

133YPNB
Požární návrh betonových a zděných konstrukcí

4. přednáška

prof. Ing. Jaroslav Procházka, CSc.

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^{1/2}.
- 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 ⁻²]	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

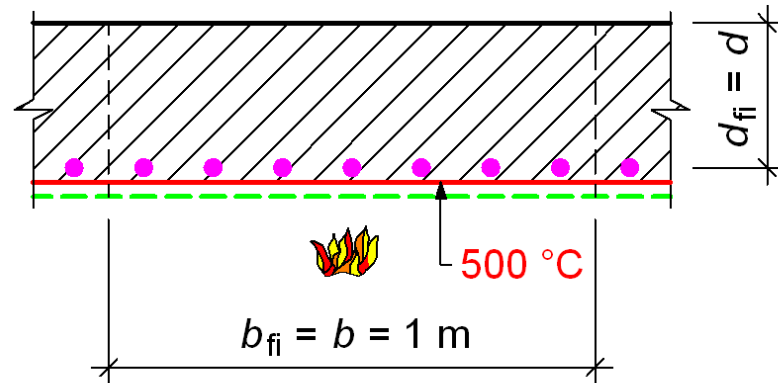
Postup výpočtu:

- 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).

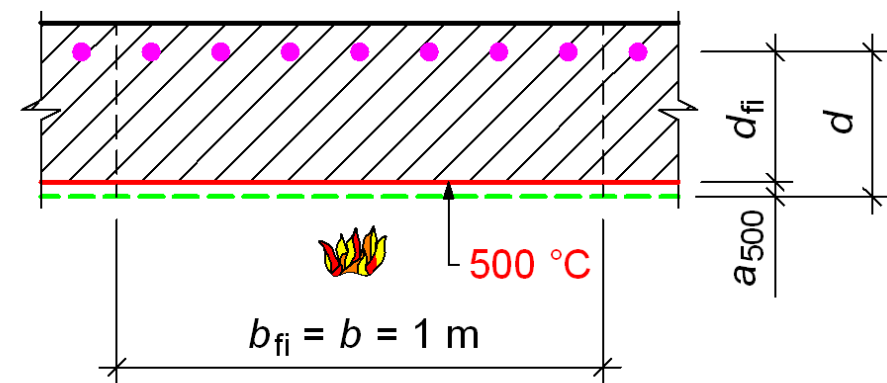
Redukce průřezů desek a stěn při použití metody izotermy 500 °C:

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

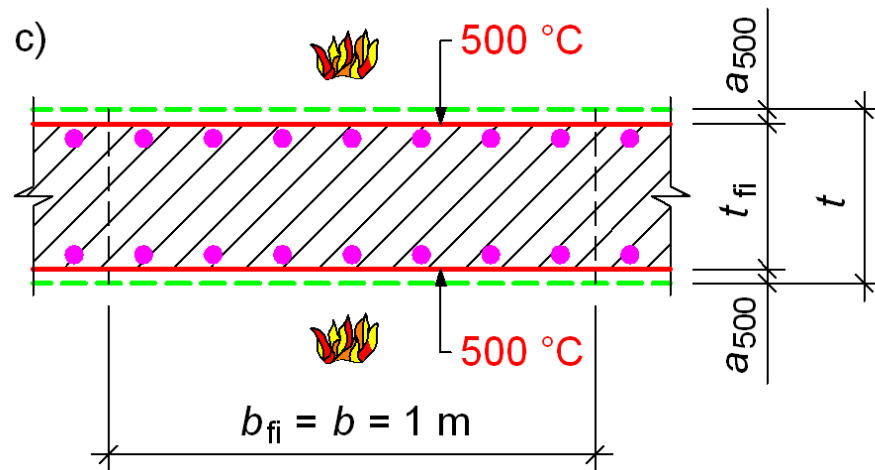
a)



b)

