

133PSBZ

Požární spolehlivost betonových a zděných konstrukcí

## Přednáška A8

ČVUT v Praze, Fakulta stavební  
katedra betonových a zděných konstrukcí

# Obsah přednášky

## Zjednodušené výpočetní metody

- Úvod
- Metoda izotermy 500 °C (B.1)
- Zónová metoda (B.2)

# Úvod

## Zjednodušené výpočetní metody

- Stanovení mezní únosnosti prvku (průřezu) při požární situaci.
- Vztahují se k nosné funkci prvku (kritérium **R**).
- Nutný předpoklad: znalost rozložení teploty v analyzovaném průřezu pro příslušnou dobu vystavení požáru.

# Úvod

## Zjednodušené výpočetní metody v ČSN EN 1992-1-2

- Metoda izotermy 500 °C pro prvky namáhané ohybovým momentem a/nebo normálovou silou (**B.1**)
- Zónová metoda pro prvky namáhané ohybovým momentem a/nebo normálovou silou (**B.2**)
- Metoda pro štíhlé sloupy ztužených konstrukcí (**B.3**), na které jsou založeny tabulky uvedené v příloze **C**
- Metoda pro ověření únosnosti ve smyku a kroucení (**D**)
- Zjednodušená výpočetní metoda pro nosníky a desky (**E**)

# Úvod

## Zjednodušené výpočetní metody v ČSN EN 1992-1-2

- **Metoda izotermy 500 °C pro prvky namáhané ohybovým momentem a/nebo normálovou silou (B.1)**
- **Zónová metoda pro prvky namáhané ohybovým momentem a/nebo normálovou silou (B.2)**
- Metoda pro štíhlé sloupy ztužených konstrukcí (B.3), na které jsou založeny tabulky uvedené v příloze C
- Metoda pro ověření únosnosti ve smyku a kroucení (D)
- Zjednodušená výpočetní metoda pro nosníky a desky (E)

# Metoda izotermy 500 °C

## Předpoklady:

- Beton o teplotě  $\theta > 500$  °C nepřispívá k únosnosti průřezu.
- Beton s teplotou  $\theta \leq 500$  °C vykazuje stejné mechanické vlastnosti (pevnost a modul pružnosti) jako při 20 °C.
- Pevnost výztuže se redukuje úměrně její teplotě.
- $\Rightarrow$  Redukuje se: průřez a vlastnosti oceli.
- Lze použít pro normovou teplotní křivkou (ISO 834) nebo parametrickou teplotní křivkou při  $O \geq 0,14$  m<sup>1/2</sup>.
- Platí pro prvky zatížené  $M$  a/nebo  $N$ . Průřezy musí splňovat požadavky na minimální rozměr dle tabulky.

# Metoda izotermy 500 °C

Minimální rozměr průřezu pro použití metody izotermy 500 °C [1,2]

## Vystavení normovému požáru

Normová požární odolnost	R 60	R 90	R 120	R 180	R 240
Minimální rozměr průřezu [mm]	90	120	160	200	280

## Vystavení parametrickému požáru

Hustota požárního zatížení* $q_{t,d}$ [MJ m <sup>-2</sup> ]	200	300	400	600	800
Minimální rozměr průřezu [mm]	100	140	160	200	240

\*) Návrhová hodnota vztažená k celé ploše ohraničujících konstrukcí (viz ČSN EN 1991-1-2).

# Metoda izotermy 500 °C

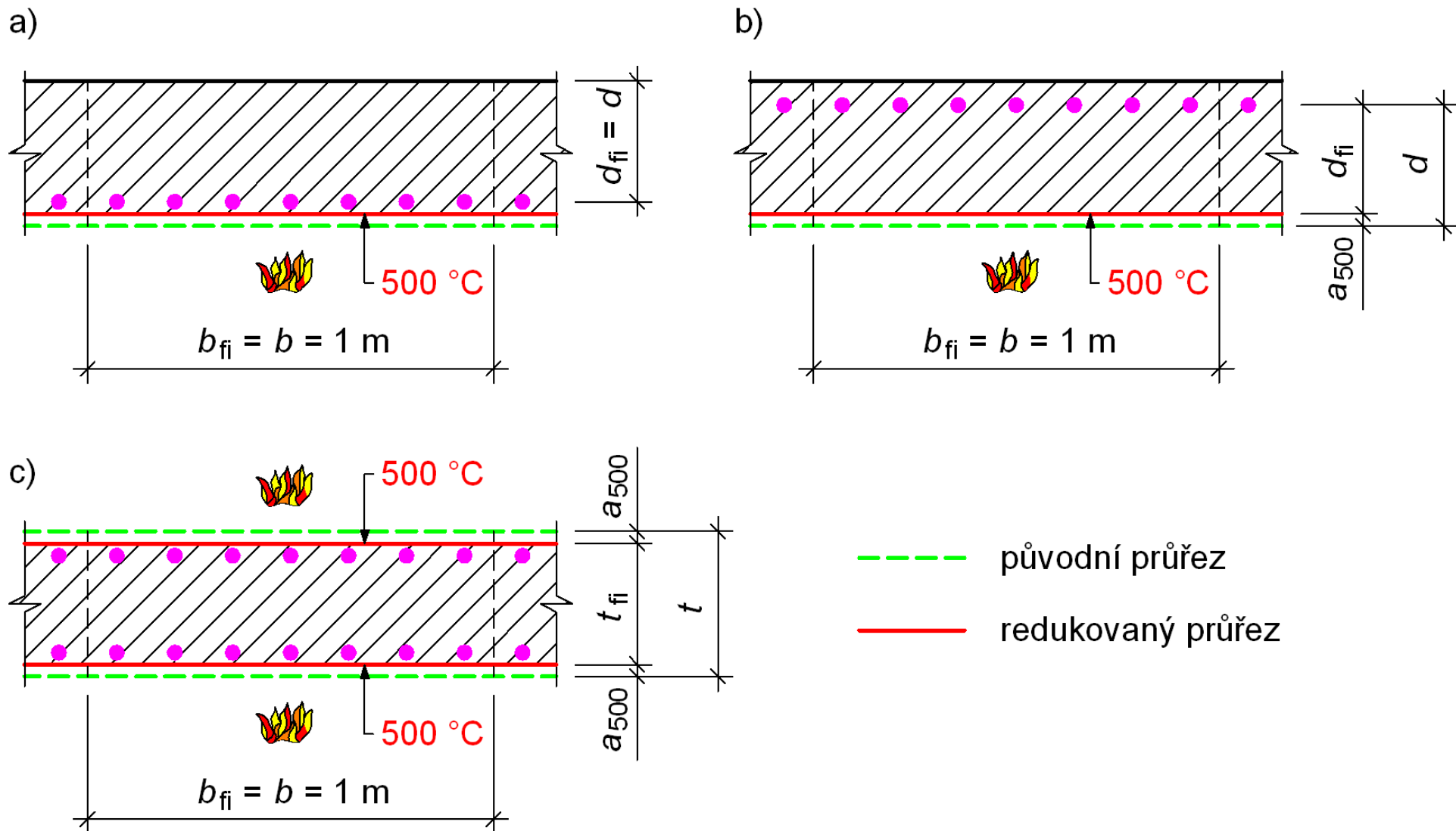
Postup výpočtu:

- Určí se rozložení teploty v analyzovaném průřezu.
- Stanoví se poloha izotermy 500 °C, která udává tvar a rozměry redukovaného průřezu. Zaoblený tvar izotermy 500 °C lze idealizovat na tvar pravoúhlý (plocha idealizovaného redukovaného průřezu musí být rovna ploše vymezené izotermou 500 °C).

