45; 60; 90; 120 a 180 minut

- Kritéria
 - R – únosnost nebo stabilita $R(t)$, např. $R30$
 - E – celistvost $E(t)$
 - I – teplota na neohřívané straně $I(t)$
 - W – hustota tepelného toku $W(t)$
 - S – prostup zplodin hoření $S(t)$

- Požadavky na různé konstrukční prvky
 - Nosné konstrukce bez požárně dělící funkce R
 - Stropní konstrukce REI
 - Nosné stěny uvnitř objektu EI
 - Obvodové stěny
 - Z vnitřní strany REW nebo EW
 - Z vnější strany REI nebo EI

Prokázání spolehlivosti

■ Časem

- Požární odolnost prvku je větší než požadovaná požární odolnost

$$t_{fi,d} \geq t_{fi,req}$$

■ Teplotou

- Kritická teplota prvku je větší než maximální teplota prvku dosažená při požáru během požadované doby požární odolnosti

$$\theta_{crit} \geq \theta_{a,t}$$

■ Únosností

- Únosnost prvku při požáru je větší než účinky zatížení při požáru
- Podmínka pro momentovou únosnost

$$M_{fi,Rd} \geq M_{fi,Ed}$$

Přístupy k posuzování konstrukcí

■ Podle předpisů (Prescriptive methods)

- Teplota v požárním úseku podle **nominální křivky**
- Přibližné řešení přestupu tepla do konstrukce – přímý výpočet
- Přestup tepla do konstrukce přírůstkovou metodou
- Výpočet vnitřních sil na jednotlivých prvcích při 20°C a odvození namáhání při požáru

- Jednoduché vstupní údaje
- Snadné a rychlé řešení
- Vhodné pro jednoduché konstrukce
- Konzervativní

■ Inženýrské metody (Performance based methods)

- **Parametrická teplotní křivka**
- Lokální požár
- Teplotní analýza požárního úseku zónovým módem nebo CFD
- Přestup tepla do konstrukce přírůstkovou metodou
- Přestup a vedení tepla v konstrukci MKP
- Globální (materiálově a fyzikálně nelineární) analýza konstrukce za zvýšené teploty, analýza celé konstrukce nebo její relativně samostatné části (rámu)

- Velké množství vstupních údajů
- Někdy je obtížné je sehnat
- Složité, časově náročné řešení
- Ne všechny státy EU ho akceptují
- Nezbytné pro složité konstrukce
- Přesnější

Předpověď teploty při požáru

- Podle předpisů (Prescriptive methods)
 - Podle nominálních teplotních křivek

- Inženýrské metody (Performance based methods)
 - Požární scénář
 - Hustota požárního zatížení
 - Rychlost uvolňování tepla
 - Předpověď průběhu požáru a teploty v požárním úseku
 - Parametrická teplotní křivka
 - Lokální požár
 - Zónové modely
 - Dynamická analýza plynů

Nominální teplotní křivky

- Popisují teplotu plně rozvinutého požáru (tj. požáru po vzplanutí)
- Nezohledňují žádné vstupní parametry
- Nemají fázi dohořívání

- Normová křivka pro celulózový typ požáru (dřevo, papír, textil, ...)

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1)$$

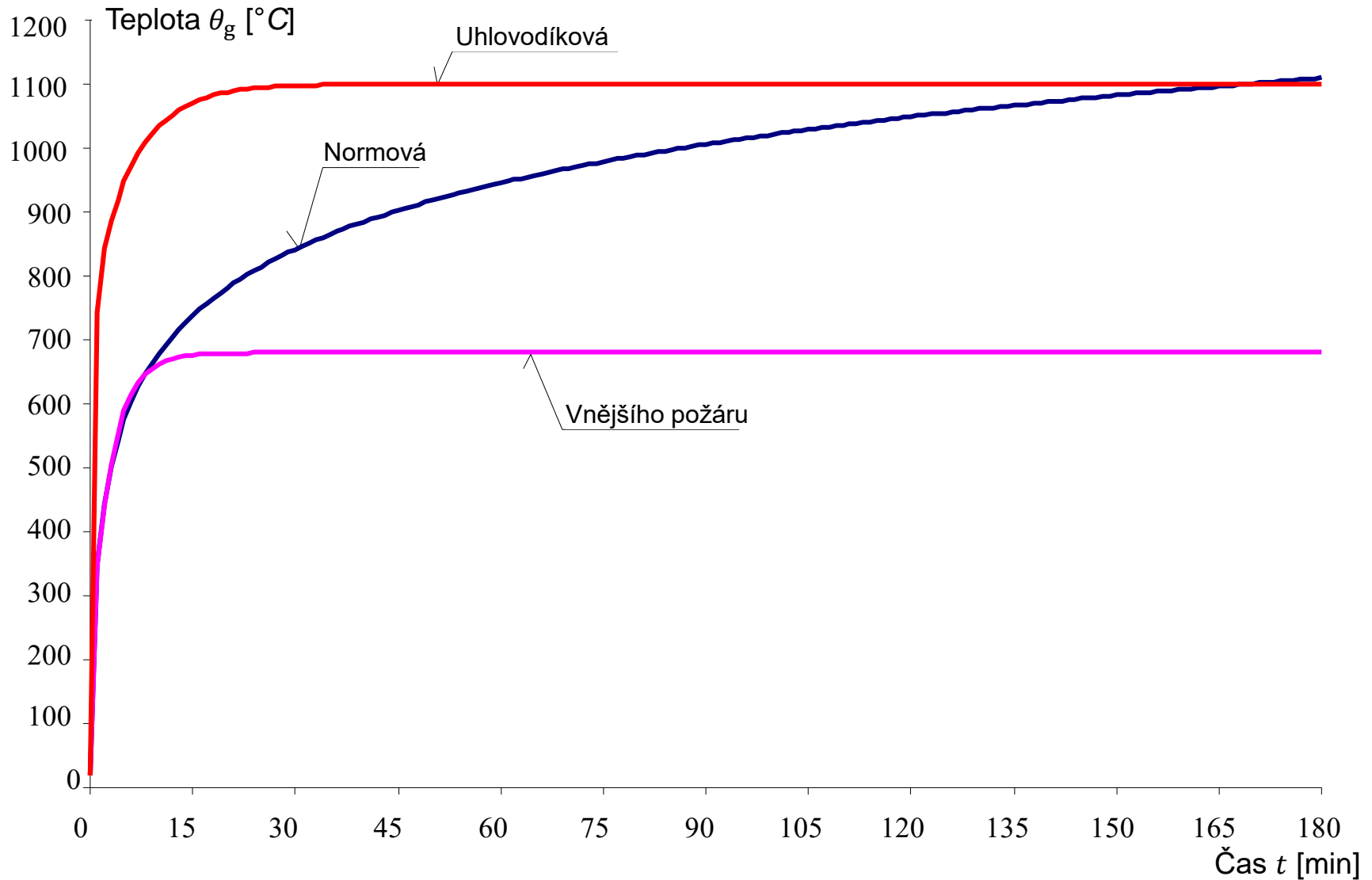
- Teplotní křivka vnějšího požáru (pro vnější stěny zahřívané plameny vystupujícími z okna budovy)

$$\theta_g = 20 + 660(1 - 0,687e^{-0,32t} - 0,313e^{-0,38t})$$

- Uhlovodíková teplotní křivka pro uhlovodíkový typ požáru (plasty, oleje, benzín, ropa, ...)

$$\theta_g = 20 + 1080(1 - 0,325e^{-0,167t} - 0,675e^{-2,5t})$$

Nominální teplotní křivky



Požární scénáře

- Využití inženýrských metod
 - Popis možnosti vzniku, rozvoje a průběhu požáru pro návrh konstrukcí
 - Popis teploty po celou dobu trvání požáru (doutnání, rozhořívání, vzplanutí, dohořívání)
 - Možné požární scénáře zohledňují
 - Posuzovaný prvek
 - Požární zatížení
 - Požárně bezpečnostní opatření
 - Rozměry požárního úseku
 - ...

Příklad: výrobní hala

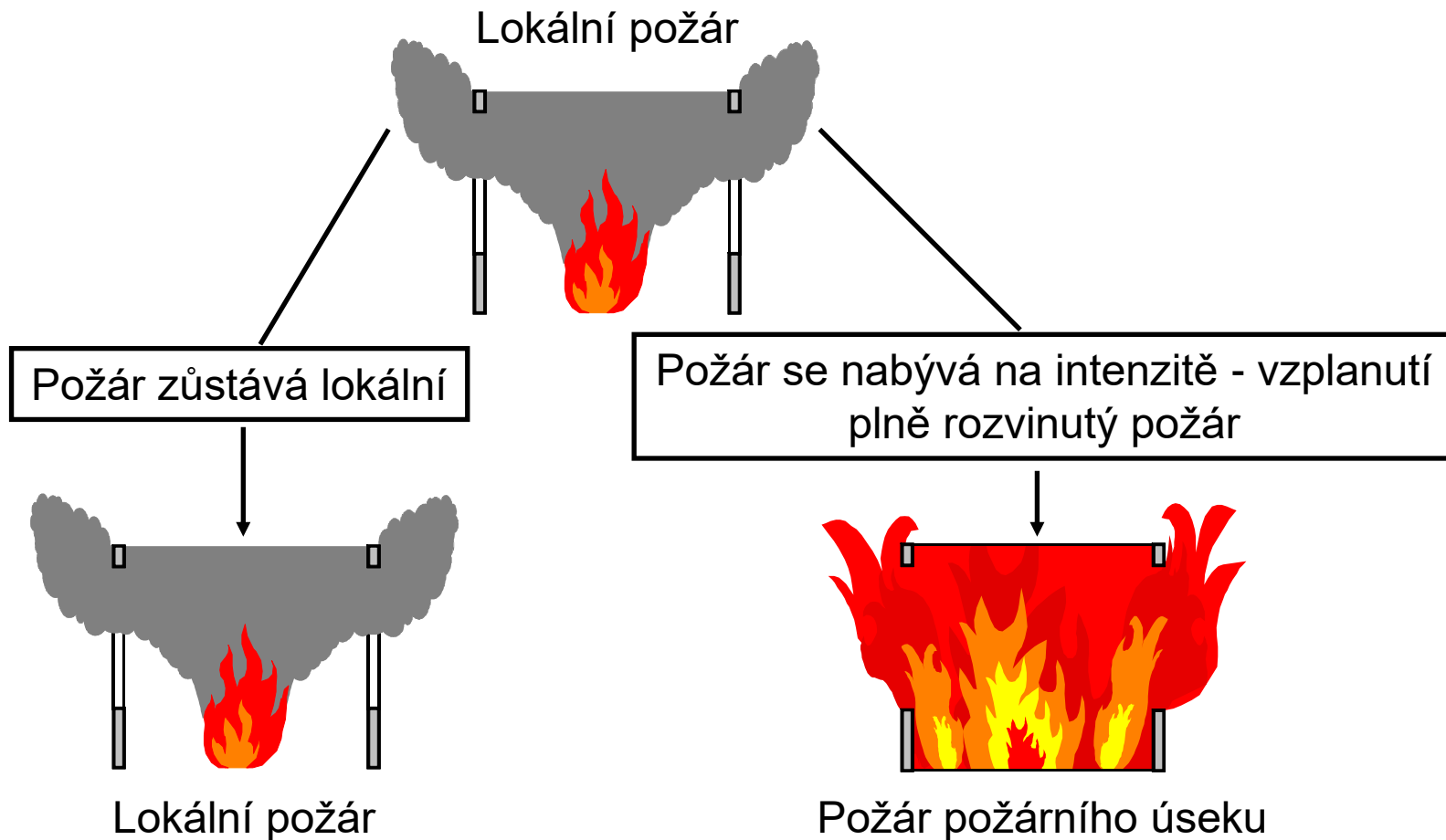
- Plně rozvinutý požár zpracovávaného materiálu a vybavení
- Lokální požár strojního zařízení (obráběcího stroje)
- Lokální požár materiálu připraveného ke zpracování nebo hotových výrobků

Příklad: víceúčelová hala, sportovní hala, tělocvična

- Požární zatížení → prakticky není
- Výstava – lokální požár výstavního stánku

Požární scénáře – Modely požáru

- Využití inženýrských metod



Hustota požárního zatížení

- Postup podle ČSN EN 1991-1-2, Příloha E
- Hořlavé materiály tvořící konstrukci (podlahy, okenní rámy, nosné prvky, ...)
- „Obsah“ budovy (nábytek, skladovaný materiál, ...)
- Charakteristické požární zatížení

$$Q_{fi,k} = \sum (M_{k,i} H_{ui} \psi_i) = \sum Q_{fi,k,i} \quad [\text{MJ}]$$

Množství hořlavého materiálu [kg]

Čistá výhřevnost [MJ/kg]

Zmenšovací součinitel pro chráněné požární zatížení, zpravidla 1,0

- Hustota požárního zatížení

$$q_{f,k} = \frac{Q_{fi,k}}{A_f} \quad [\text{MJ}/\text{m}^2]$$

Plocha podlahy požárního úseku [m²]

Hustota požárního zatížení $q_{f,k}$ [MJ/m²]

Provoz	Průměr	80% kvantil
byty	780	948
nemocnice (pokoje)	230	280
hotely (pokoje)	310	377
knihovny	1500	1824
kanceláře	420	511
školní třídy	285	347
nákupní centrum	600	730
divadla (kina)	300	365
doprava (prostory pro veřejnost)	100	122

Hustota požárního zatížení

■ Návrhová hodnota

$$q_{f,d} = q_{f,k} m \delta_{q1} \delta_{q2} \delta_n \quad [\text{MJ}/\text{m}^2]$$

Součinitel vlivu požárně bezpečnostních opatření (přes δ_n)
 Součinitel hoření (0,8) (přes m)
 Riziko vzniku požáru vzhledem k velikosti požárního úseku (1,1 – 2,6) (přes δ_{q1})
 Riziko vzniku požáru vzhledem k účelu stavby (0,78 – 1,66) (přes δ_{q2})

$$\delta_{q1} = 0,16881 \ln(A_f) + 0,5752$$

Podlahová plocha úseku A_f [m ²]	Nebezpečí vzniku požáru δ_{q1}
25	1,10
250	1,50
2500	1,90
5000	2,00
10000	2,13

$$\delta_n = \prod \delta_{n,i} = \delta_{n,1} \cdot \delta_{n,2} \cdot \dots \cdot \delta_{n,10}$$

Aktivní požárně bezpečnostní opatření			δ_{ni}
Samočinné hasící zařízení	Samočinné vodní hasící zařízení		δ_{n1} 0,61
	Nezávislé vodní zdroje	žádný	δ_{n2} 1,00
		jeden	δ_{n2} 0,87
		dva	δ_{n2} 0,70
Samočinné požární hlásiče	Elektrická požární signalizace	tepelné	δ_{n3} 0,87 nebo 0,73
		kouřové	
	Zařízení dálkového přenosu k požární jednotce	δ_{n5}	0,87
Manuální hašení požáru	Závodní požární jednotka	δ_{n6}	0,61 nebo 0,78
	Externí (veřejná) požární jednotka	δ_{n7}	
	Bezpečné přístupové cesty	δ_{n8}	0,9 nebo 1,0 nebo 1,5
	Technické prostředky požární ochrany	δ_{n9}	1,0 nebo 1,5
	Zařízení pro odvod kouře	δ_{n10}	1,0 nebo 1,5

Nebezpečí vzniku požáru δ_{q2}	Příklady provozu
0,78	umělecké galerie, muzea, bazény
1,00	kanceláře, byty, hotely, papírenský průmysl
1,22	výroba strojů a motorů
1,44	chemické laboratoře
1,66	výroba zábavné pyrotechniky nebo barev

Rychlost uvolňování tepla

- Pro popis rychlosti rozvoje požáru se často používá model „t² fire“

- Fáze hoření

- Rozhořívání

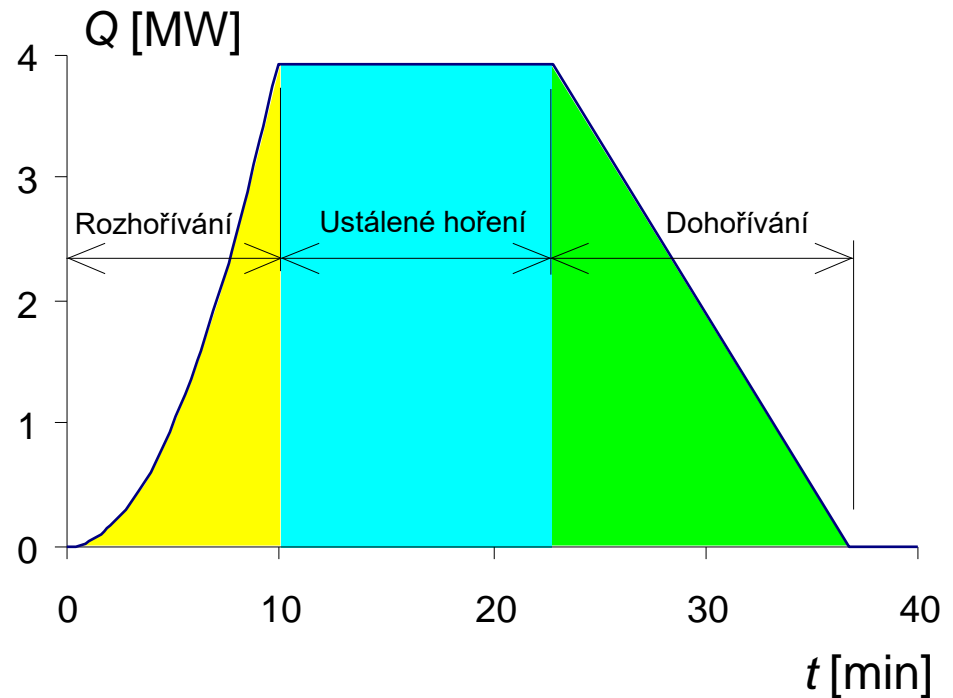
$$Q = 1 \text{ MW} \left(\frac{t}{t_\alpha} \right)^2$$