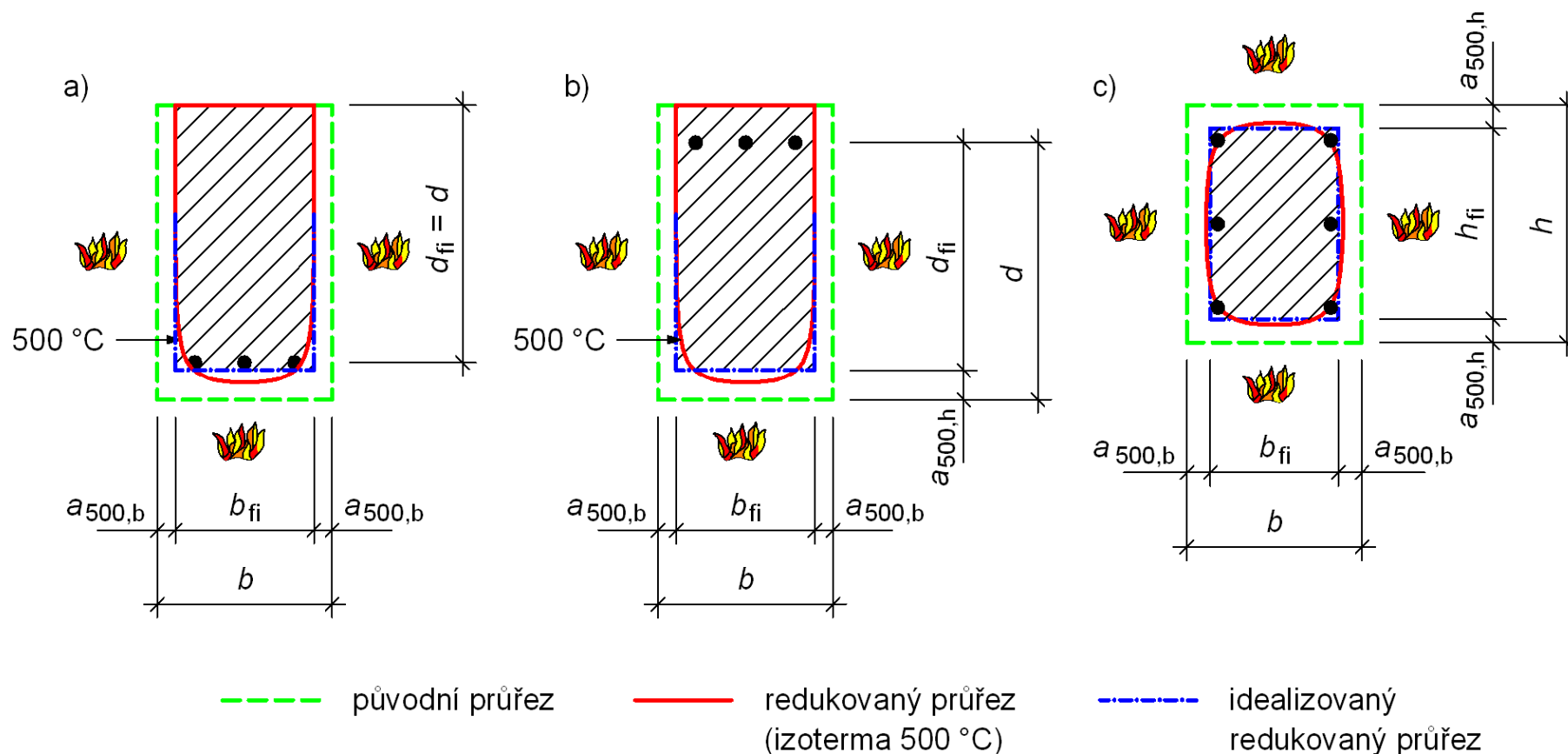


c)



--- původní průřez
— redukováný průřez

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 izotermy 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 θ

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 ν -té vrstvě různé teploty, stanoví se průměrná pevnost ν -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 ν -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 θ_i)

n ... celkový počet prutů v ν -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