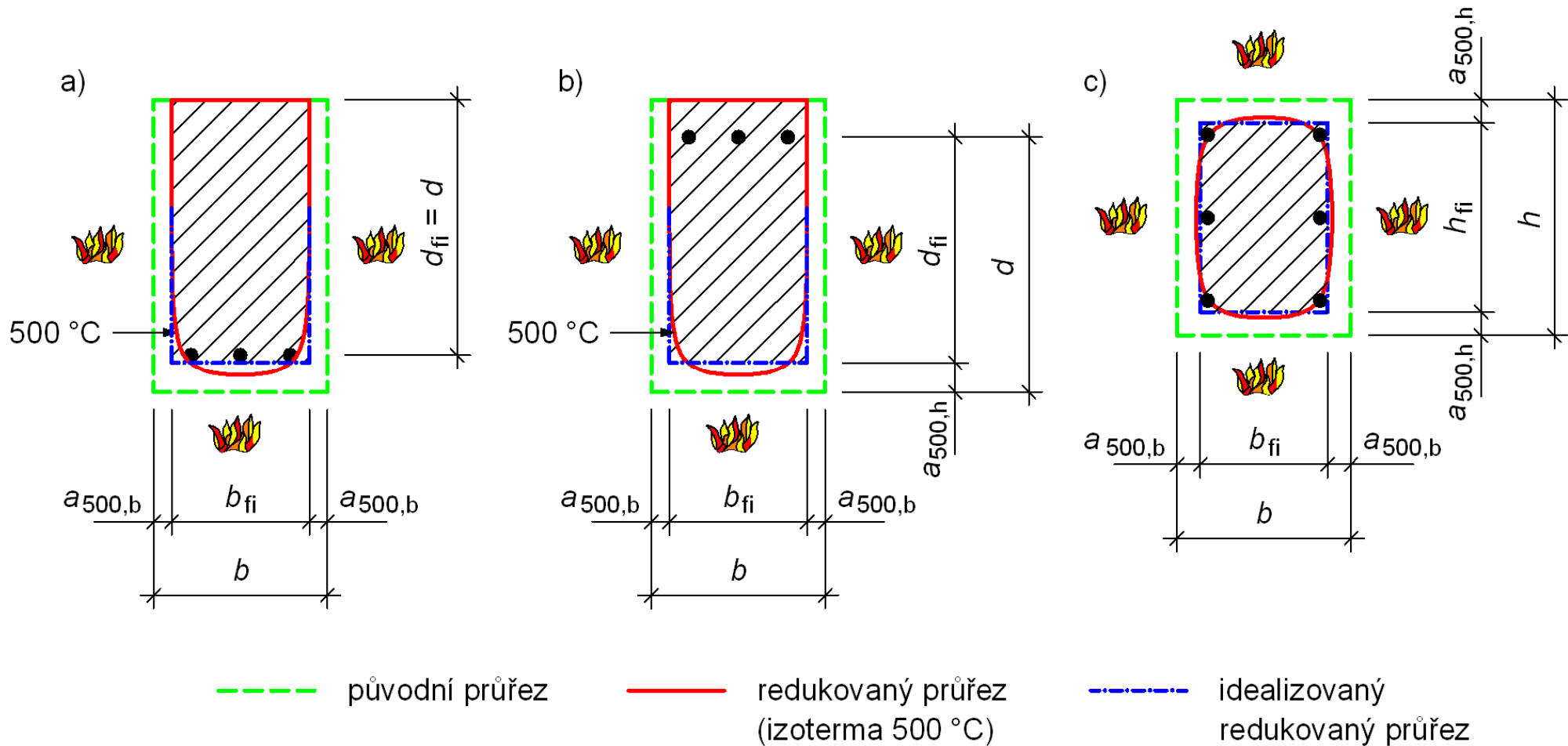


# Redukce průřezů desek a stěn při použití metody izotermie 500 °C:

a) deska vystavená požáru na tažené straně, b) deska vystavená požáru na tlačené straně, c) stěna vystavená požáru z obou stran [1]



Redukce průřezů nosníků a sloupů při použití metody izotermy 500 °C:  
 a) nosník vystavený požáru ze tří stran s exponovanou taženou oblastí,  
 b) nosník vystavený požáru ze tří stran s exponovanou tlačnou oblastí,  
 c) sloup vystavený požáru ze všech stran [1,2]



# Metoda izotermie 500 °C

Postup výpočtu:

- Pevnost betonu v redukovaném průřezu se neredukuje (uvažuje se shodná jako při 20 °C). Návrhová hodnota tlakové pevnosti betonu v redukovaném průřezu  $f_{cd,fi,20^{\circ}C}$  se určí jako

$$f_{cd,fi,20^{\circ}C} = \frac{f_{ck}}{\gamma_{C,fi}}$$

$f_{ck}$  ... charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku při běžné teplotě

$\gamma_{C,fi}$  ... dílčí součinitel spolehlivosti betonu při požární situaci ( $\gamma_{C,fi} = 1,0$ )

# Metoda izotermy 500 °C

## Postup výpočtu:

- Stanoví se teploty v osách výztužných prutů (lze započítat i pruty, které leží mimo redukovaný průřez).
- Stanoví se návrhová hodnota pevnosti (resp. meze kluzu) výztuže při požární situaci  $f_{\text{syd,fi},\theta}$

$$f_{\text{syd,fi}} = k_{s,\theta} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{S,fi}}$$

$k_{s,\theta}$  ... součinitel pro redukci charakteristické hodnoty meze kluzu betonářské výztuže odpovídající teplotě výztuže  $\theta$

$f_{yk}$  ... charakteristická hodnota meze kluzu betonářské výztuže při běžné teplotě

$\gamma_{S,fi}$  ... dílčí součinitel spolehlivosti výztuže při požární situaci ( $\gamma_{S,fi} = 1,0$ )

# Metoda izotermy 500 °C

## Postup výpočtu:

- Hodnoty  $k_{s,\theta}$  se v závislosti na teplotě výztuže určí z příslušných grafů, vztahů nebo tabulek.
- Mají-li výztužné pruty v  $\nu$ -té vrstvě různé teploty, stanoví se průměrná pevnost  $\nu$ -té vrstvy výztuže  $f_{\text{syd,fi},\nu}$  jako

$$f_{\text{syd,fi},\nu} = k_{s,\nu} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{S,fi}}$$

$k_{s,\nu}$  ... průměrný redukční součinitel pro  $\nu$ -tou vrstvu výztuže

$$k_{s,\nu} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{s,\theta,i}}{n}$$