- Ustálené hoření

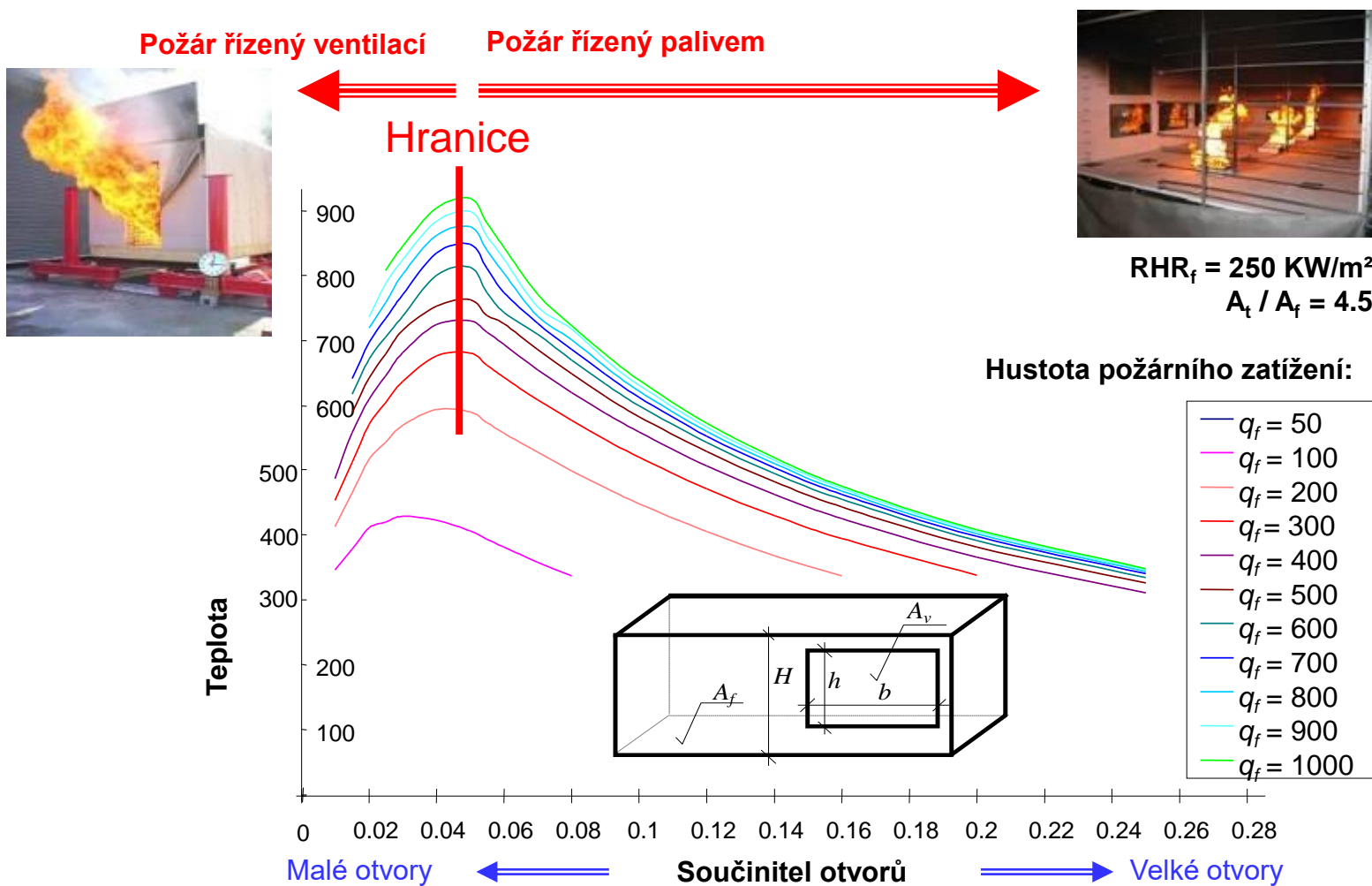
$$Q = A_{\max} RHR_f$$

- Dohořívání

$$Q = \text{lineární pokles}$$



Vliv velikosti otvorů



RHR_f = 250 KW/m²
A_t / A_f = 4.5

Hustota požárního zatížení:

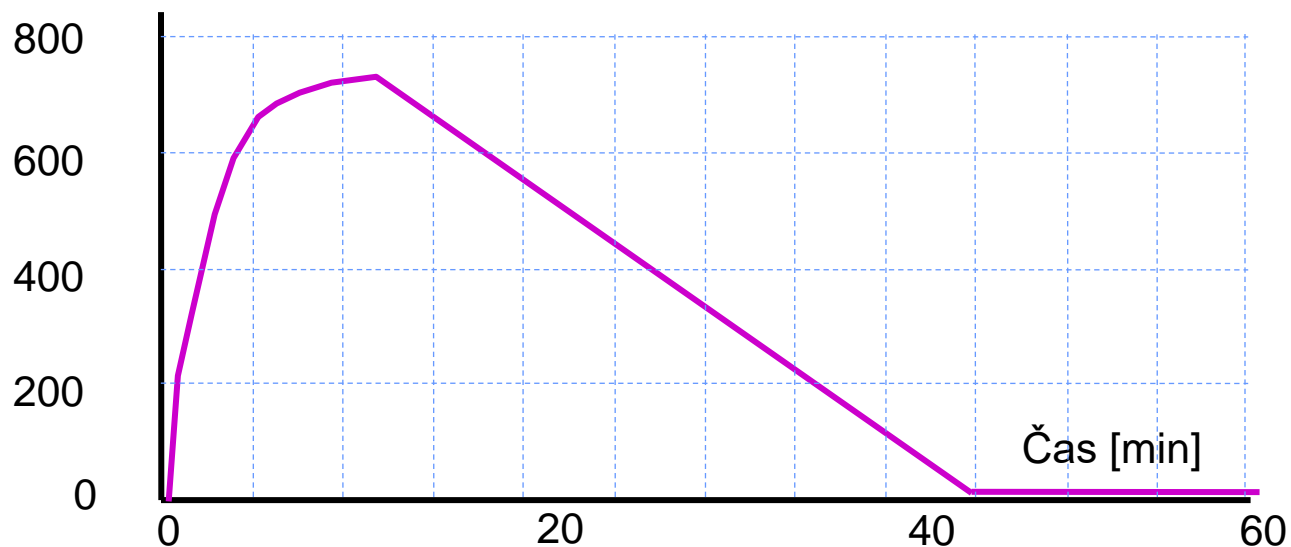
- q_f = 50
- q_f = 100
- q_f = 200
- q_f = 300
- q_f = 400
- q_f = 500
- q_f = 600
- q_f = 700
- q_f = 800
- q_f = 900
- q_f = 1000

Teplota v požárním úseku pro různé požární zatížení a součinitel otvorů $O = \frac{\sum A_v \sqrt{h}}{A_t} \left[m^{1/2} \right]$

Parametrická teplotní křivka

- Metoda stanovení teploty pro fázi hoření i chladnutí
- Popisuje požár po vzplanutí
 - ČSN EN 1991-1-2, příloha A
 - Omezena na požární úseky do 500 m² podlahové plochy
 - Pro úseky s otvory pouze ve stěnách
 - Pro maximální výšku požárního úseku 4 m
 - Pro přiměřené množství a běžné hořlavé materiály
 - $q_{t,d}$ v rozmezí 50 až 1000 MJ/ m² (od 3,5 do 70 kg dřeva na m²).

Teplota plynů [°C]



Parametrická teplotní křivka

- Charakteristiky požárního úseku
 - A_f – Plocha podlahy
 - A_t – Plocha ohraničujících konstrukcí úseku (stěny, strop, podlaha)
 - A_v – Plocha svislých otvorů

- Koeficient otvorů ($0,02 \leq O \leq 0,20$)

$$O = \frac{\sum A_v \sqrt{h}}{A_t}$$

← Výška otvoru

- Tepelné vlastnosti materiálů ohraničujících požární úsek

- Dílčí materiál

$$b_i = \sqrt{\rho c \lambda}$$

ρ Objemová hmotnost konstrukcí ohraničujících požární úsek

c Specifické (měrné) teplo konstrukcí ohraničujících požární úsek

λ Tepelná vodivost konstrukcí ohraničujících požární úsek

Parametrická teplotní křivka

- Tepelné vlastnosti materiálů ohraničujících požární úsek
 - Výsledná tepelná charakteristika ($100 \leq b \leq 2200$)

$$b = \frac{\sum(b_i A_j)}{A_t - A_v}$$

- Součinitel vlivu otvorů a kvality povrchů

$$\Gamma = \frac{\left(\frac{o}{o_{\text{ref}}}\right)^2}{\left(\frac{b}{b_{\text{ref}}}\right)^2} = \frac{\left(\frac{o}{b}\right)^2}{\left(\frac{0,04}{1160}\right)^2}$$

- Čas dosažení nejvyšší teploty

$$t_{\text{max}} = \max\left(t_{\text{lim}}; \frac{0,2 \cdot 10^{-3} q_{t,d}}{o}\right) \quad [\text{h}]$$

Dosadit v hodinách

- Náhradní čas nejvyšší teploty

$$t^* = t \Gamma \quad [\text{h}]$$

Požáry řízené palivem:

- Pomalé ($t_{\text{lim}} = 25$ min)
- Průměrné ($t_{\text{lim}} = 20$ min)
- Krátké ($t_{\text{lim}} = 15$ min)

Parametrická teplotní křivka

- Fáze rozvoje

$$\Theta_g = 20 + 1325(1 - 0,324e^{-0,2t^*} - 0,204e^{-1,7t^*} - 0,472e^{-19t^*})$$

- Chladnutí

$$\Theta_g = \Theta_{\max} - 625(t^* - t_{\max}^*x) \quad \text{pro } t_{\max}^* \leq 0,5$$

$$\Theta_g = \Theta_{\max} - 250(3 - t_{\max}^*x)(t^* - t_{\max}^*x) \quad \text{pro } 0,5 < t_{\max}^* \leq 2$$

$$\Theta_g = \Theta_{\max} - 250(t^* - t_{\max}^*x) \quad \text{pro } t_{\max}^* > 2$$

Jestliže $t_{\max} > t_{\lim}$ pak $x = 1,0$

Jestliže $t_{\max} = t_{\lim}$ pak $x = \frac{t_{\lim} \Gamma}{t_{\max}^*}$

Parametrická teplotní křivka

■ Příklad v excelu

Rozměry požárního úseku	
a	9.9 m
b	12 m
h	3.5 m
A_f	118.8 m ²
A_t	390.9 m ²
Otvory	
h_{op}	2 m
b_{op}	2.75 m
Počet	3 ks
A_v	16.5 m ²
Charakteristické zatížení požárem	
$q_{f,k}$	948 MJ/m ²
Návrhové zatížení požárem	
m	0.8 -
$\delta_{q,1}$	1.38168 -
$\delta_{q,2}$	1 -
$\delta_{q,n}$	0.61 -
$q_{f,d}$	639.198 MJ/m ²
Koefficient otvorů	
O	0.05969 m ^{1/2}

Koefficienty povrchu stropu a podlahy	
ρ	1600 kg m ⁻³
c	840 J kg ⁻¹ K ⁻¹
λ	0.7 W m ⁻¹ K ⁻¹
b	969.948 J m ⁻² s ^{-0.5} K ⁻¹
A_j	237.6 m ²
Koefficienty povrchu obvodových stěn	
ρ	1600 kg m ⁻³
c	840 J kg ⁻¹ K ⁻¹
λ	0.8 W m ⁻¹ K ⁻¹
b	1036.92 J m ⁻² s ^{-0.5} K ⁻¹
A_j	153.3 m ²
Výsledná tepelná charakteristik povrchů	
b	994.418 J m ⁻² s ^{-0.5} K ⁻¹
Součinitel vlivu otvorů a povrchů	
Γ	3.03057 -
Hustota požárního zatížení na plochu	
$q_{t,d}$	194.261 MJ/m ²

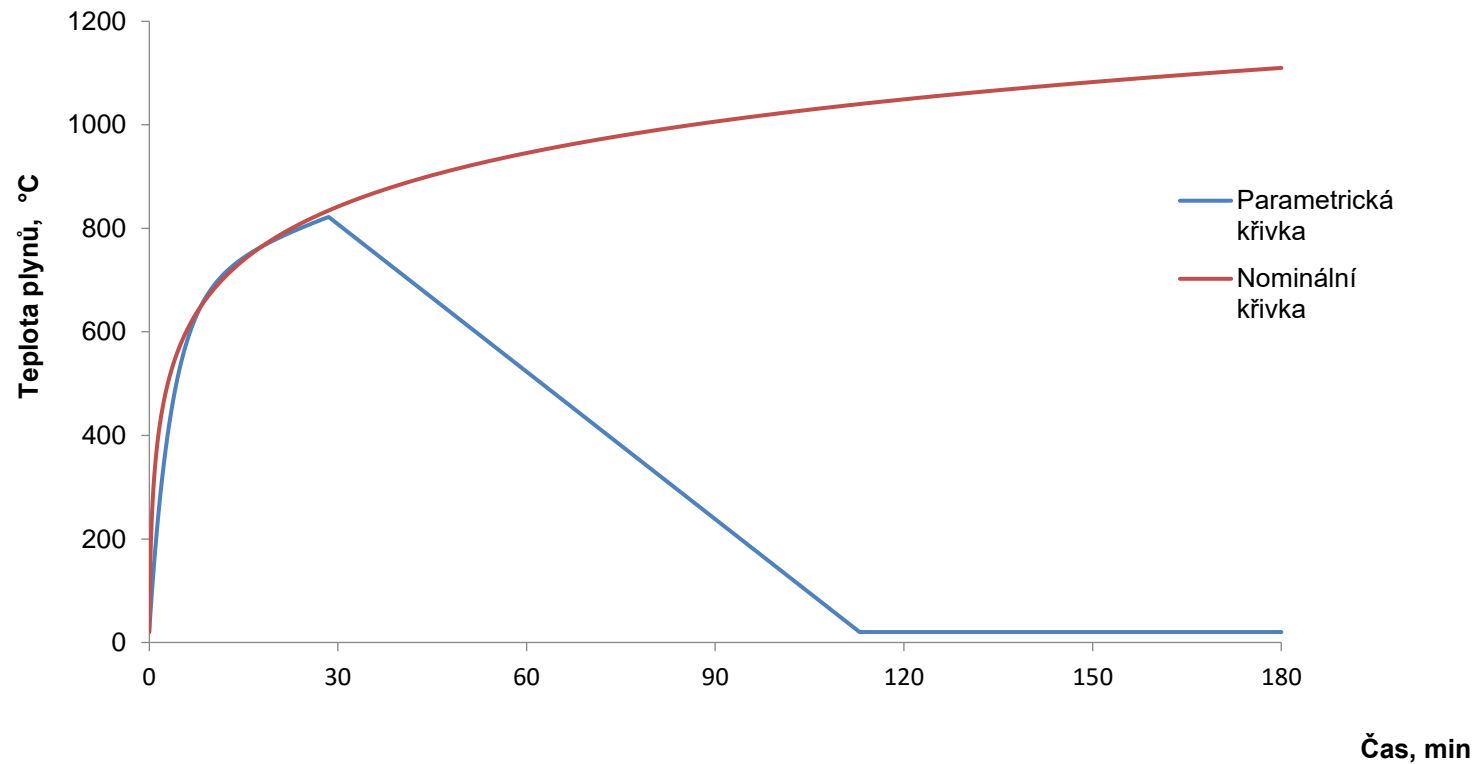
Čas nejvyšší teploty	
t_{lim}	20 min
t_{max}	0.651 h
Náhradní čas nejvyšší teploty	
t^*_{max}	1.972 h
Maximální teplota	
$\Theta_{g,max}$	1046.19 °C
Parametr x	
x	1 -
Čas pokojové teploty	
t	1.91198 h

=KDYŽ(M3<N3;M3;N3)

čas		náhradní čas				Rozvoj	Pokles	Výsledek	Param.	Nomin.
s	min	h	s	min	h	°C	°C	°C	°C	°C
0	0	0	0	0	0	20	1572.61	20	20	20
5	0.08333	0.00139	13.8506	0.23084	0.00385	66.1784	1571.46	66.1784	66.1784	96.5378
10	0.16667	0.00278	27.7012	0.46169	0.00769	109.237	1570.31	109.237	109.237	146.952
15	0.25	0.00417	41.5519	0.69253	0.01154	149.396	1569.16	149.396	149.396	184.607
20	0.33333	0.00556	55.4025	0.92337	0.01539	186.858	1568	186.858	186.858	214.674
25	0.41667	0.00694	69.2531	1.15422	0.01924	221.813	1566.85	221.813	221.813	239.704
30	0.5	0.00833	83.1037	1.38506	0.02308	254.436	1565.7	254.436	254.436	261.145
35	0.58333	0.00972	96.9543	1.61591	0.02693	284.892	1564.55	284.892	284.892	279.898
40	0.66667	0.01111	110.805	1.84675	0.03078	313.332	1563.4	313.332	313.332	296.563