$k_{s,\theta,i}$  ... redukční součinitel pro  $i$ -tý výztužný prut (odpovídající teplotě  $\theta_i$ )

$n$  ... celkový počet prutů v  $\nu$ -té vrstvě

**Pozn.:** platí pouze pro pruty shodných průřezů a pevností.

# Metoda izotermy 500 °C

## Postup výpočtu:

- Pokud jsou v dané vrstvě pruty různých průřezů, určí se hodnoty  $k_{s,\theta,i}$  se v závislosti na teplotě výztuže z příslušných grafů, vztahů nebo tabulek.
- Výsledná síla ve výztuži se stanoví podle vztahu

$$F_{sd,fi} = \sum_{i=1}^n A_{s,i} \cdot k_{s,\theta,i} \cdot \frac{f_{yk,i}}{\gamma_{S,fi}}$$

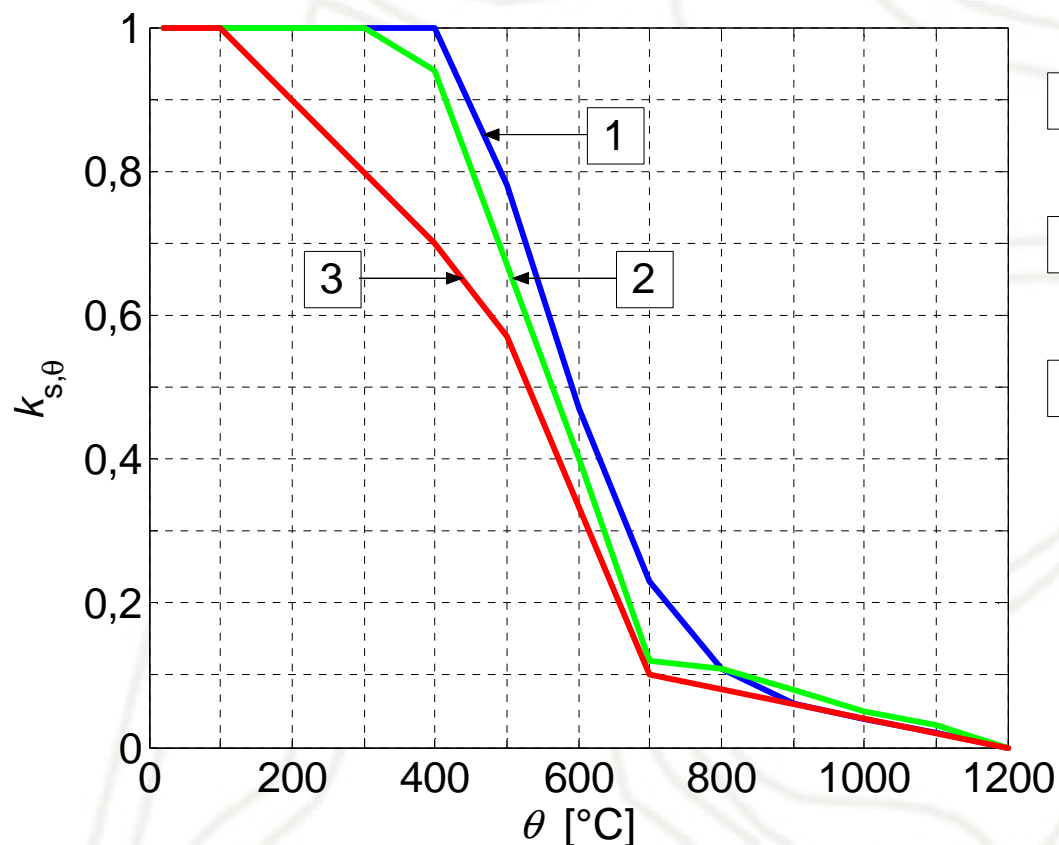
$A_{s,i}$  ... plocha  $i$ -tého prutu

$k_{s,\theta,i}$  ... redukční součinitel pro  $i$ -tý výztužný prut (odpovídající teplotě  $\theta_i$ )

$n$  ... celkový počet prutů

# Metoda izotermy 500 °C

Součinitel  $k_{s,\theta}$  pro redukci charakteristické hodnoty meze kluzu ( $f_{yk}$ ) tahové a tlakové výztuže třídy N [1,2]



- 1 tahová výztuž válcovaná za tepla při poměrném přetvoření  $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$
- 2 tahová výztuž tvářená za studena při poměrném přetvoření  $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$
- 3 tlaková a tahová výztuž při poměrném přetvoření  $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$