Parametrická teplotní křivka

Nominální a parametrická křivka



Předpověď teploty konstrukčních prvků

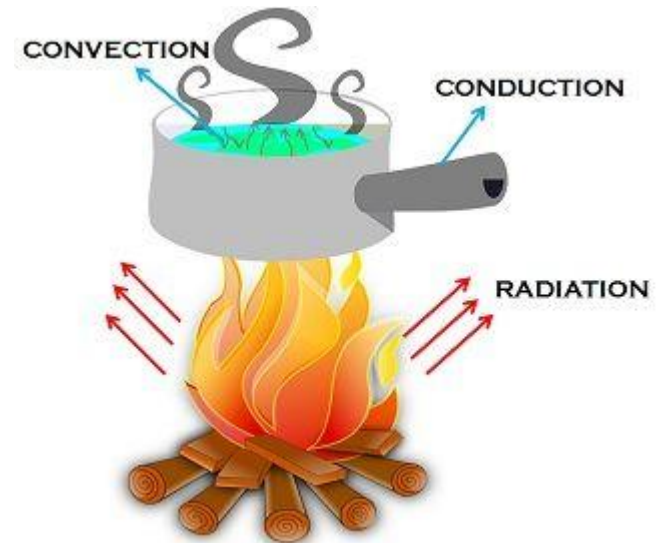
- Teplota nechráněných ocelových prvků

- Ochrana konstrukcí proti požáru
 - Protipožární podhledy
 - Obetonování
 - Nástřiky
 - Obklady
 - Zpěňující (intumescentní) nátěry

- Teplota chráněných ocelových prvků

Přestup tepla do konstrukce

- Vedením (convection)
 - Přenos přímým kontaktem
- Prouděním (conduction)
 - Přenos pohybem molekul v materiálu
- Sáláním (radiation)
 - Elektromagnetická radiace
- Metody výpočtu
 - MKP
 - Zejména pokud je nerovnoměrné rozdělení teploty po průřezech
 - Přírůstková metoda
 - ČSN EN 1993-1-2



Přírůstková metoda nechráněných prvků

- Rovnováha mezi přírůstkem teploty prvku a teplem přijatým povrchem prvku v časovém intervalu Δt

$$\rho_a V c_a \Delta\theta_{a,t} = A_m h_{net,d} \Delta t$$

Zvýšení teploty materiálu Teplo přijímané povrchem

V	Objem prvku na jednotku délky
A_m	Povrch prvku na jednotku délky
c_a	Měrné teplo oceli (zjednodušeně 650 J/kgK)
ρ_a	Objemová hmotnost oceli (7850 kg/m ³)
$h_{net,d}$	Návrhová hodnota tepelného toku od proudění a sálání vztažená na jednotku plochy
Δt	Časový interval v sekundách (max 5 s)

Přírůstková metoda nechráněných prvků

- Rovnováha mezi přírůstkem teploty prvku a teplem přijatým povrchem prvku v časovém intervalu Δt

$$\rho_a V c_a \Delta\theta_{a,t} = A_m h_{net,d} \Delta t$$

V	Objem prvku na jednotku délky
A_m	Povrch prvku na jednotku délky
c_a	Měrné teplo oceli (zjednodušeně 650 J/kgK)
ρ_a	Objemová hmotnost oceli (7850 kg/m ³)
$h_{net,d}$	Návrhová hodnota tepelného toku od proudění a sálání vztažená na jednotku plochy
Δt	Časový interval v sekundách (max 5 s)

- Pro rovnoměrné rozložení teploty po průřezu lze vyjádřit přírůstek

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{A_m}{c_a \rho_a V} h_{net,d} \Delta t$$

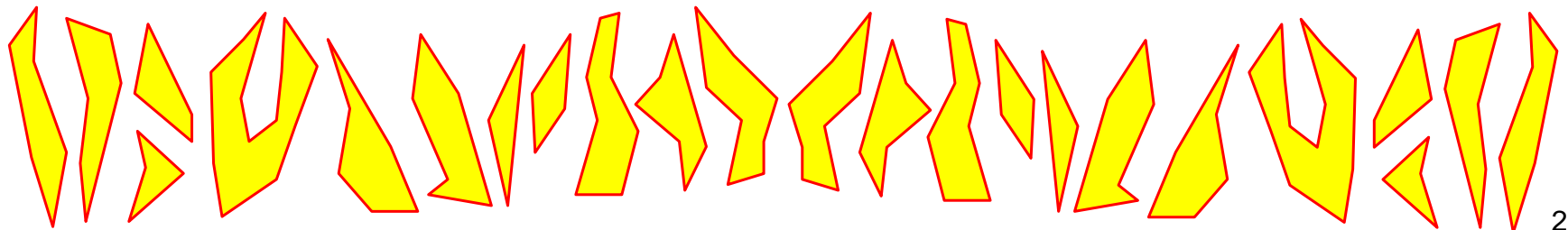
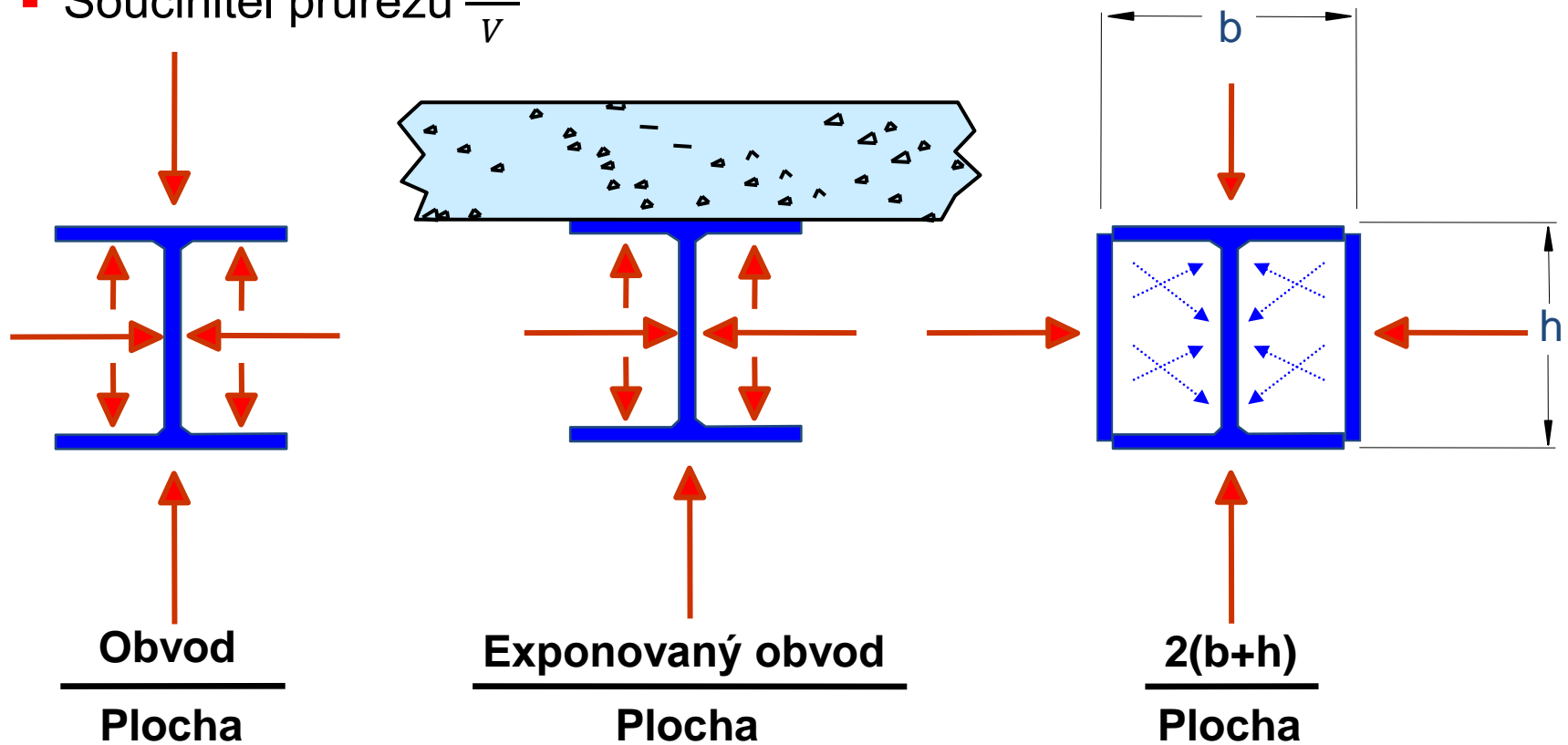
← Součinitel průřezu

- Významný vliv součinitele průřezu

- Postup neplatí pro $\frac{A_m}{V} < 10$
- Pro $\frac{A_m}{V} > 200$ nemá řešení význam, jelikož $\theta_{a,t} \cong \theta_{g,t}$

Přírůstková metoda nechráněných prvků

- Součinitel průřezu $\frac{A_m}{V}$



Přírůstková metoda nechráněných prvků

- Vliv stínění

- Zohledněno součinitelem stínění k_{sh}

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{\frac{A_m}{V}}{c_a \rho_a} h_{net,d} \Delta t$$

- Zjednodušeně se uplatňuje pro celkový tepelný tok

$$k_{sh} = 1 \quad \text{pro uzavřené konvexní průřezy}$$

$$k_{sh} = 0,9 \frac{\left(\frac{A_m}{V}\right)_b}{\frac{A_m}{V}} \quad \text{pro průřezy tvaru } I \text{ a normovou teplotní křivku}$$

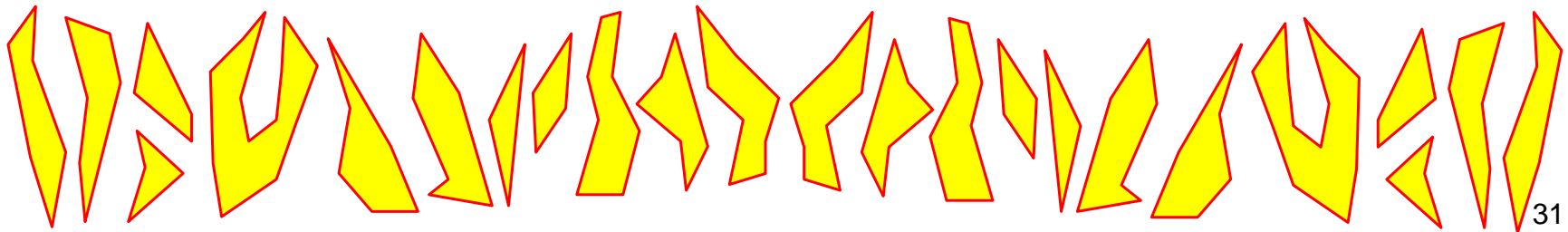
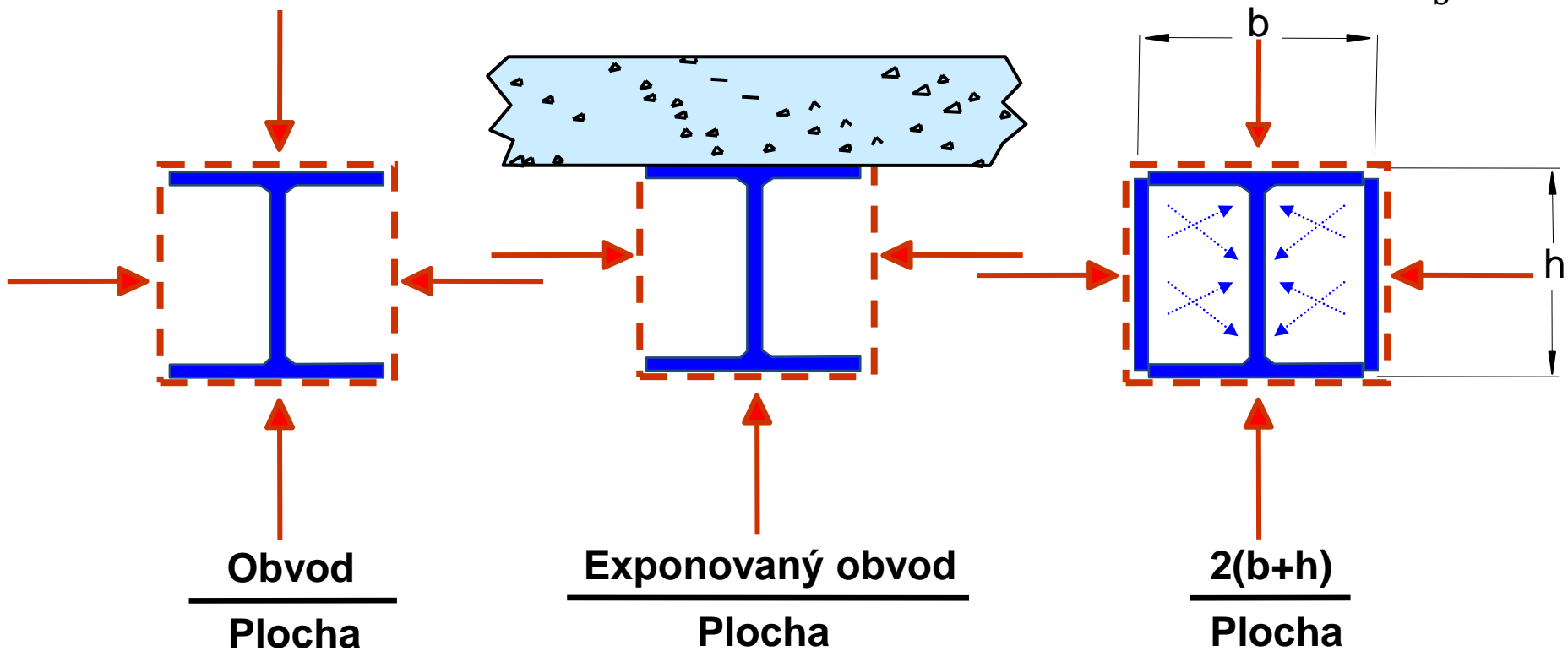
$$k_{sh} = \frac{\left(\frac{A_m}{V}\right)_b}{\frac{A_m}{V}} \quad \text{pro ostatní průřezy}$$

- Pro I průřezy lze upravit následovně

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{\frac{A_m}{V}}{c_a \rho_a} h_{net,d} \Delta t = 0,9 \frac{\left(\frac{A_m}{V}\right)_b}{\frac{A_m}{V}} \frac{\frac{A_m}{V}}{c_a \rho_a} h_{net,d} \Delta t = 0,9 \frac{\left(\frac{A_m}{V}\right)_b}{c_a \rho_a} h_{net,d} \Delta t$$

Přírůstková metoda nechráněných prvků

- Součinitel průřezu pro povrch obdélníka opsaného průřezu $\left(\frac{A_m}{V}\right)_b$



Tepelný tok

- Návrhová hodnota $h_{net,d}$ se stanoví jako součet účinků proudění a sálání v okolí prvku

$$h_{net,d} = h_{net,c} + h_{net,r}$$

- Složka přestupu tepla prouděním na jednotku plochy

$$h_{net,c} = \alpha_c (\theta_g - \theta_m)$$

α_c je součinitel přestupu tepla prouděním

- $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ při použití normové teplotní křivky
- $\alpha_c = 35 \text{ W/m}^2\text{K}$ při použití parametrické teplotní křivky
- $\alpha_c = 50 \text{ W/m}^2\text{K}$ při použití uhlovodíkové teplotní křivky
- $\alpha_c = 35 \text{ W/m}^2\text{K}$ při použití zónových modelů, modelu lokálního požáru

θ_g je teplota plynů v okolí prvku [$^{\circ}\text{C}$]

θ_m povrchová teplota prvku [$^{\circ}\text{C}$]

$$\theta_m = \frac{\theta_g + \theta_a}{2} \quad \text{Teplota průřezu (přírůstková metoda)}$$

θ_g – Normová a parametrická křivka

- Složka přestupu tepla sáláním na jednotku plochy

$$h_{net,r} = \phi \varepsilon_{res} 5,67 \cdot 10^{-8} [(\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4]$$

ϕ je polohový faktor, zpravidla $\phi = 1,0$

ε_{res} výsledná emisivita, viz další stránka

θ_r sálavá teplota okolí prvku [$^{\circ}\text{C}$], lze ji považovat za rovnou teplotě plynů θ_g

θ_m povrchová teplota prvku [$^{\circ}\text{C}$]

$5,67 \cdot 10^{-8}$ Stefan-Boltzmannova konstanta [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$]

$$\varepsilon_{res} = \varepsilon_f \varepsilon_m$$

ε_f je emisivita vztažená k požárnímu úseku, obvykle $1,0$

ε_m je emisivita vztažená k povrchu materiálu

- pro běžné ocelové prvky se počítá s hodnotou $0,7$
- pro prvky z nerezové oceli $0,4$
- pro prvky z hliníkových slitin $0,3$ (bez nátěru)
- $0,7$ (s nátěrem)

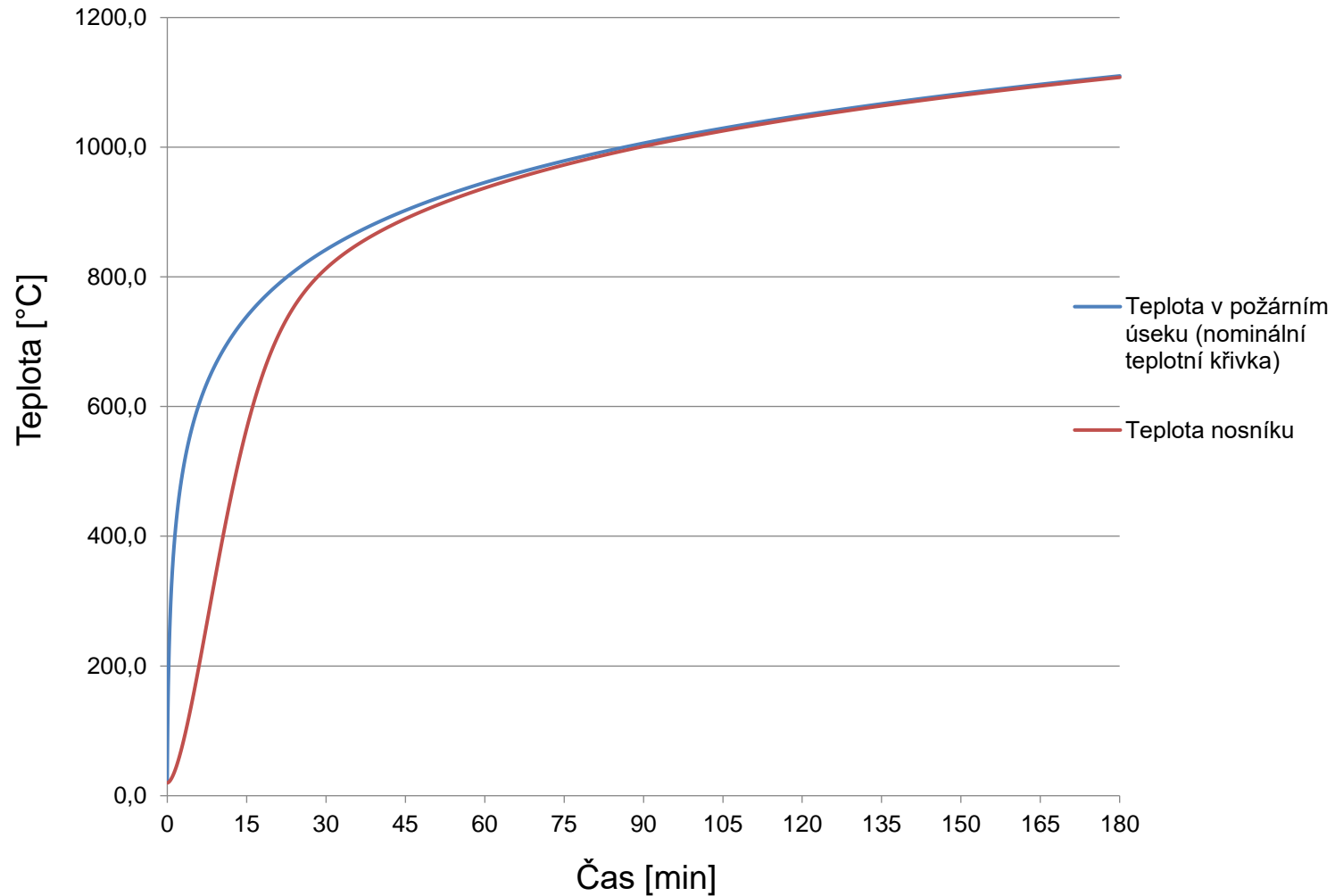
Stanovení teploty ocelového prvku

Excel

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
					Nominální křivka											Parametrická křivka						
		čas			Θ_g	Θ_m	$h_{net,c}$	$h_{net,r}$	$h_{net,d}$	$\Delta\Theta_{s,t}$	$\Theta_{s,t}$	Θ_g	Θ_m	$h_{net,c}$	$h_{net,r}$	$h_{net,d}$	$\Delta\Theta_{s,t}$	$\Theta_{s,t}$				
		s	min	h	°C	°C	W/m ²	W/m ²	W/m ²	°C	°C	°C	°C	W/m ²	W/m ²	W/m ²	°C	°C				
		0	0	0	20	20	0	0	0	0	0	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	20
Průřez	IPE 500				5	0.08333	0.00139	96.5378	58.2689	956.723	262.171	1218.89	0.11168	20.1117	66.1784	43.0892	577.23	129.079	706.309	0.06472	20.0647	
h	500 mm				10	0.16667	0.00278	146.952	83.5318	1585.5	593.148	2178.65	0.19963	20.3113	109.237	64.651	1114.66	331.368	1446.03	0.1325	20.1972	
b	200 mm				15	0.25	0.00417	184.607	102.459	2053.69	951.672	3005.37	0.27538	20.5867	149.396	84.7966	1614.98	612.988	2227.97	0.20414	20.4014	
A	11550 mm ²				20	0.33333	0.00556	214.674	117.63	2426.09	1320.75	3746.84	0.34332	20.93	186.858	103.63	2080.71	976.29	3057	0.28011	20.6815	
h'	0.5 m				25	0.41667	0.00694	239.704	130.317	2734.67	1692.31	4426.98	0.40564	21.3356	221.813	121.247	2514.14	1420.41	3934.55	0.36052	21.042	
b'	0.2 m				30	0.5	0.00833	261.145	141.24	2997.61	2062.18	5059.8	0.46362	21.7993	254.436	137.739	2917.43	1941.92	4859.34	0.44525	21.4872	
A'	0.01155 m ²				35	0.58333	0.00972	279.898	150.849	3226.23	2428.11	5654.35	0.5181	22.3174	284.892	153.189	3292.56	2535.4	5827.96	0.53401	22.0212	
					40	0.66667	0.01111	296.563	159.44	3428.07	2788.86	6216.93	0.56965	22.887	313.332	167.677	3641.38	3194.1	6835.48	0.62632	22.6476	
Součinitel průřezu					45	0.75	0.0125	311.559	167.223	3608.4	3143.77	6752.17	0.61869	23.5057	339.898	181.273	3965.63	3910.35	7875.98	0.72166	23.3692	
$(A_m/V)_b$	103.896 m ⁻¹				50	0.83333	0.01389	325.189	174.347	3771.04	3492.51	7263.55	0.66555	24.1712	364.721	194.045	4266.9	4676.03	8942.93	0.81942	24.1886	
					55	0.91667	0.01528	337.682	180.927	3918.89	3834.95	7753.84	0.71047	24.8817	387.923	206.056	4546.68	5482.92	10029.6	0.91899	25.1076	
Objemová hmotnost oceli					60	1	0.01667	349.214	187.048	4054.15	4171.1	8225.25	0.75366	25.6354	409.619	217.363	4806.39	6322.9	11129.3	1.01976	26.1274	
ρ	7850 kg/m ³				65	1.08333	0.01806	359.92	192.778	4178.56	4501.01	8679.57	0.79529	26.4307	429.912	228.02	5047.31	7188.22	12235.5	1.12112	27.2485	
					70	1.16667	0.01944	369.913	198.172	4293.53	4824.81	9118.33	0.8355	27.2662	448.902	238.075	5270.67	8071.57	13342.2	1.22252	28.471	
Měrné teplo oceli					75	1.25	0.02083	379.28	203.273	4400.18	5142.63	9542.81	0.87439	28.1405	466.68	247.576	5477.61	8966.25	14443.9	1.32346	29.7945	
C_s	650 J kg ⁻¹ K ⁻¹				80	1.33333	0.02222	388.097	208.119	4499.45	5454.63	9954.08	0.91207	29.0526	483.33	256.562	5669.2	9866.14	15535.3	1.42347	31.218	
					85	1.41667	0.02361	396.423	212.738	4592.13	5760.98	10353.1	0.94864	30.0013	498.932	265.075	5846.42	10765.8	16612.2	1.52215	32.7401	
Součinitel α_c					90	1.5	0.025	404.31	217.156	4678.86	6061.84	10740.7	0.98415	30.9854	513.558	273.149	6010.22	11660.4	17670.6	1.61912	34.3592	
Nominální křivka		25	W/m ² K		95	1.58333	0.02639	411.804	221.395	4760.23	6357.37	11117.6	1.01868	32.0041	527.276	280.818	6161.46	12545.7	18707.2	1.7141	36.0733	
Parametrická křivka		35	W/m ² K		100	1.66667	0.02778	418.94	225.472	4836.7	6647.74	11484.4	1.0523	33.0564	540.151	288.112	6300.96	13418.2	19719.2	1.80683	37.8802	
					105	1.75	0.02917	425.751	229.404	4908.69	6933.09	11841.8	1.08504	34.1414	552.24	295.06	6429.49	14274.8	20704.3	1.8971	39.7773	
Polohový faktor					110	1.83333	0.03056	432.267	233.204	4976.57	7213.57	12190.1	1.11696	35.2584	563.598	301.688	6547.76	15113.1	21660.9	1.98475	41.762	
ϕ	1				115	1.91667	0.03194	438.511	236.885	5040.66	7489.34	12530	1.1481	36.4065	574.277	308.019	6656.43	15931	22587.4	2.06964	43.8317	
					120	2	0.03333	444.505	240.456	5101.23	7760.52	12861.8	1.1785	37.585	584.323	314.077	6756.14	16726.9	23483	2.15171	45.9834	
Emisivita v požárním úseku					125	2.08333	0.03472	450.268	243.927	5158.54	8027.25	13185.8	1.20819	38.7932	593.781	319.882	6847.46	17499.6	24347	2.23087	48.2142	
ϵ_f	1				130	2.16667	0.03611	455.818	247.306	5212.81	8289.65	13502.5	1.2372	40.0304	602.69	325.452	6930.95	18248.1	25179.1	2.30711	50.5214	
					135	2.25	0.0375	461.17	250.6	5264.25	8547.83	13812.1	1.26557	41.296	611.09	330.806	7007.11	18972	25979.1	2.38041	52.9018	
Emisivita povrchu materiálu					140	2.33333	0.03889	466.337	253.817	5313.01	8801.92	14114.9	1.29332	42.5893	619.016	335.959	7076.43	19670.8	26747.2	2.4508	55.3526	
ϵ_{en}	0.7				145	2.41667	0.04028	471.332	256.961	5359.28	9052.02	14411.3	1.32048	43.9098	626.5	340.926	7139.34	20344.5	27483.9	2.5183	57.8709	
					150	2.5	0.04167	476.166	260.038	5403.2	9298.23	14701.4	1.34706	45.2568	633.573	345.722	7196.28	20993.2	28189.5	2.58295	60.4538	
Výsledná emisivita					155	2.58333	0.04306	480.848	263.053	5444.89	9540.64	14985.5	1.3731	46.6299	640.263	350.358	7247.61	21167	28864.6	2.64481	63.0986	
ϵ_{res}	0.7				160	2.66667	0.04444	485.389	266.009	5484.49	9779.36	15263.8	1.3986	48.0285	646.596	354.848	7293.72	22216.4	29510.2	2.70396	65.8026	
					165	2.75	0.04583	489.796	268.912	5522.09	10014.5	15536.6	1.42359	49.4521	652.598	359.2	7334.94	22791.9	30126.8	2.76046	68.563	
S-B konstante					170	2.83333	0.04722	494.077	271.765	5557.81	10246	15803.9	1.44808	50.9002	658.29	363.427	7371.59	23343.9	30715.5	2.8144	71.3775	
K	5.7E-08				175	2.91667	0.04861	498.24	274.57	5591.74	10474.2	16065.9	1.47209	52.3723	663.695	367.536	7403.97	23873.2	31271.2	2.86587	74.2433	
					180	3	0.05	502.289	277.331	5623.96	10698.9	16322.9	1.49564	53.8679	668.831	371.537	7432.35	24380.4	31812.7	2.91494	77.1583	
Přírůstek					185	3.08333	0.05139	506.232	280.05	5654.56	10920.4	16575	1.51873	55.3866	673.717	375.438	7456.99	24866.2	32323.2	2.96171	80.12	
Δt	5 s				190	3.16667	0.05278	510.075	282.731	5683.6	11138.7	16822.2	1.54139	56.928	678.37	379.245	7478.13	25331.4	32809.5	3.00627	83.1262	

Stanovení teploty ocelového prvku

■ Excel



Chráněné prvky

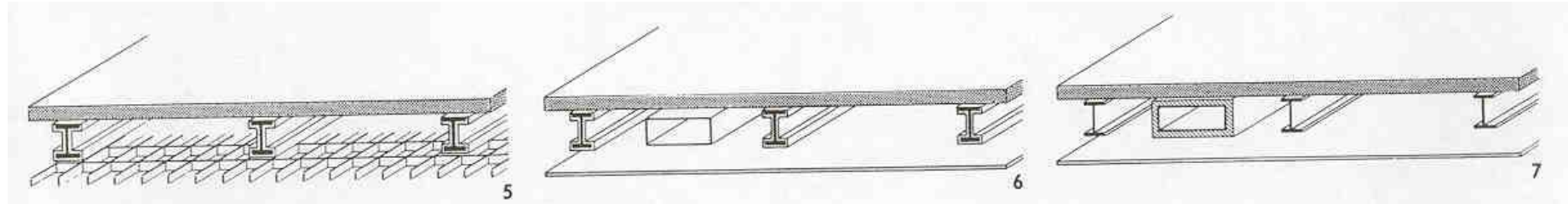
- Zastínění
 - Podhled

- Tepelná izolace požárně ochranným materiálem
 - Obetonování
 - Nástřík tepelně izolační omítkou
 - Obklad
 - Zpěňovací (intumescentní) nátěry

- Požárně ochranný materiál musí kromě izolačních požadavků splňovat požadavky na celistvost po dobu požadované požární odolnosti. Vlastnosti materiálů se určují experimentálně.

- Izolační materiály musí mít certifikaci

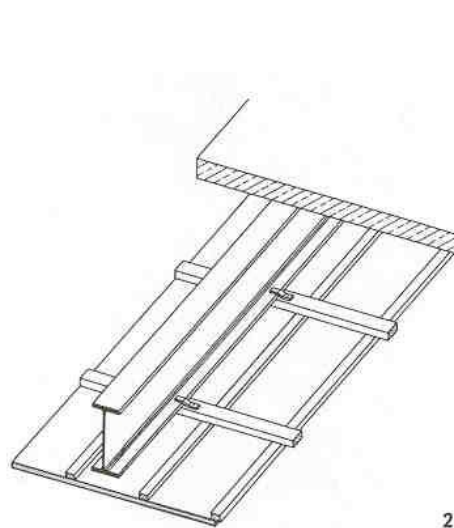
Podhledy



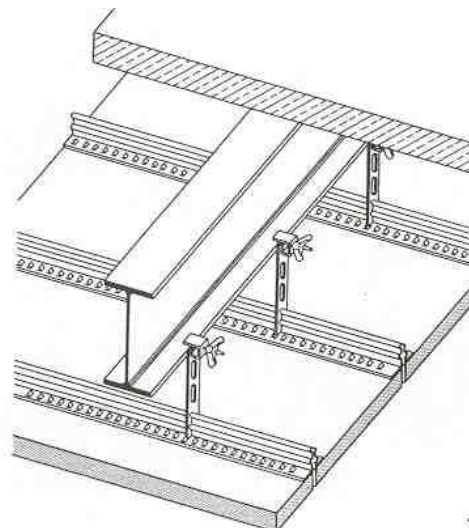
Obyčejný podhled,
chráněné nosníky

Obyčejný podhled,
chráněné nosníky

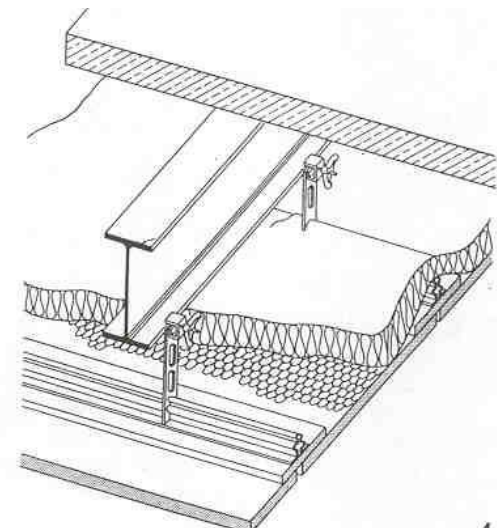
Protipožární podhled,
nechráněné nosníky