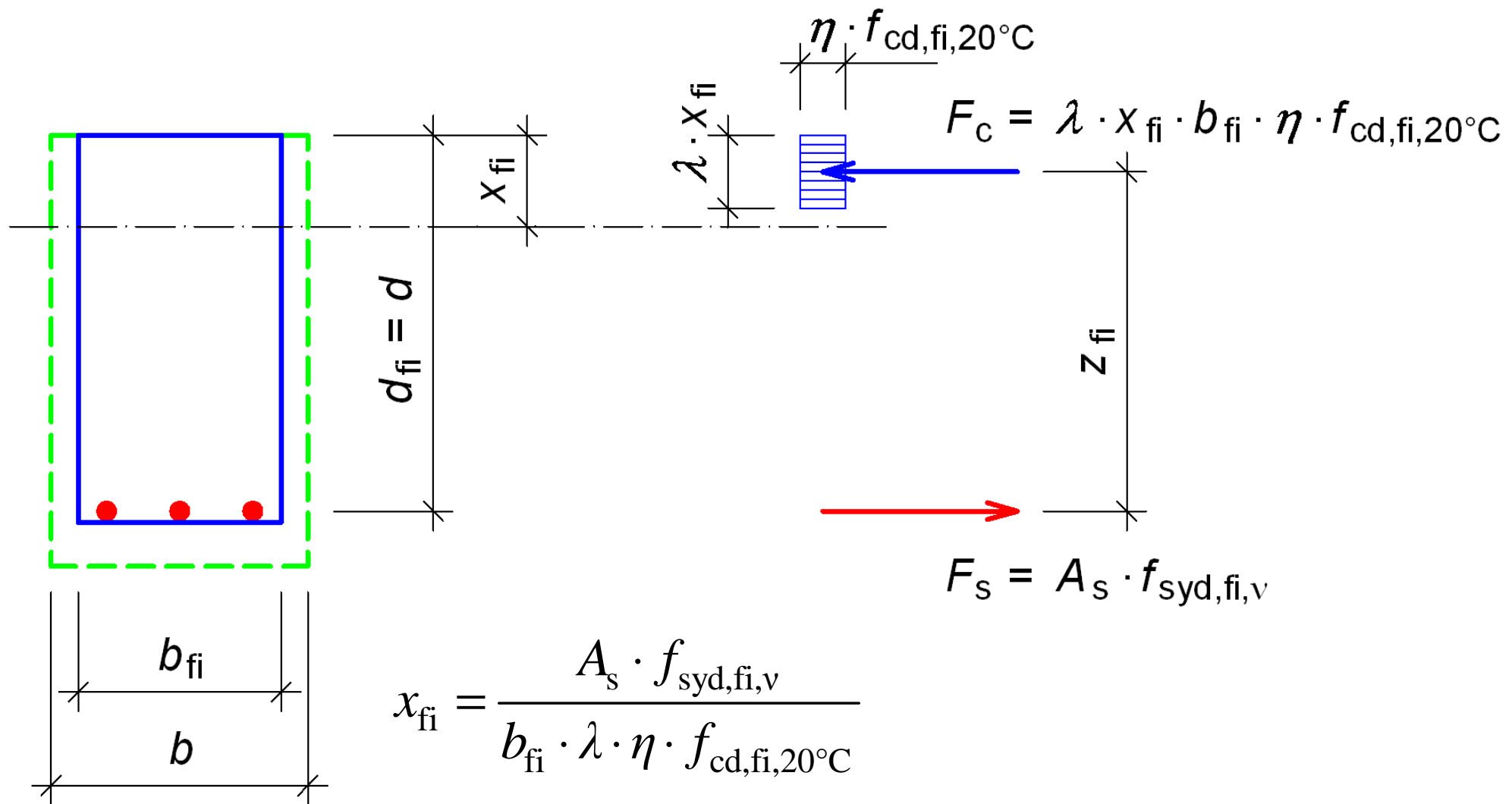
# Metoda izotermy 500 °C

## Postup výpočtu:

- Obvyklou výpočetní metodou se stanoví návrhová hodnota únosnosti redukovaného průřezu s uvážením příslušných materiálových charakteristik.
- Návrhová hodnota mezní únosnosti průřezu se porovná s odpovídajícím účinkem návrhové hodnoty zatížení při požární situaci.



# Rozdělení napětí v obdélníkovém průřezu nosníku při požáru [1,2]



$$x_{fi} = \frac{A_s \cdot f_{synd,fi,v}}{b_{fi} \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd,fi,20^\circ C}}$$

$$M_{Rd,fi} = A_s \cdot f_{synd,fi,v} \cdot z_{fi} = A_s \cdot f_{synd,fi,v} \cdot (d_{fi} - 0,5 \cdot \lambda \cdot x_{fi})$$

# Zónová metoda

## Předpoklady:

- Lze ji použít pouze v souvislosti s normovou teplotní křivkou.
- Rozdíly oproti metodě izotermie 500 °C:
  - odlišný způsob stanovení tloušťky vyloučené vrstvy betonu (pro metodu izotermie 500 °C označené jako  $a_{500}$ , pro zónovou metodu jako  $a_z$ )
  - kromě rozměrů průřezu a pevnosti výztuže se redukuje také pevnost betonu v red. průřezu

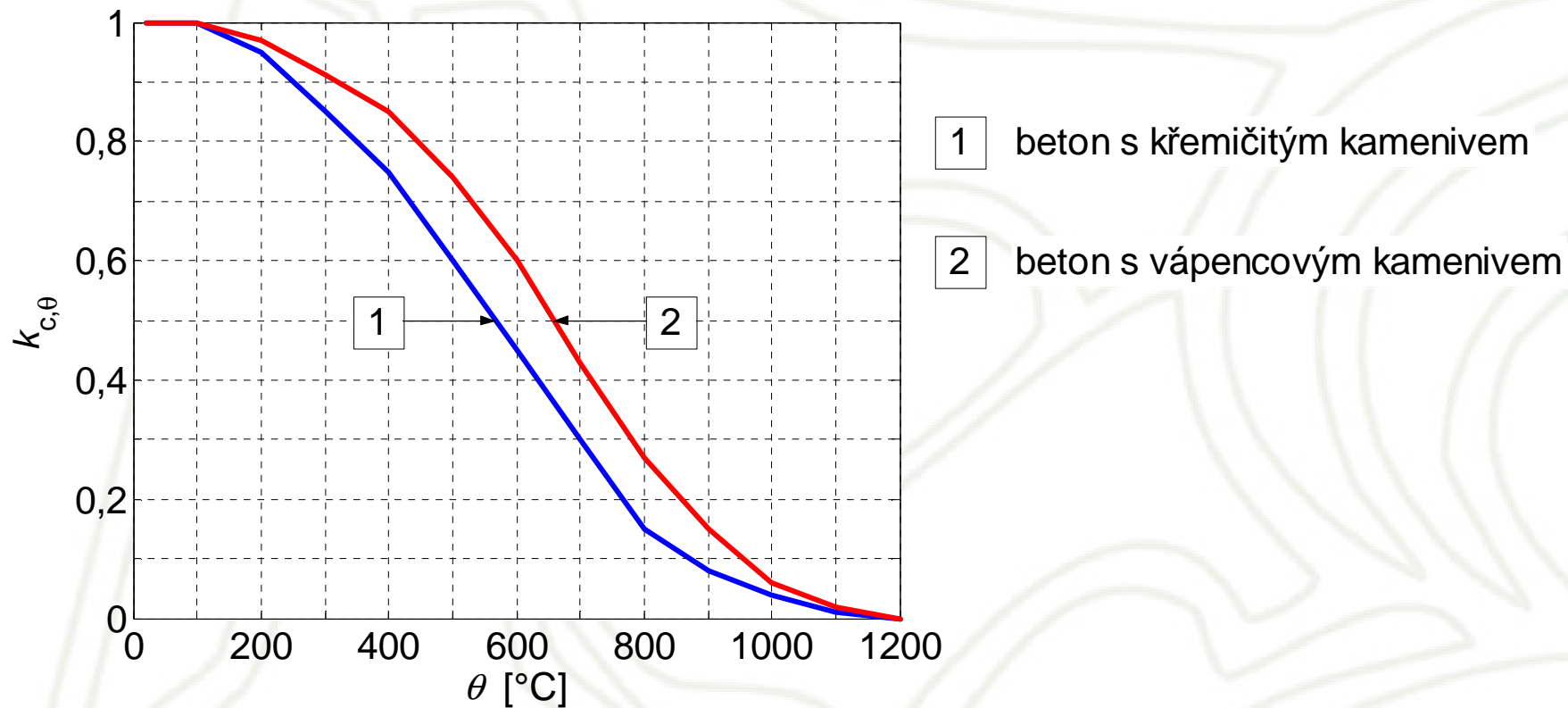
# Zónová metoda

Postup výpočtu:

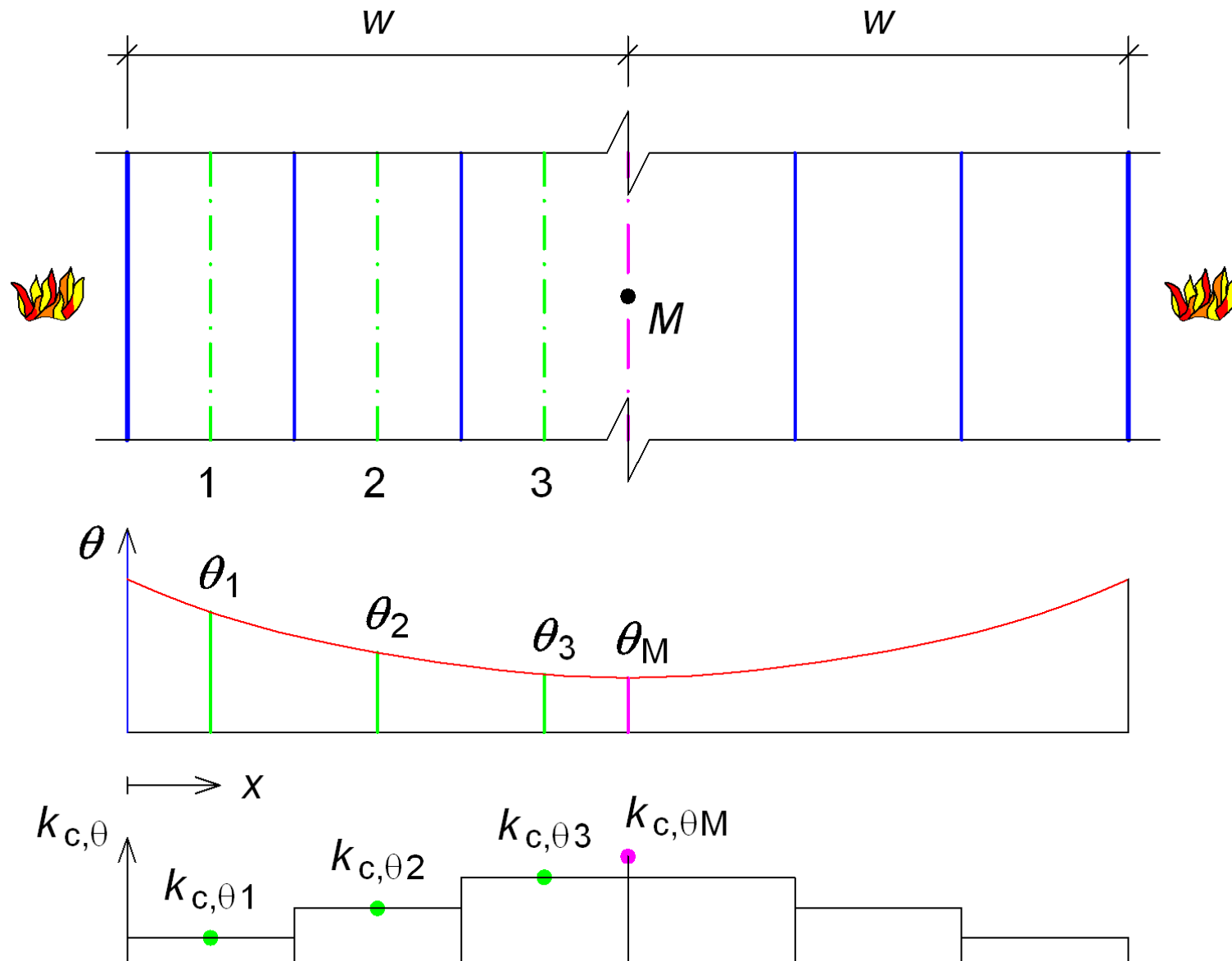
- Pro daný konstrukční prvek se stanoví charakteristická tloušťku  $w$  a poloha bodu  $M$ .
- Tloušťka  $w$  se rozdělí na  $n$  rovnoběžných zón o stejné tloušťce, kde  $n \geq 3$ .
- Stanoví se rozložení teploty v analyzovaném průřezu, určí se teploty  $\theta_i$  ve středu každé zóny a teplota v bodě  $M$ .
- Pro každou zónu se určí hodnota součinitele  $k_{c,\theta_i}$ .
- Určí se hodnota součinitele  $k_{c,\theta_M}$ .  
(hodnoty  $k_{c,\theta}$  se určí z příslušných grafů nebo tabulek)

# Zónová metoda

Součinitel  $k_{c,\theta}$  pro redukci charakteristické hodnoty pevnosti betonu v tlaku při zvýšených teplotách [1,2]



Zónová metoda - rozdělení průřezu na zóny, stanovení teplot a redukčních součinitelů pro výpočet tloušťky vyloučené vrstvy betonu  $a_z$  [1,2]



# Zónová metoda

Postup výpočtu:

- Stanoví se střední součinitel redukce  $k_{c,m}$  pro daný průřez

$$k_{c,m} = \frac{1 - \frac{0,2}{n}}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k_{c,\theta i}$$

$n$  ... počet zón

$i$  ... číslo zóny

$k_{c,\theta i}$  ... hodnota součinitele pro redukci charakteristické hodnoty pevnosti betonu v tlaku pro  $i$ -tou zónu

# Zónová metoda

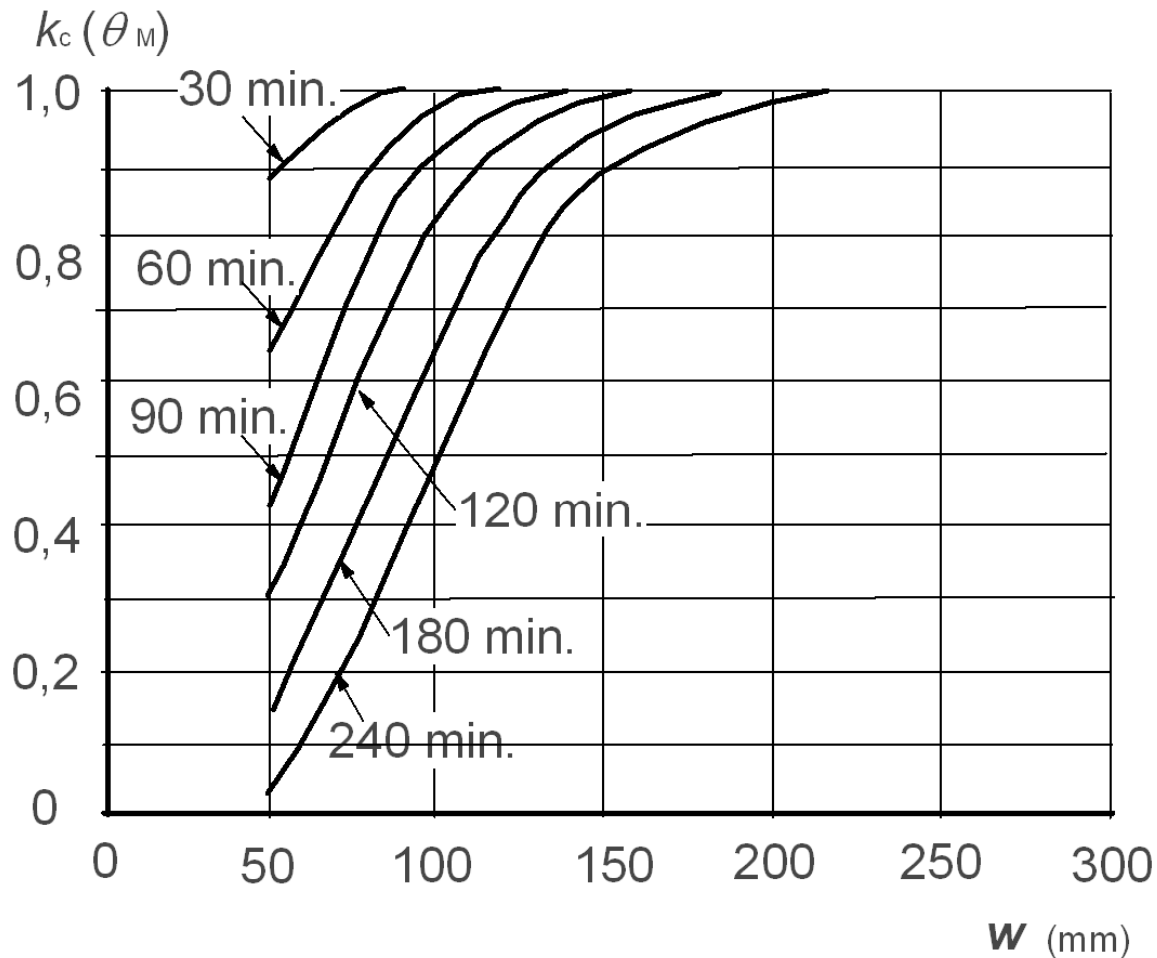
Postup výpočtu:

- Stanoví se tloušťka vyloučené vrstvy  $a_z$ , která definuje rozměry redukovaného průřezu.
  - nosníky, desky a smykové stěny bez účinků 2. řádu

$$a_z = w \cdot \left( 1 - \frac{k_{c,m}}{k_{c,\theta M}} \right)$$

- sloupy, stěny a jiné konstrukce s účinky 2. řádu

$$a_z = w \cdot \left[ 1 - \left( \frac{k_{c,m}}{k_{c,\theta M}} \right)^{1,3} \right]$$

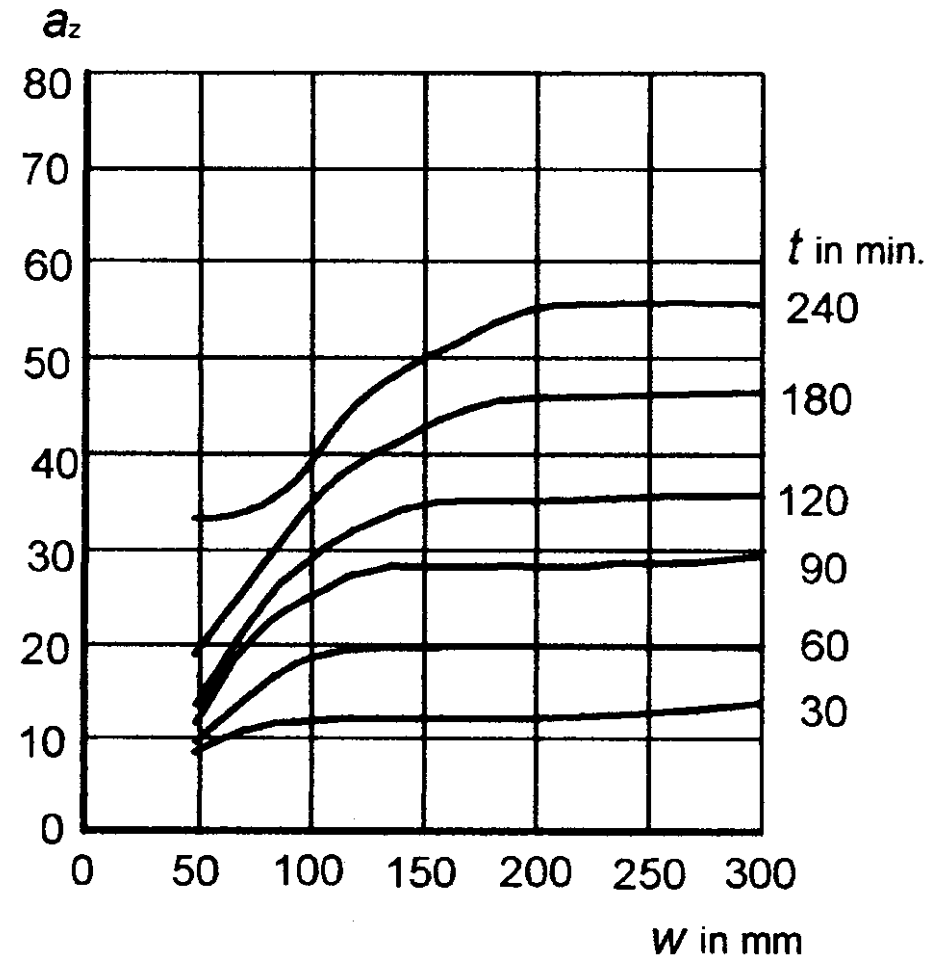
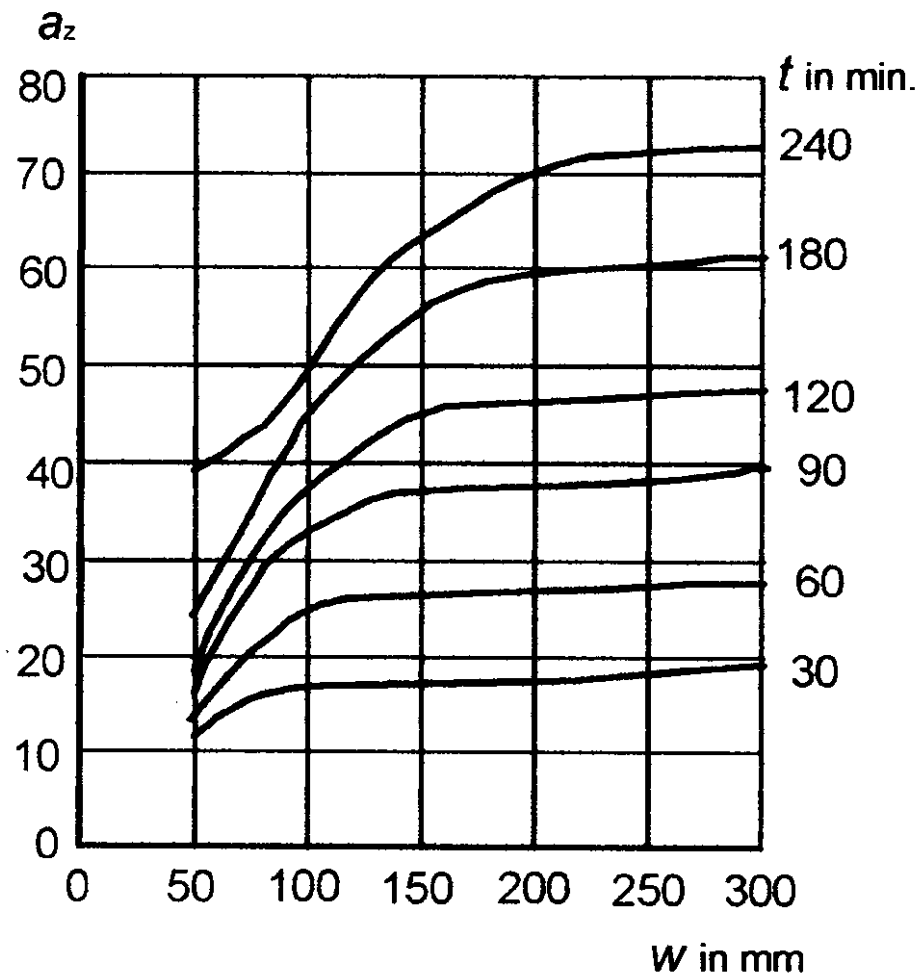


$w$  je určeno jako:

- tloušťka desky,
- tloušťka stěny nebo sloupu vystavených z jedné strany,
- polovina šířky stojiny nosníku,
- polovina tloušťky stěny nebo sloupu vystavených z obou stran
- polovina nejmenšího rozměru sloupu vystaveného ze čtyř stran.