2

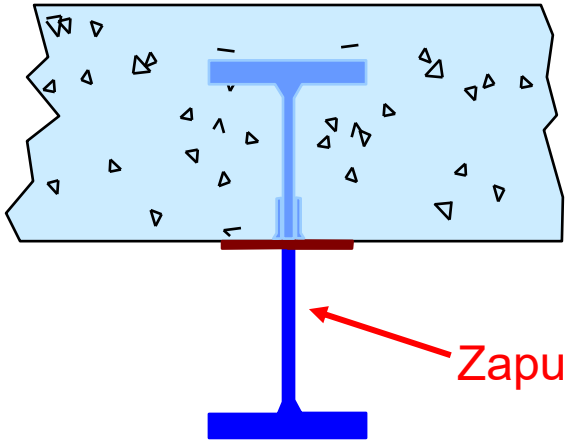
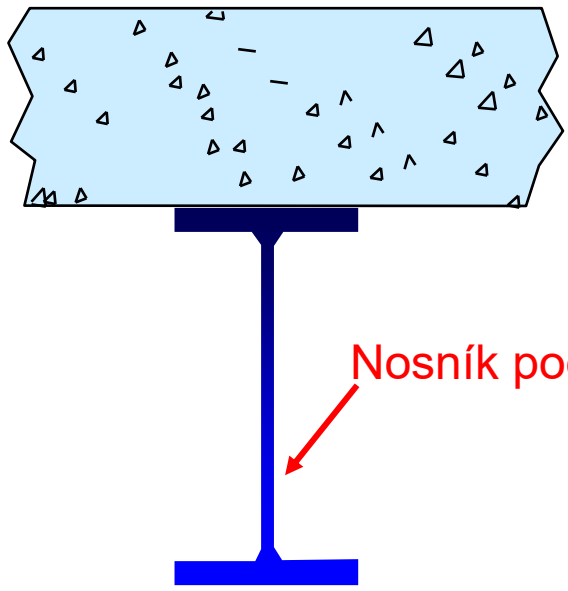


3

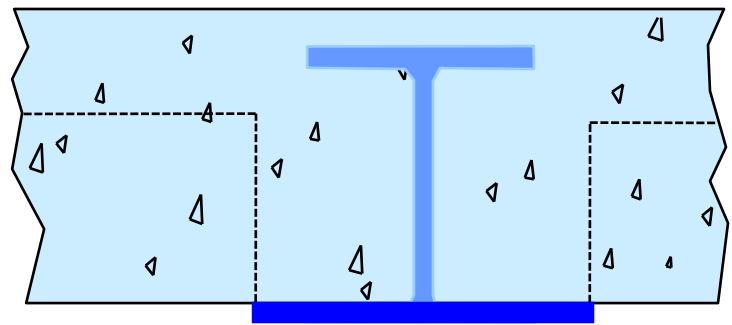
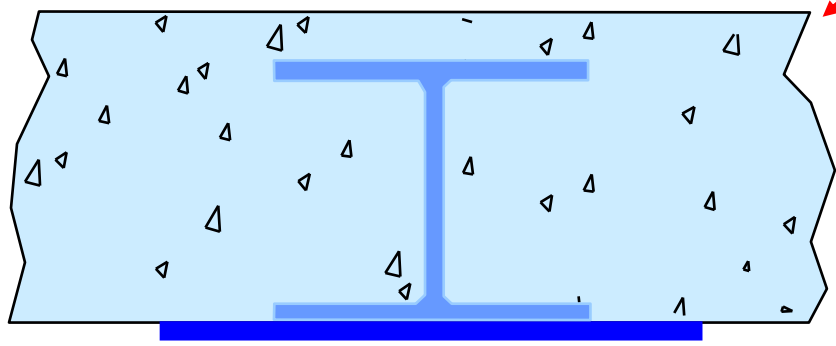


4

Obetonování



“Slim-floor” systémy

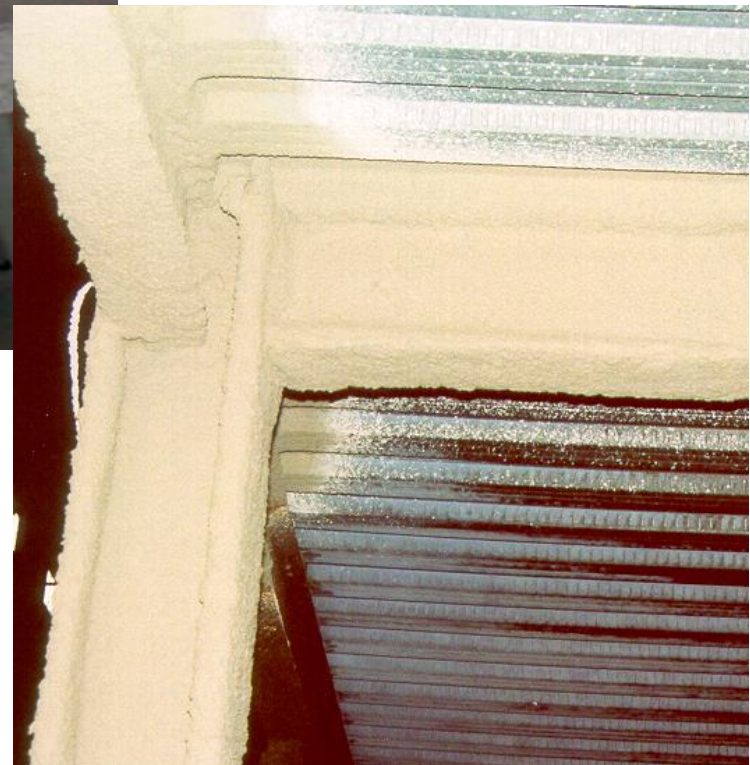


Protipožární nástřik

- Aplikace



Protipožární nástřik



Obklad



- *Prozatím jedna vrstva*
- *Nejsou přetmeleny spáry*
- *Není obložen sloup ani diagonály ztužidla*
- *Nosník zůstane nechráněný*

Zpěňovací (intumescentní) nátěry



Před zkouškou

Při zkoušce



Zpěňovací (intumescentní) nátěry

Před zkouškou



Po zkoušce



Při zkoušce



Přírůstková metoda chráněných prvků

- Zohlednění tepelněizolačních materiálů

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p \frac{A_p}{V}}{d_p c_a \rho_a} \frac{\theta_{g,t} - \theta_{a,t}}{1 + \frac{\phi}{3}} \Delta t - \left(e^{\frac{\phi}{10}} - 1 \right) \Delta\theta_{g,t}$$

$$\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} d_p \frac{A_p}{V}$$

λ_p	Tepelná vodivost požárně ochranného materiálu [W/mK]
$\frac{A_p}{V}$	Součinitel průřezu pro chráněné prvky [m ⁻¹]
d_p	Tloušťka požárně ochranného materiálu [m]
ρ_p	Objemová hmotnost požárně ochranného materiálu [kg/m ³]
ρ_a	Objemová hmotnost oceli [7850 kg/m ³]
c_p	Měrné teplo požárně ochranného materiálu [J/kgK]
c_a	Měrné teplo oceli (zjednodušeně 650 J/kgK)
$\Delta\theta_{g,t}$	Přírůstek okolní teploty během časového intervalu Δt
Δt	Časový interval v sekundách (max 30 s)

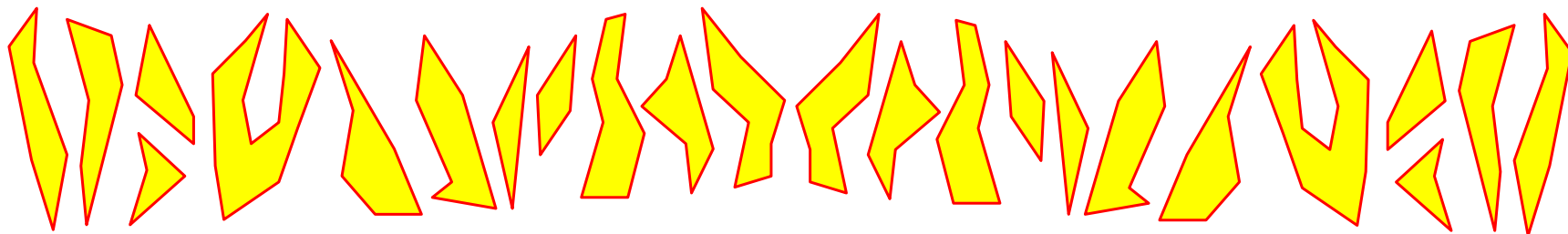
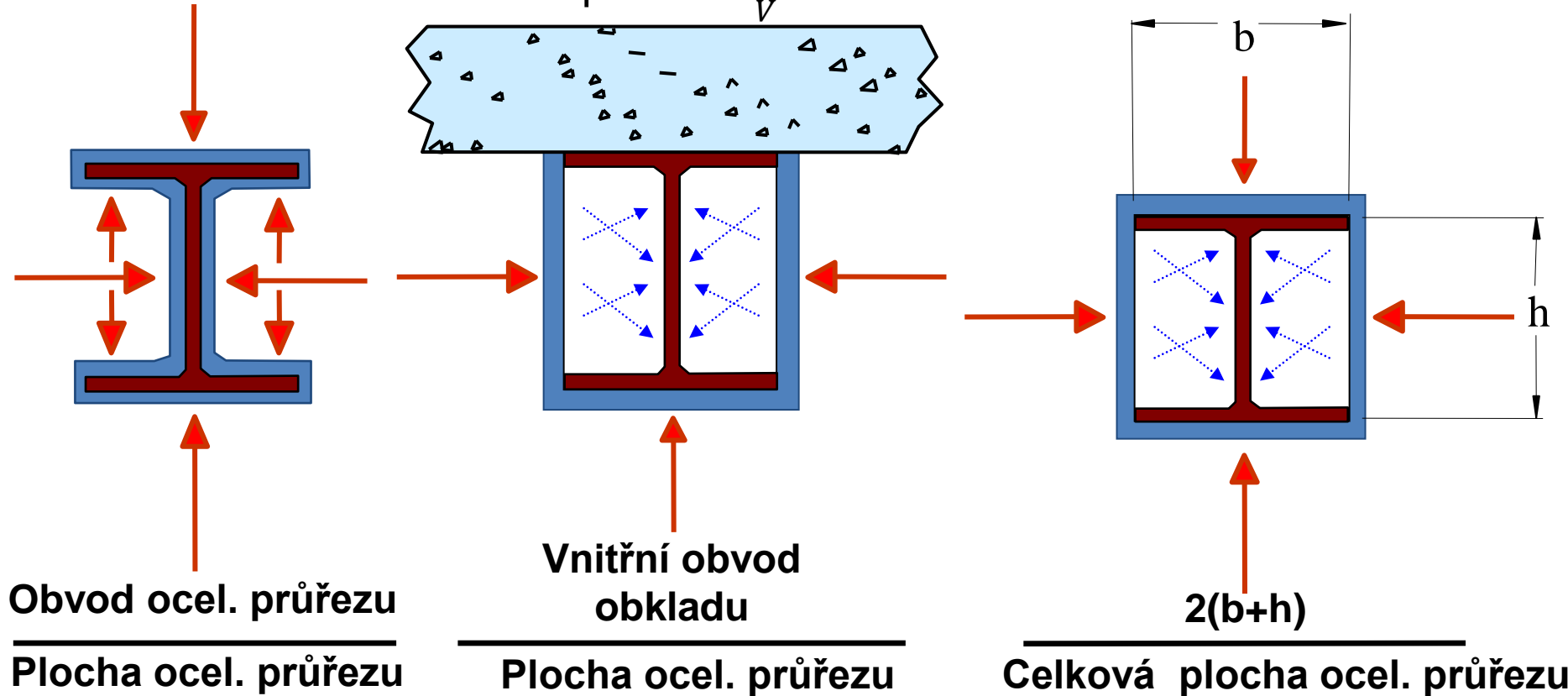
Přírůstková metoda chráněných prvků

- Orientační hodnoty vlastností tepelně izolačních materiálů

Tepelně izolační materiál	Objemová hmotnost ρ_p [kg m^{-3}]	Obsah vlhkosti %	Tepelná vodivost λ_p [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]	Měrné teplo c_p [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$]
Nástříky minerální vlákna	300	1	0,12	1200
vermiculit	350	15	0,12	1200
perlit	350	15	0,12	1200
Hutné nástříky vermiculit (perlit) a cement	550	15	0,12	1100
vermiculit (perlit) a sádra	650	15	0,12	1100
Desky vermiculit (perlit) a cement	800	15	0,20	1200
silikátová (vápenosilikátová) vlákna	600	3	0,15	1200
silikátová (vápenosilikátová) vlákna a cement	800	5	0,15	1200
sádrové desky	800	20	0,20	1700
slisované vláknité ze silikátových vláken, minerální vlny, čedičové vlny	150	2	0,20	1200
Zpěnitelné (intumescenční) nátěry	100	0	0,10	1200
Beton běžný	2300	4	1,60	1000
lehčený	1600	5	0,80	840
Zdivo z dutých cihel	1000	8	0,40	1200
z plných cihel	2000	8	1,20	1200
z betonových bloků	2200	8	1,00	1200

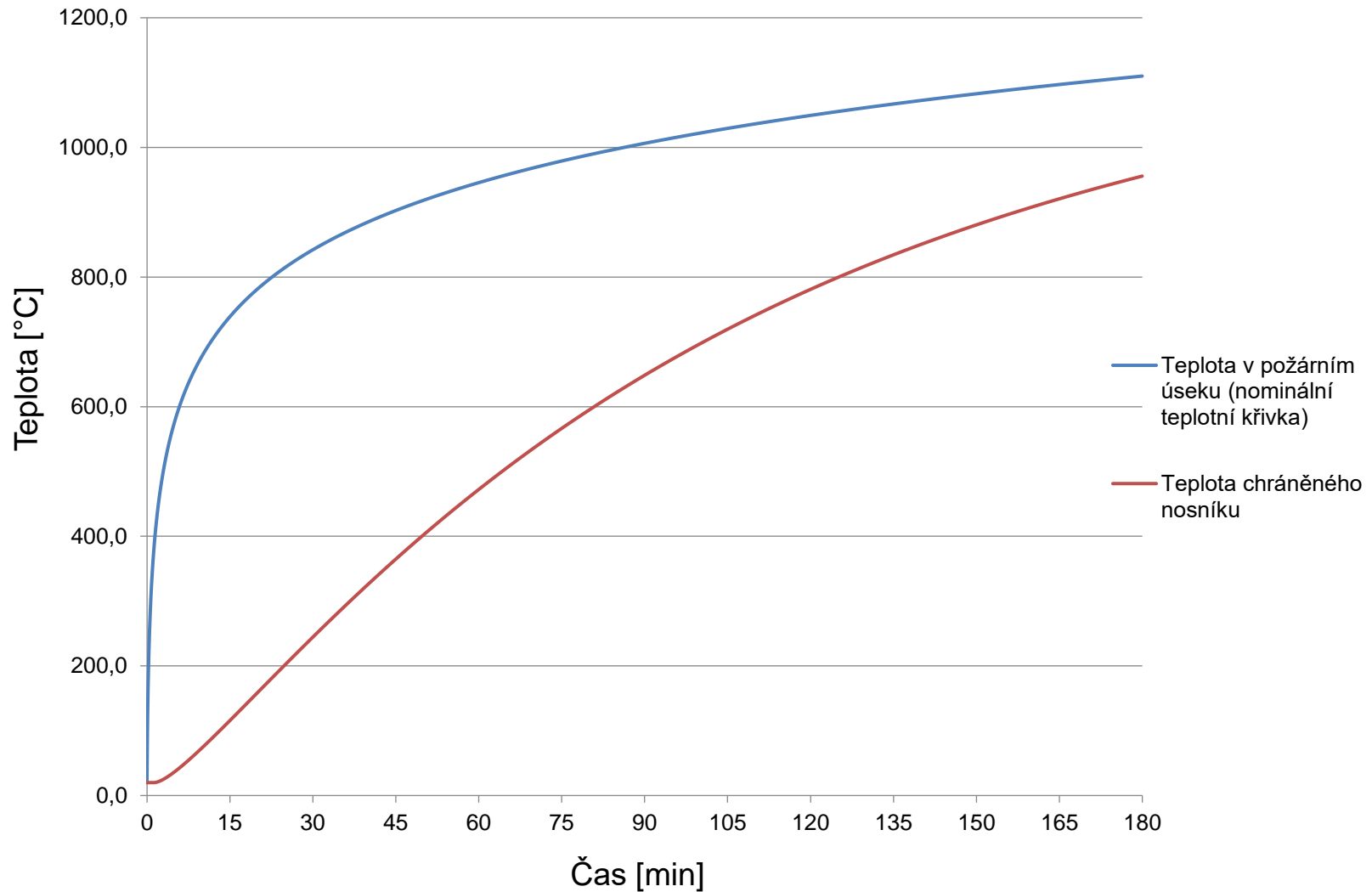
Přírůstková metoda chráněných prvků

- Součinitel chráněného průřezu $\frac{A_p}{V}$



Stanovení teploty ocelového prvku

■ Excel



Stanovení vnitřních sil

- Mimořádná kombinace zatížení
 - ČSN EN 1990
 - Dílčí součinitele zatížení pro mezní stavy únosnosti v mimořádných a seizmických návrhových situacích se mají rovnat 1,0

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ nebo } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

$G_{k,j}$ Charakteristická hodnota stálého zatížení

P Charakteristická hodnota předpětí

A_d Návrhová hodnota mimořádného zatížení

$Q_{k,1}$ Charakteristická hodnota dominantního nahodilého zatížení

$Q_{k,i}$ Charakteristické hodnoty ostatních nahodilých zatížení

$\psi_{1,1}$ Kombinační součinitel pro časté zatížení

$\psi_{2,1}$ Kombinační součinitel pro kvazistálé zatížení

Stanovení vnitřních sil

- Součinitele kombinace zatížení
 - ČSN EN 1990

Zatížení	ψ_0	Častá	Kvazistálá
		ψ_1	ψ_2
Kategorie užitných zatížení pro pozemní stavby (viz EN 1991-1-1)			
Kategorie A: obytné plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie B: kancelářské plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie C: shromažďovací plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie D: obchodní plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie E: skladovací plochy	1,0	0,9	0,8
Kategorie F: dopravní plochy tíha vozidla ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategorie G: dopravní plochy 30 kN < tíha vozidla ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Kategorie H: střechy	0	0	0
Zatížení sněhem (viz EN 1991-1-3*)			
Finsko, Island, Norsko, Švédsko	0,7	0,5	0,2
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H > 1\ 000$ m n.m.	0,7	0,5	0,2
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H \leq 1\ 000$ m n.m.	0,5	0,2	0
Zatížení větrem (viz EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Teplota (ne od požáru) pro pozemní stavby (viz EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
POZNÁMKA Hodnoty ψ mohou být stanoveny v národní příloze.			
*) Pro země, které zde nejsou uvedené, se součinitele ψ stanoví podle místních podmínek.			