**a) Redukce pevnosti v tlaku pro redukováný průřez z betonu s křemičitým kamenivem**



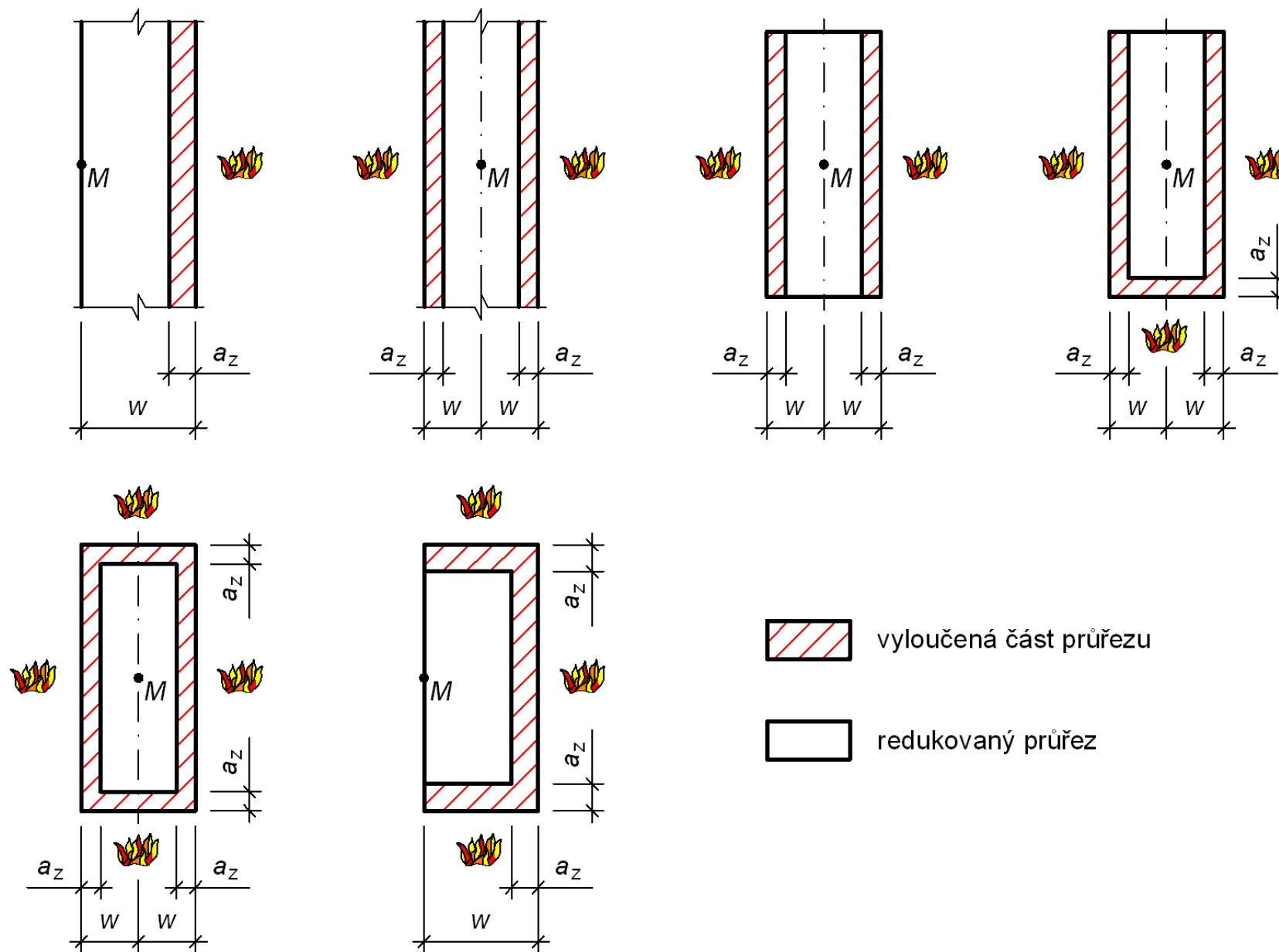


a) desky, nosníky

b) sloupy, stěny

Šířka poškozené zóny  $a_z$  - beton s křemičitým kamenivem

# Redukce průřezu při použití zónové metody [1,2]



# Zónová metoda

Postup výpočtu:

- Redukuje se pevnost betonu v redukovaném průřezu v závislosti na teplotě  $\theta_M$ , tato pevnost platí pro celý redukovaný průřez

$$f_{cd,fi} = k_{c,\theta M} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{C,fi}}$$

$k_{c,\theta M}$  ... součinitel pro redukci charakteristické hodnoty pevnosti betonu v tlaku odpovídající teplotě  $\theta_M$

$f_{ck}$  ... charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku při běžné teplotě

$\gamma_{C,fi}$  ... dílčí souč. spolehlivosti betonu při požární situaci ( $\gamma_{S,fi} = 1,0$ )

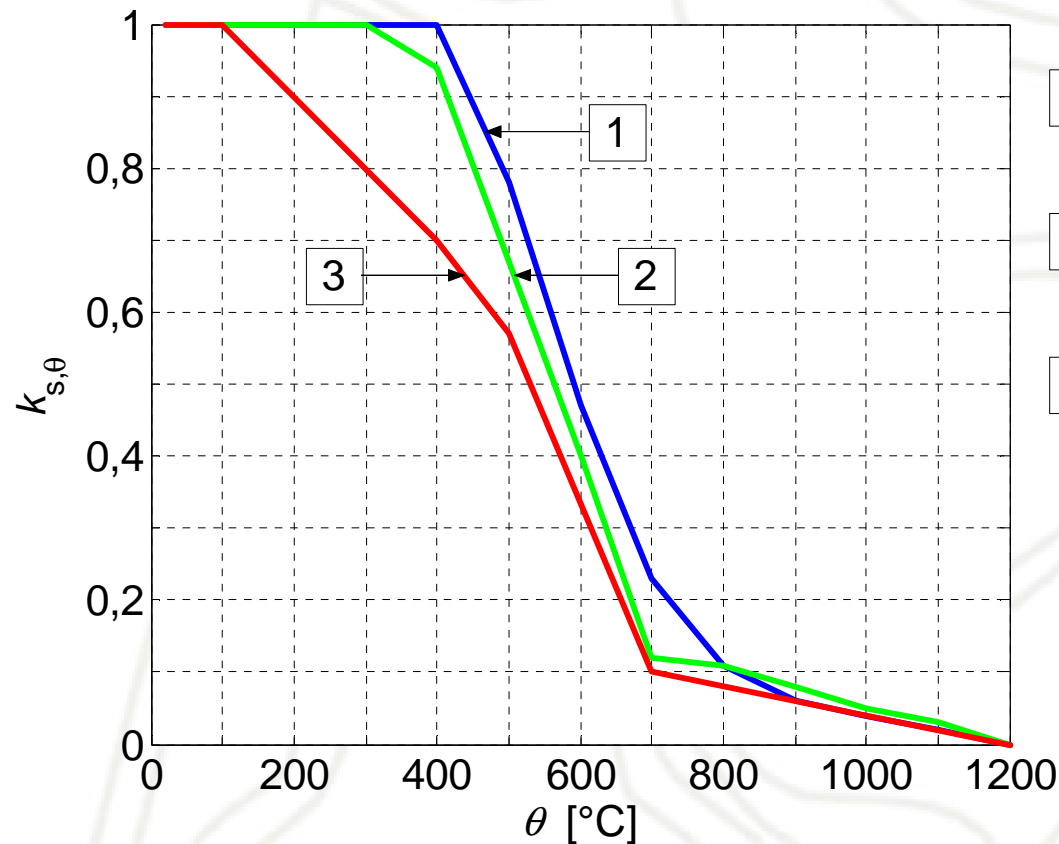
# Zónová metoda

## Postup výpočtu:

- Stejně jako při použití metody izotermy 500 °C se stanoví teplota výztuže a její redukovaná pevnost.
- Obvyklou výpočetní metodou se stanoví návrhová hodnota únosnosti redukovaného průřezu s uvážením příslušných materiálových charakteristik.
- Návrhová hodnota mezní únosnosti průřezu se porovná s odpovídajícím účinkem návrhové hodnoty zatížení při požární situaci.

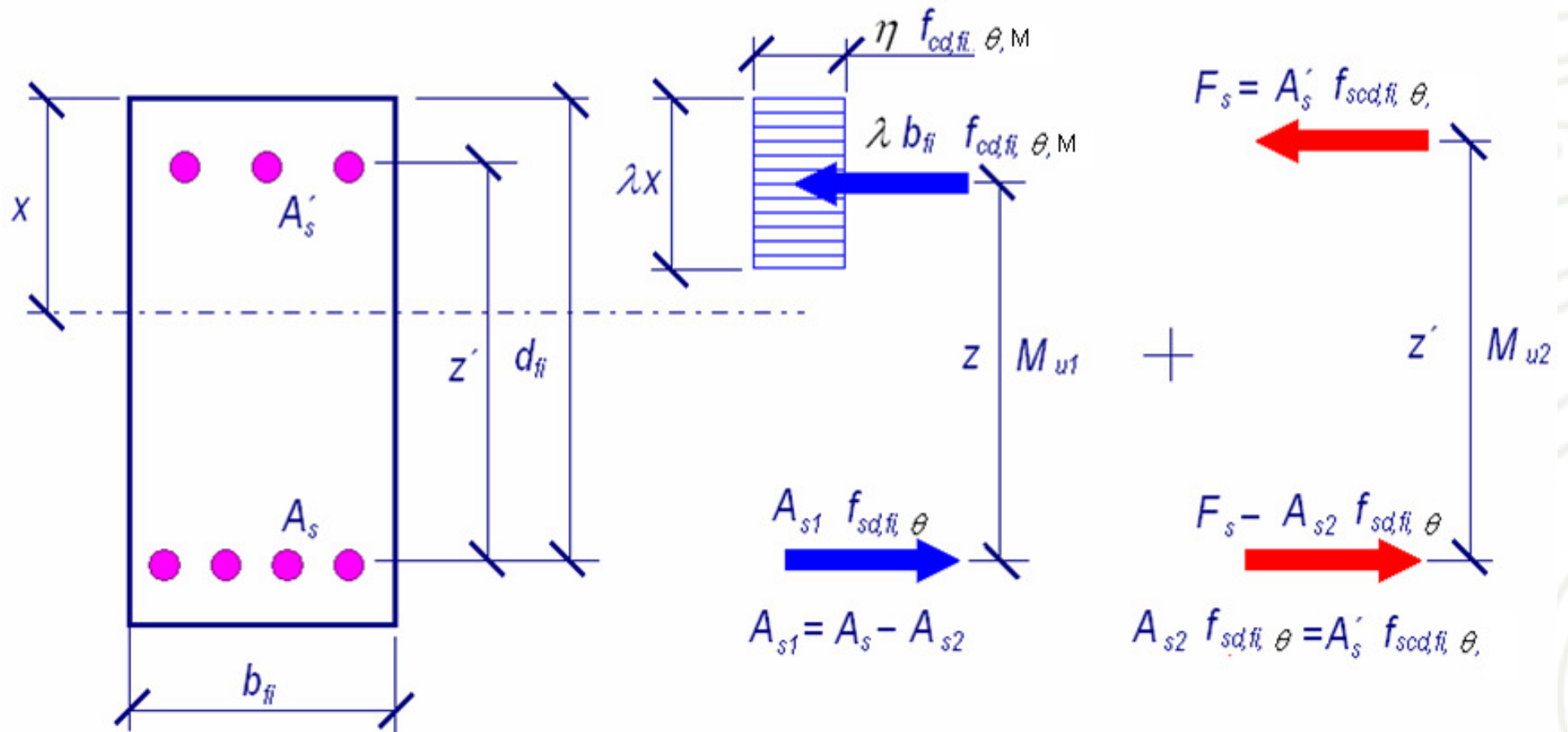
# Zónová metoda

Součinitel  $k_{s,\theta}$  pro redukci charakteristické hodnoty meze kluzu ( $f_{yk}$ ) tahové a tlakové výztuže třídy N [1,2]



- 1 tahová výztuž válcovaná za tepla při poměrném přetvoření  $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$
- 2 tahová výztuž tvářená za studena při poměrném přetvoření  $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$
- 3 tlaková a tahová výztuž při poměrném přetvoření  $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$

# Zónová metoda





**Děkuji za pozornost!**

# Seznam použitých zdrojů

- [1] Procházka, J. a kol. Navrhování betonových a zděných konstrukcí na účinky požáru. Praha: ČVUT, 2010. ISBN 978-80-01-04613-5.
- [2] ČSN EN 1992-1-2. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru. Praha: ČNI, 2006.



© Jaroslav Procházka, Radek Štefan 2011-2015

Poslední úprava: 22.11.2016

Připomínky a návrhy na vylepšení prezentace zasílejte prosím na adresu [radek.stefan@fsv.cvut.cz](mailto:radek.stefan@fsv.cvut.cz)

**Upozornění:**

Materiál slouží pouze pro studijní a výukové účely v rámci předmětů vyučovaných na Fakultě stavební ČVUT v Praze!