Stanovení vnitřních sil

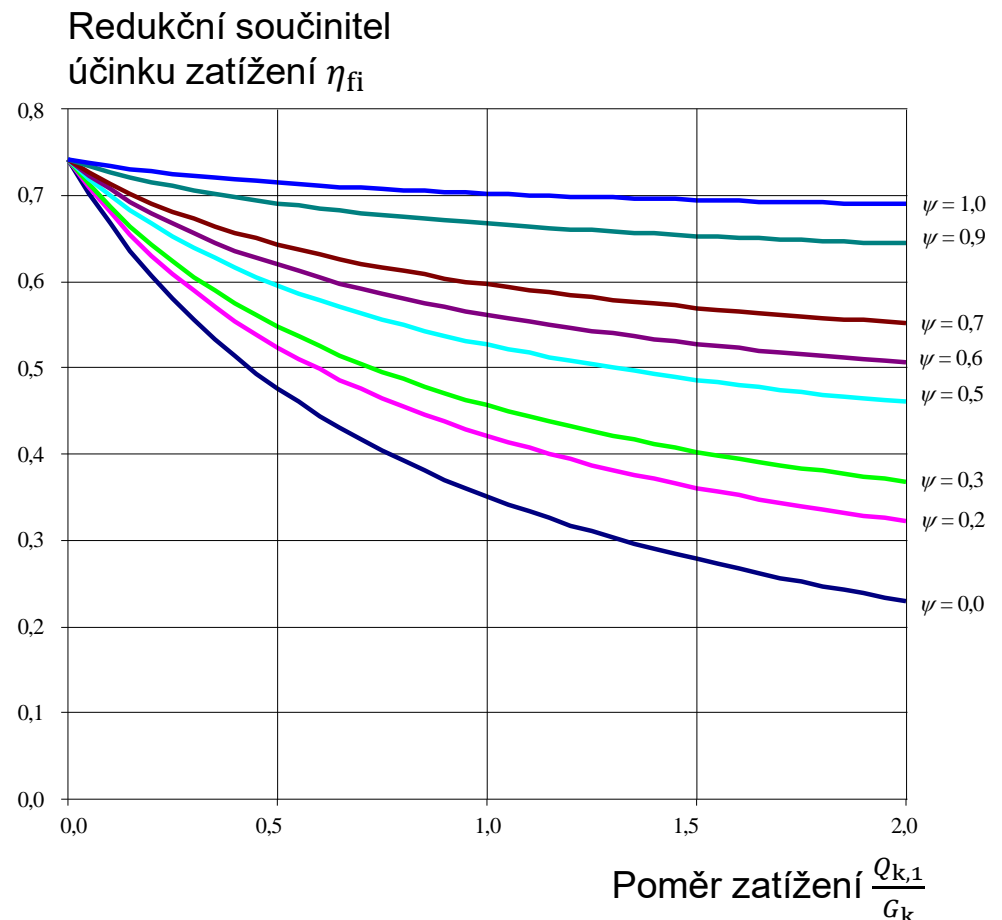
- Při návrhu konstrukce nebo dílčího prvku lze vnitřní síly stanovit v čase $t = 0$ (pokojová teplota) a následně upravit redukčním součinitelem

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

- Redukční součinitel

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

- Zatížení při mimořádné návrhové situaci (požár) je menší než zatížení při mezním stavu únosnosti.
- Redukce zatížení je jednou z rezerv konstrukce při požáru.



Jednoduchý model

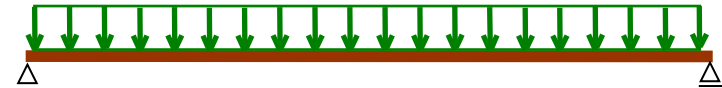
- Běžná návrhová situace, jedno nahodilé zatížení

- Ohybový moment

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} f_d L^2$$

- Zatížení

$$f_d = \gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}$$



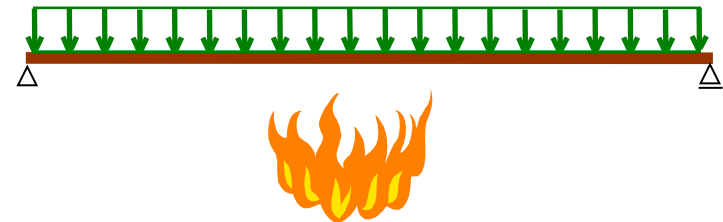
- Mimořádná návrhová situace (požár)

- Redukční součinitel zatížení η_{fi}

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

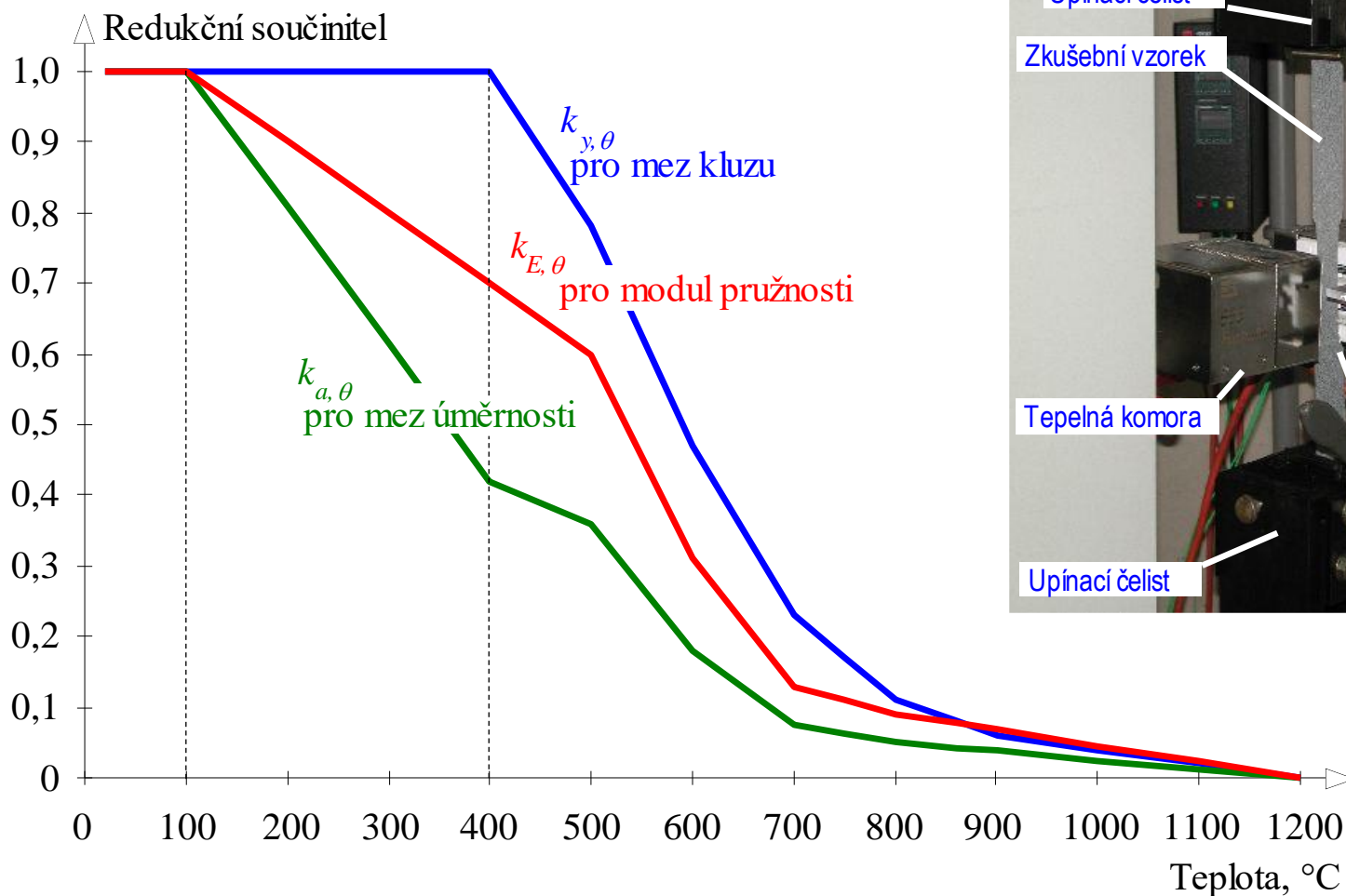
- Ohybový moment

$$M_{Ed,fi} = \eta_{fi} M_{Ed}$$



Vlastnosti oceli za zvýšené teploty

- Redukce materiálových charakteristik



Vlastnosti oceli za zvýšené teploty

- ČSN EN 1993-1-2

Teplota oceli θ_a	Redukční součinitele při teplotě θ_a vztažené k hodnotě f_y nebo E_a při 20 °C		
	Redukční součinitel (vztažený k f_y) pro účinnou mez kluzu $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	Redukční součinitel (vztažený k f_y) pro mez úměrnosti $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$	Redukční součinitel (vztažený k E_a) pro sklon lineární pružné části $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$
20 °C	1,000	1,000	1,000
100 °C	1,000	1,000	1,000
200 °C	1,000	0,807	0,900
300 °C	1,000	0,613	0,800
400 °C	1,000	0,420	0,700
500 °C	0,780	0,360	0,600
600 °C	0,470	0,180	0,310
700 °C	0,230	0,075	0,130
800 °C	0,110	0,050	0,090
900 °C	0,060	0,0375	0,0675
1 000 °C	0,040	0,0250	0,0450
1 100 °C	0,020	0,0125	0,0225
1 200 °C	0,000	0,0000	0,0000

POZNÁMKA Pro mezilehlé hodnoty teploty oceli lze lineárně interpolovat

Metoda kritické teploty

- Pouze tam kde únosnost závisí na mezi kluzu, tzn. Nedochází ke ztrátě stability

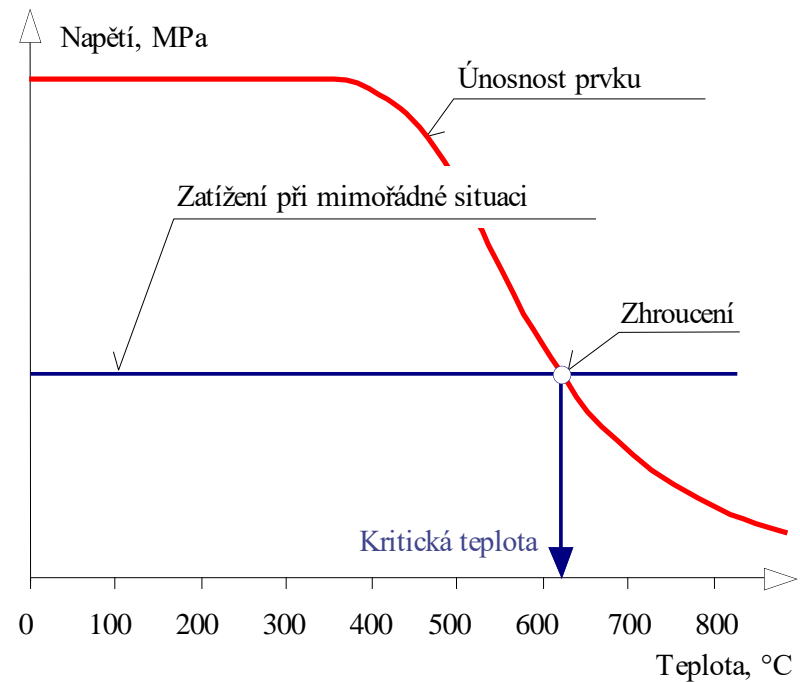
$$\theta_{a,cr} = 39,19 \ln \left(\frac{1}{0,9674 \mu_0^{3,833}} - 1 \right) + 482$$

- Stupeň využití průřezu

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,0}}$$

Účinek zatížení
při požární situaci

Únosnost
při požární situaci
při normální teplotě
(20°C)



Tažené prvky

- Rovnoměrné rozdělení teploty po průřezu (konstantní teplota)

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

- Nerovnoměrné rozdělení teploty po průřezu

$$N_{fi,t,Rd} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i k_{y,\theta,i} f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

Nosníky (bez klopení), 1. a 2. třída průřezu

- Zatřídění průřezu

- Stejným způsobem jako za běžné teploty, pouze $\varepsilon = 0,85 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$

- Rovnoměrné rozdělení teploty po průřezu (konstantní teplota)

$$M_{fi,t,Rd} = W_{pl,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

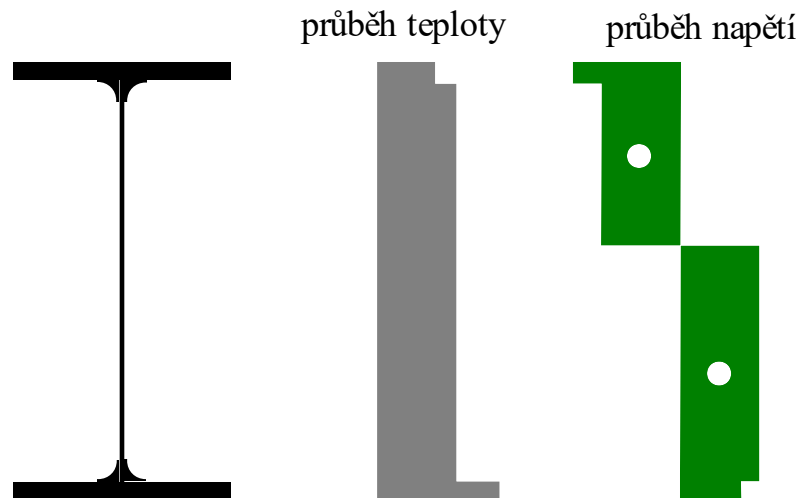
- Nerovnoměrné rozdělení teploty po průřezu (obecná metoda)

- Poloha neutrální osy

$$N^+ = N^-$$

- Moment únosnosti

$$M_{fi,t,Rd} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i k_{y,\theta,i} z_i f_y}{\gamma_{M,fi}}$$



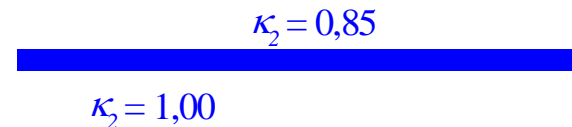
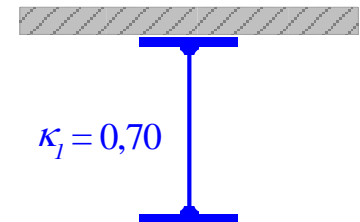
Nosníky (bez klopení), 1. a 2. třída průřezu

- Nerovnoměrné rozdělení teploty po průřezu (alternativní metoda)

$$M_{fi,t,Rd} = \frac{1}{\kappa_1 \kappa_2} W_{pl,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}$$


 Součinitele
podmínek působení

- Součinitel κ_1 pro nerovnoměrné rozdělení teploty po průřezu
 - $\kappa_1 = 1,0$ pro nosník vystavený požáru ze čtyř stran
 - $\kappa_1 = 0,7$ pro nosník vystavený požáru ze tří stran a betonovou deskou na čtvrté straně
- Součinitel κ_2 pro nerovnoměrné rozdělení teploty podél nosníku
 - $\kappa_2 = 0,85$ pro podporové momenty staticky neurčitých nosníků
 - $\kappa_2 = 1,0$ pro ostatní případy



Nosníky (bez klopení), 3. třída průřezu

- Rovnoměrné rozdělení teploty po průřezu (konstantní teplota)

$$M_{fi,t,Rd} = W_{el,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

- Nerovnoměrné rozdělení teploty po průřezu
 - Počítá se s maximální dosaženou teplotou průřezu

$$M_{fi,t,Rd} = \frac{1}{\kappa_1 \kappa_2} W_{pl,y} k_{y,\theta,max} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

Tlačené prvky

- Pro 1.; 2. a 3. třídu průřezu
 - Pouze jedna vzpěrnostní křivka (součinitel imperfekce α)
 - Maximální teplota u průřezů s nerovnoměrným rozdělením teploty

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

- Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda} \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}}$$

- Součinitel vzpěrnosti

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

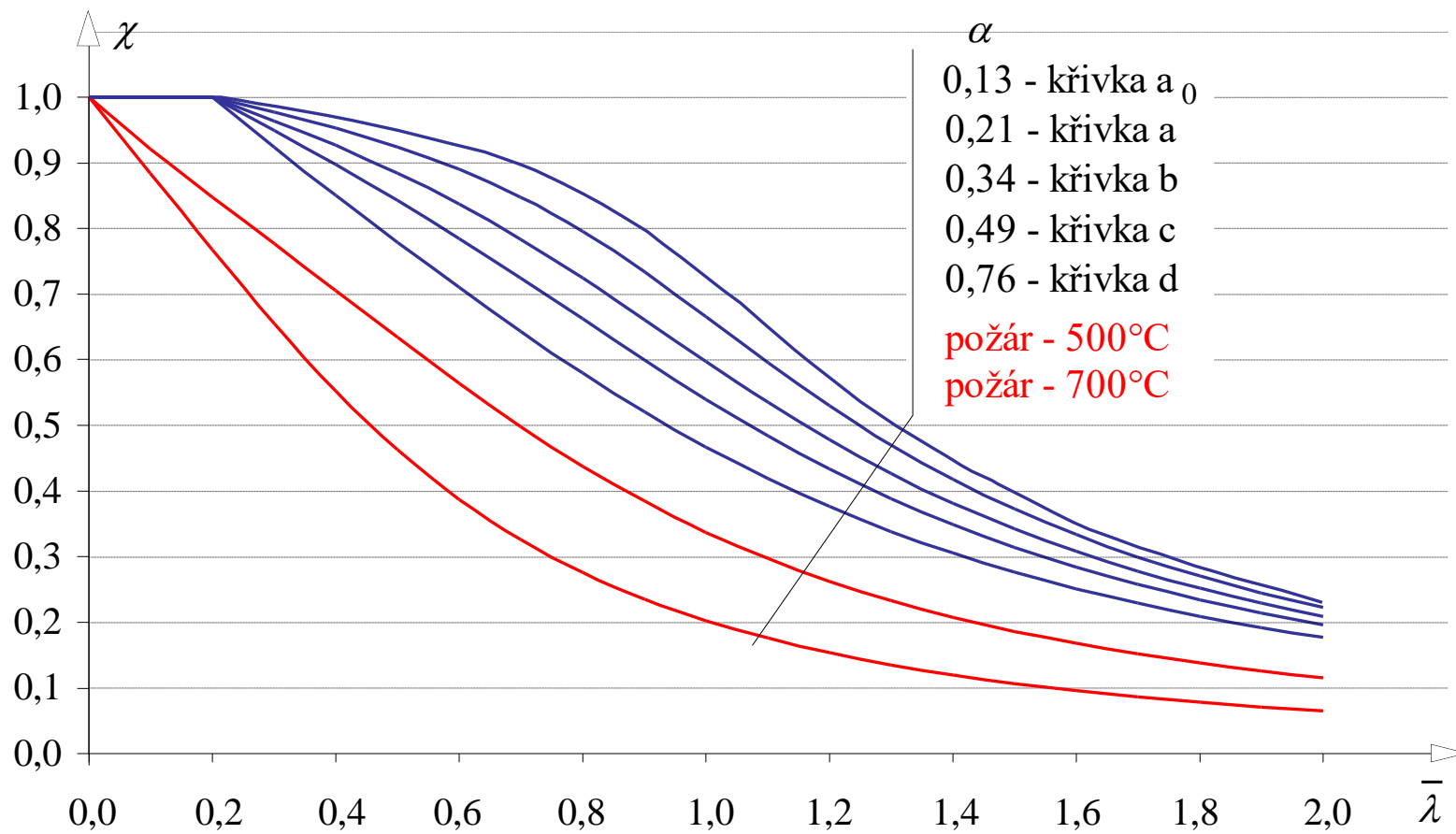
$$\varphi_\theta = 0,5[1 + \alpha \bar{\lambda}_\theta + \bar{\lambda}_\theta^2]$$

- Součinitel imperfekce

$$\alpha = 0,65 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

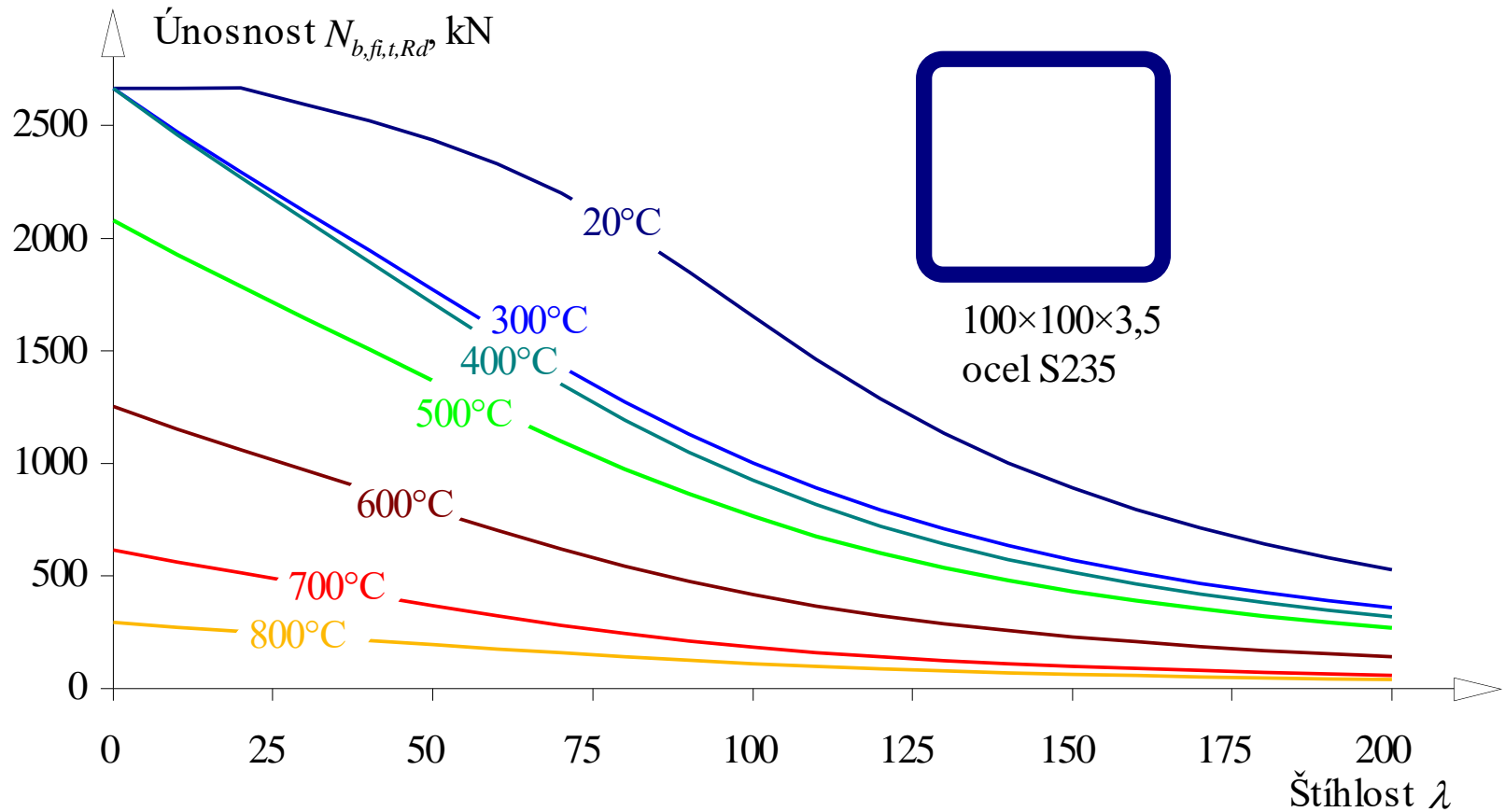
Tlačené prvky

■ Součinitel vzpěrnosti



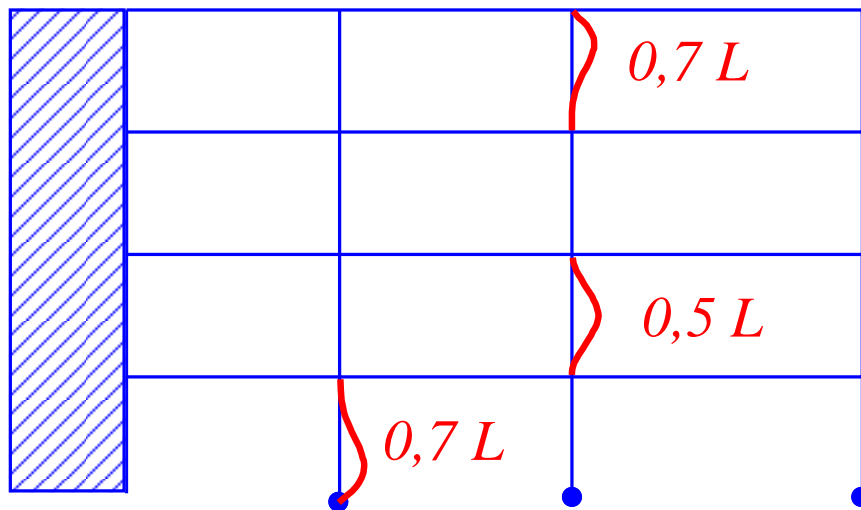
Tlačené prvky

Únosnost tlačeného prvku



Vzpěrné délky

- Obecně jsou vzpěrné délky stejné jako za pokojové teploty
- U patrových budov lze vzpěrné délky redukovat podle obrázku, pokud
 - Jde o rám s neposuvnými styčníky
 - Každé podlaží tvoří samostatný požární úsek
 - Stropní konstrukce mají stejnou nebo větší požární odolnost než je požární odolnost sloupu

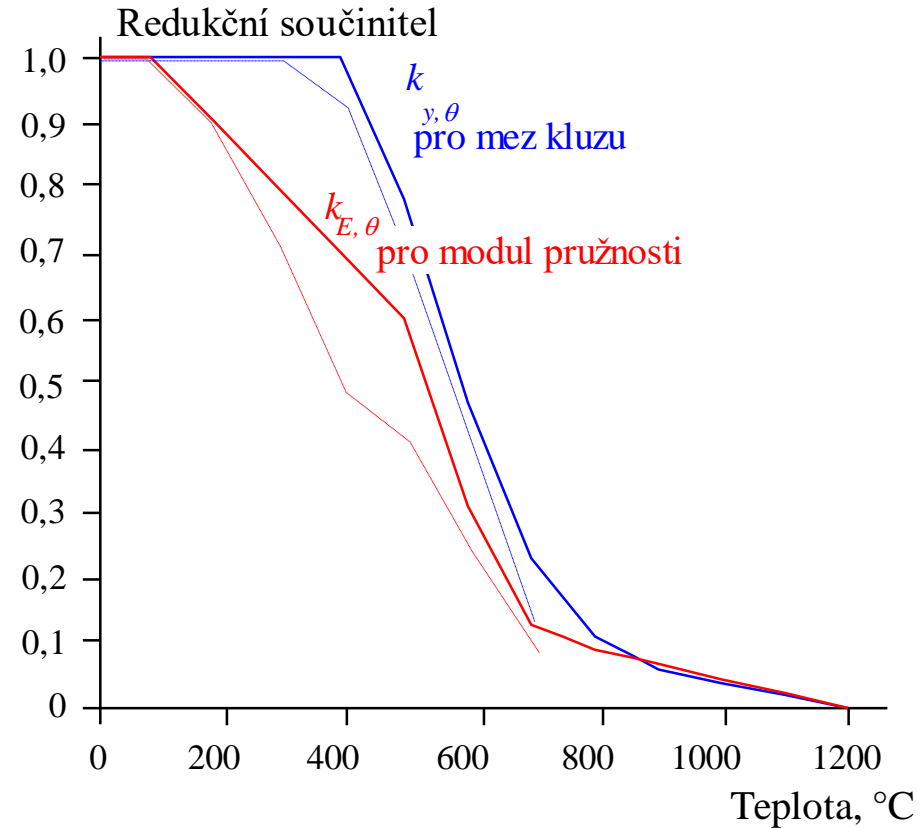


Navrhování ocelobetonových konstrukcí

- ČSN EN 1994-1-2
- Vlastnosti oceli a betonu při vysokých teplotách
- Návrh podle tabulek
- Jednoduché výpočty
 - Spřažený ocelobetonový nosník
 - Obetonovaný nosník
 - Částečně obetonovaný sloup
 - Dutý průřez vyplněný betonem
- Zdokonalené výpočty

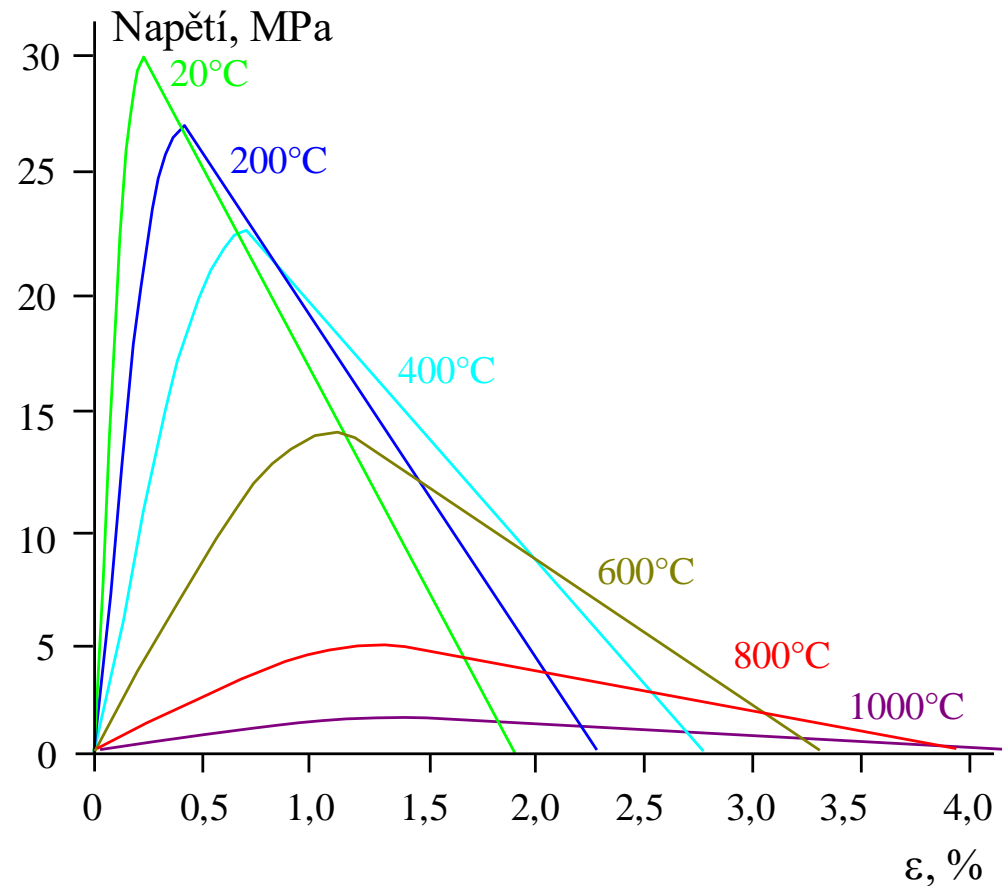
Vlastnosti oceli za zvýšené teploty

- Redukční součinitele oceli
 - Snížení pevnosti a tuhosti je pro konstrukční oceli S235, S275, S355 a pro betonářskou výztuž velmi podobné (plná čára)
 - Pruty výztuže tvarované za studena (S500) ztrácejí vlastnosti rychleji (čárkovaná čára)



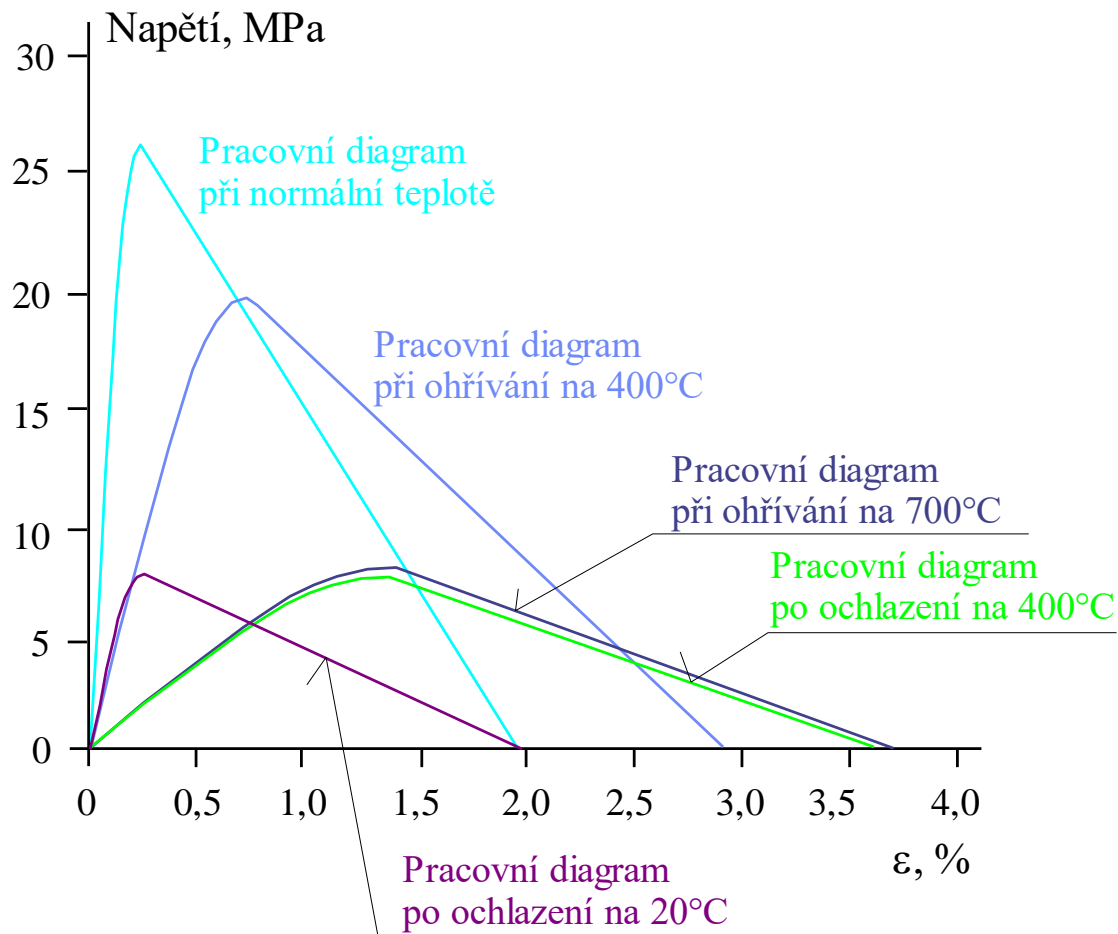
Vlastnosti betonu za zvýšené teploty

- Pevnost betonu
 - Beton ztrácí pevnost při teplotách nad 100°C
 - Vlastnosti při vysokých teplotách závisí především na typu kameniva



Vlastnosti betonu za zvýšené teploty

- Pevnost betonu
 - Po vychladnutí **nenabývá** původní pevnosti



Návrh podle tabulek

- ČSN EN 1994-1-2
- Použitelné pouze pro běžné konstrukční prvky
 - Nosníky vybetonované mezi pásnicemi
 - Obetonované průřezy
 - Duté průřezy vyplněné betonem
- Omezený rozsah vstupních hodnot
- Konzervativní
- Rychlé

Návrh podle tabulek

- ČSN EN 1994-1-2
 - Obetonovaný spřažený nosník

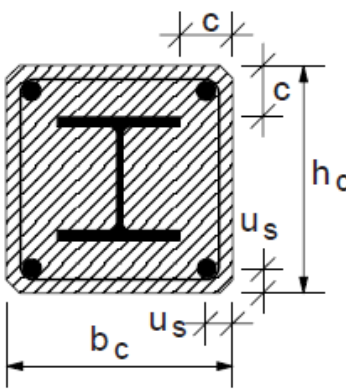
	Normová požární odolnost				
	R 30	R 60	R 90	R 120	R 180
Krytí betonem c (mm)	0	25	30	40	50

- Částečně obetonovaný spřažený nosník

	Šířka profilu b [mm]	Minimální osové vzdálenosti [mm]	Normová požární odolnost			
			R 60	R 90	R 120	R 180
	170	u_1	100	120	-	-
		u_2	45	60	-	-
	200	u_1	80	100	120	-
		u_2	40	55	60	-
250	u_1	60	75	90	120	
	u_2	35	50	60	60	
≥ 300	u_1	40	50	70	90	
	u_2	25 *	45	60	60	

Návrh podle tabulek

- ČSN EN 1994-1-2
 - Ocelobetonový sloup

		Normová požární odolnost					
		R 30	R 60	R 90	R 120	R 180	R 240
1.1	Minimální rozměry h_c a b_c (mm)	150	180	220	300	350	400
1.2	Minimální krytí ocelového průřezu c (mm)	40	50	50	75	75	75
1.3	Minimální osová vzdálenost výztuže u_s (mm)	20*	30	30	40	50	50
	nebo						
2.1	Minimální rozměry h_c a b_c (mm)	-	200	250	350	400	-
2.2	Minimální krytí ocelového průřezu c (mm)	-	40	40	50	60	-
2.3	Minimální osová vzdálenost výztuže u_s (mm)	-	20*	20*	30	40	-

POZNÁMKA * tato hodnota se musí zkontrolovat podle EN 1992-1-1, 4.4.1.2.

Jednoduché výpočty

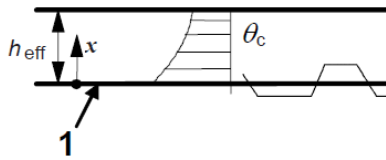
- Tam kde tabulky nestačí
- Platí pro normovou teplotní křivku
- Vycházejí z rozložení teploty po průřezu a tomu odpovídající redukci materiálových vlastností oceli i betonu
- Výpočet únosnosti ohýbaných prvků je založen na plastickém rozdělení napětí v průřezu

Nosník spřažený s betonovou deskou

- Spolupůsobící šířka stejná jako při běžné teplotě
- Teplota nosníku (chráněného nebo nechráněného) přírůstkovou metodou, podrobnosti v ČSN EN 1994-1-2
- Teplota v betonové desce podle tabulky

Tabulka D.5 – Průběh teploty v plně 100 mm tlusté neizolované desce z obyčejného betonu

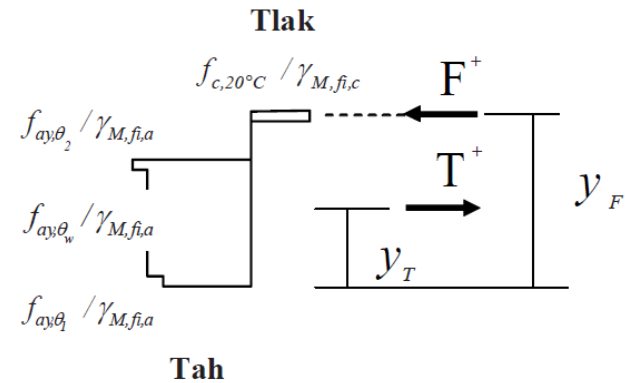
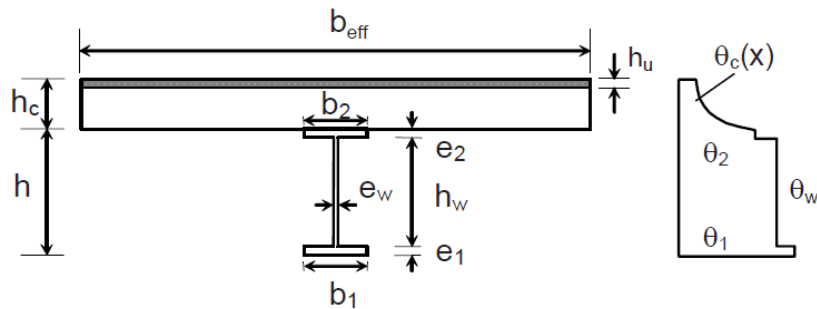
Hloubka x [mm]	Teplota θ_c [°C] po době trvání požáru [min]					
	30'	60'	90'	120'	180'	240'
5	535	705				
10	470	642	738			
15	415	581	681	754		
20	350	525	627	697		
25	300	469	571	642	738	
30	250	421	519	591	689	740
35	210	374	473	542	635	700
40	180	327	428	493	590	670
45	160	289	387	454	549	645
50	140	250	345	415	508	550
55	125	200	294	369	469	520
60	110	175	271	342	430	495
80	80	140	220	270	330	395
100	60	100	160	210	260	305



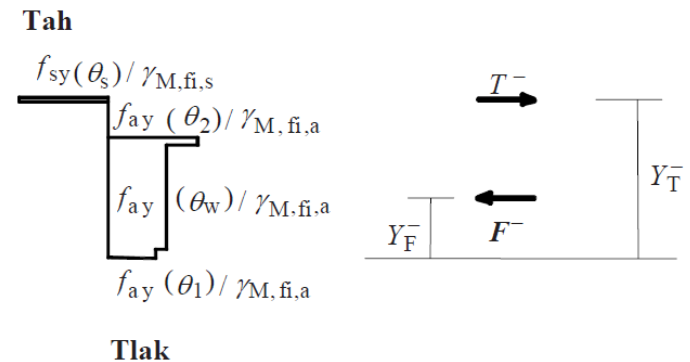
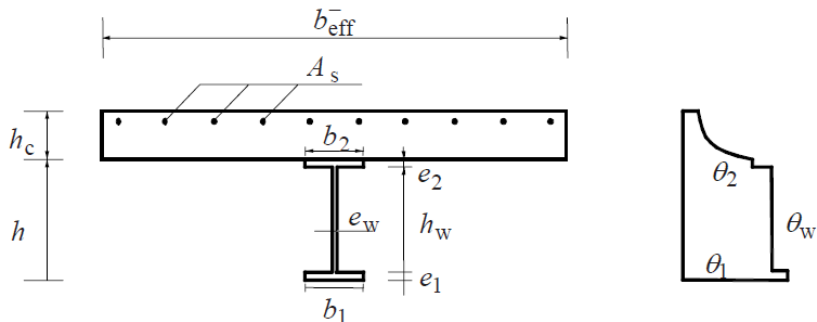
1 – Ohřívána spodní strana desky

Nosník spřažený s betonovou deskou

- Podmínka rovnováhy
 - Obdobně jako za pokojové teploty
 - Kladný moment



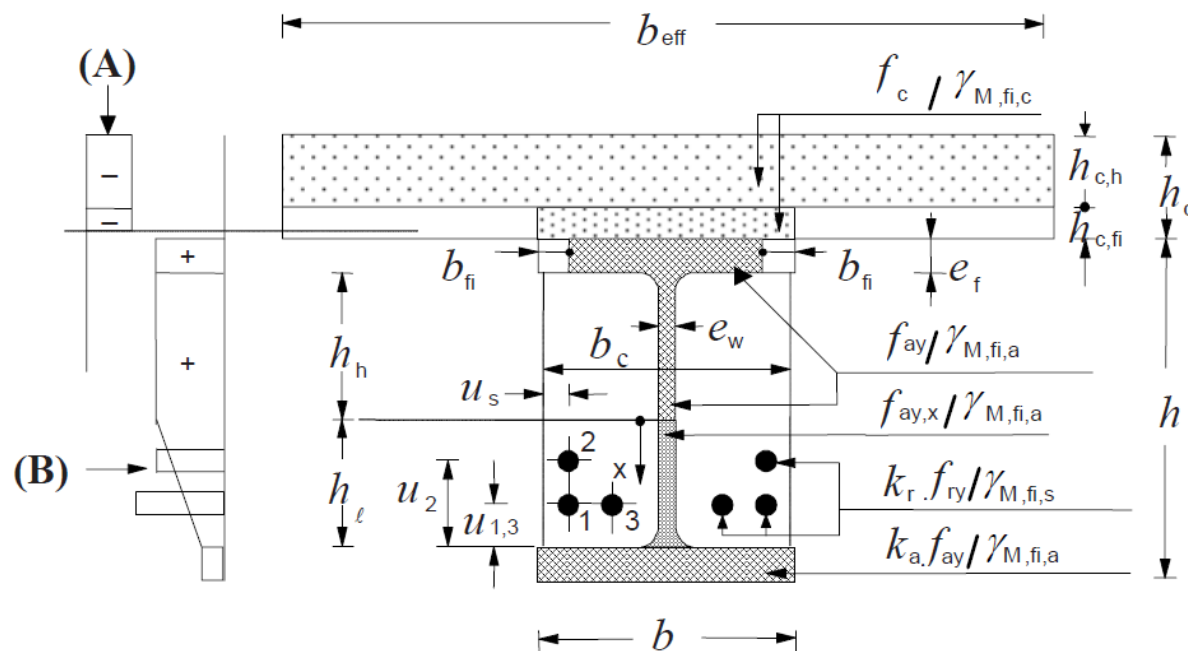
- Záporný moment



Obetonovaný nosník spřažený s bet. deskou

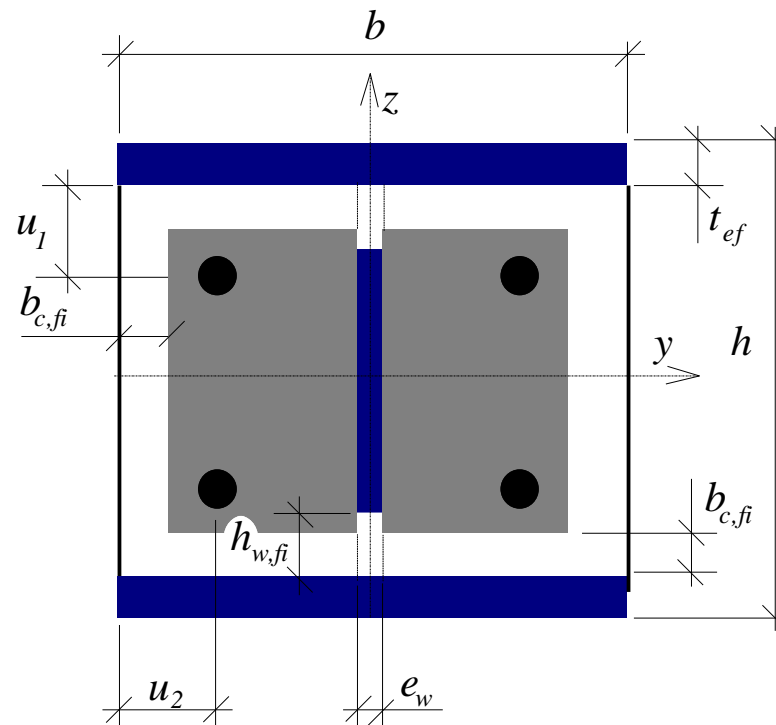
■ Kladný moment

- Spolupůsobící šířka je stejná jako při pokojové teplotě
- Redukuje se tloušťka desky podle tabulky, pevnost betonu se neredukuje
- Redukuje se šířka horní pásnice na obou krajích, mez kluzu se nesnižuje
- Stojina se rozdělí na dvě části, mez kluzu horní části se neredukuje
- Mez kluzu spodní pásnice a výztuže se redukuje



Částečně obetonovaný sloup

- Plná plocha pásnic, redukce pevnosti
- Redukovaná plocha stěny, redukovaná pevnost
- Redukovaná plocha betonu, redukovaná pevnost
- Výztuž jen v započítávané ploše betonu, redukovaná pevnost



Částečně obetonovaný sloup

- Únosnost

$$N_{fi,Rd,z} = \chi_z N_{fi,pl,R}$$

- Součinitel vzpěrnosti se určí z křivky c

- Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_\theta = \sqrt{\frac{N_{fi,pl,R}}{N_{fi,cr,z}}}$$

$N_{fi,pl,R} = N_{fi,pl,Rd,f} + N_{fi,pl,Rd,w} + N_{fi,pl,Rd,c} + N_{fi,pl,Rd,s}$

- Kritická síla

$$N_{fi,cr,z} = \frac{\pi^2 (EI)_{fi,eff,z}}{l_\theta^2}$$

- Účinná ohybová tuhost

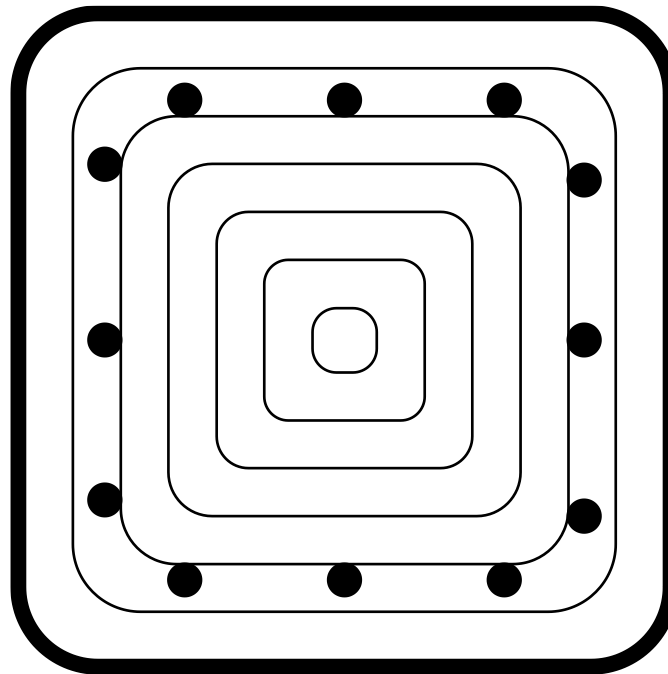
$$(EI)_{fi,eff,z} = \varphi_{f,\theta} (EI)_{fi,f,z} + \varphi_{w,\theta} (EI)_{fi,w,z} + \varphi_{c,\theta} (EI)_{fi,c,z} + \varphi_{s,\theta} (EI)_{fi,s,z}$$

Tabulka G.7 – Redukční součinitele pro ohybovou tuhost

Normová požární odolnost	$\varphi_{f,\theta}$	$\varphi_{w,\theta}$	$\varphi_{c,\theta}$	$\varphi_{s,\theta}$
R 30	1,0	1,0	0,8	1,0
R 60	0,9	1,0	0,8	0,9
R 90	0,8	1,0	0,8	0,8
R 120	1,0	1,0	0,8	1,0

Dutý průřez vyplněný betonem

- Stejně principy jako v předchozím případě
- Pro určení teploty je třeba řešit vedení tepla uvnitř průřezu
→ „pokročilá metoda“



Pokročilé metody

- Zdokonalené výpočty
 - Zahrnují vliv teploty a změny materiálových vlastností

- Řešení pomocí softwaru
 - Vulkan (komerční)
 - AFCB pro návrh nosníků
 - AFCC pro návrh sloupů

- AFCB, AFCC zdarma distribuuje ArcelorMittal

Děkuji za pozornost

Ing. Břetislav Židlický, Ph.D.

České vysoké učení technické v Praze