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

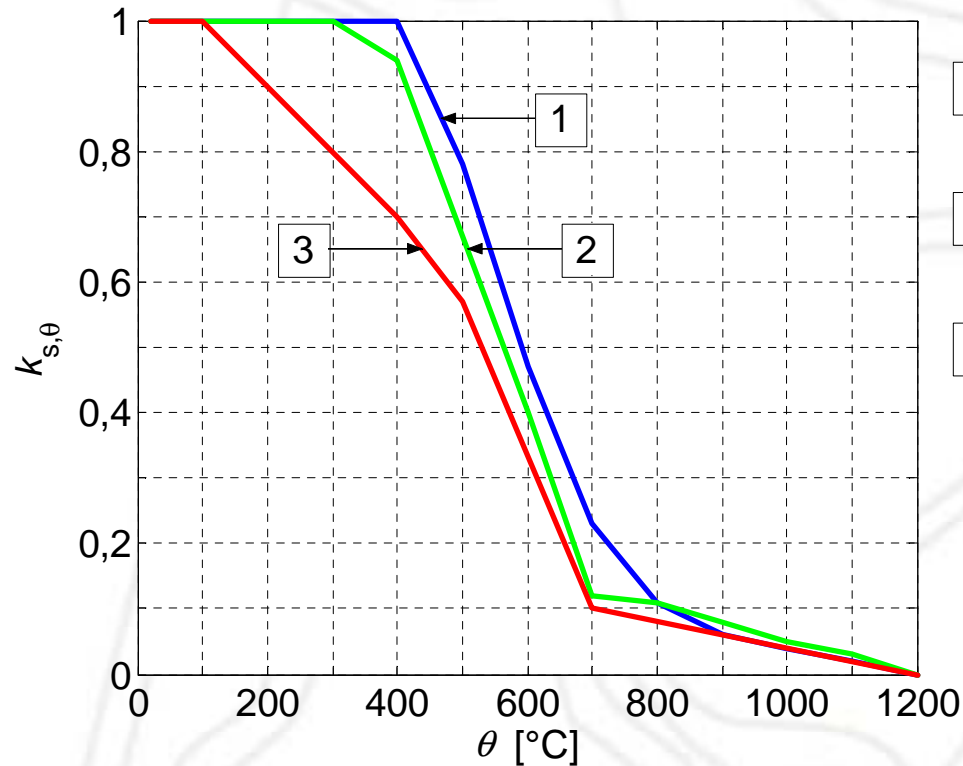
$A_{s,i}$... plocha i -tého prutu

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



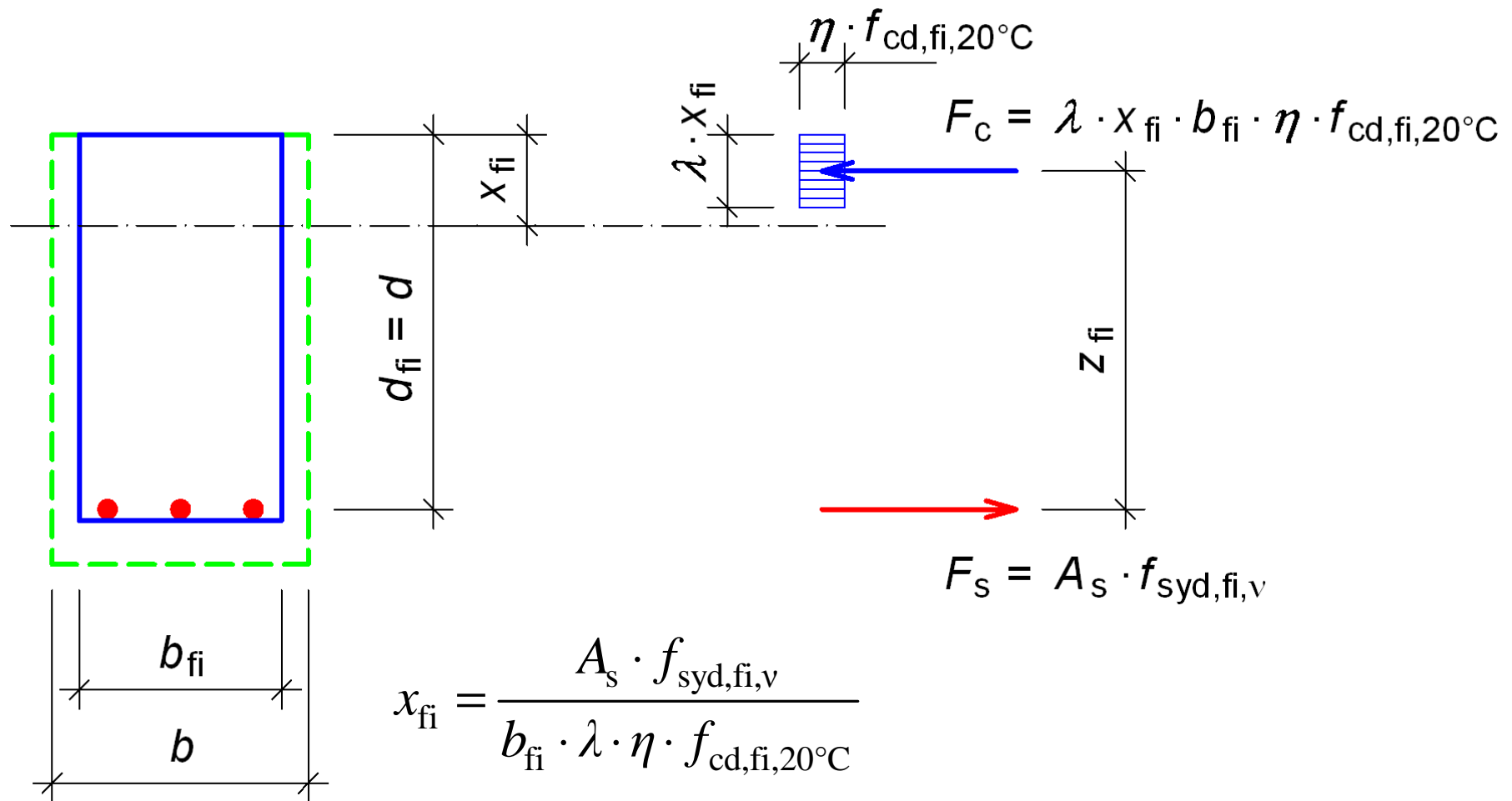
- 1 tahová výztuž válcovaná za tepla při poměrném přetvoření $\varepsilon_{s,fi} \geq 2 \%$
- 2 tahová výztuž tvářená za studena při poměrném přetvoření $\varepsilon_{s,fi} \geq 2 \%$
- 3 tlaková a tahová výztuž při poměrném přetvoření $\varepsilon_{s,fi} < 2 \%$

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 izotermy 500 °C:
 - odlišný způsob stanovení tloušťky vyloučené vrstvy betonu (pro metodu izotermy 500 °C označené jako a_{500} , pro zónovou metodu jako a_z)
 - kromě rozměrů průřezu a pevnosti výztuže se redukuje také pevnost betonu v redukovaném průřezu

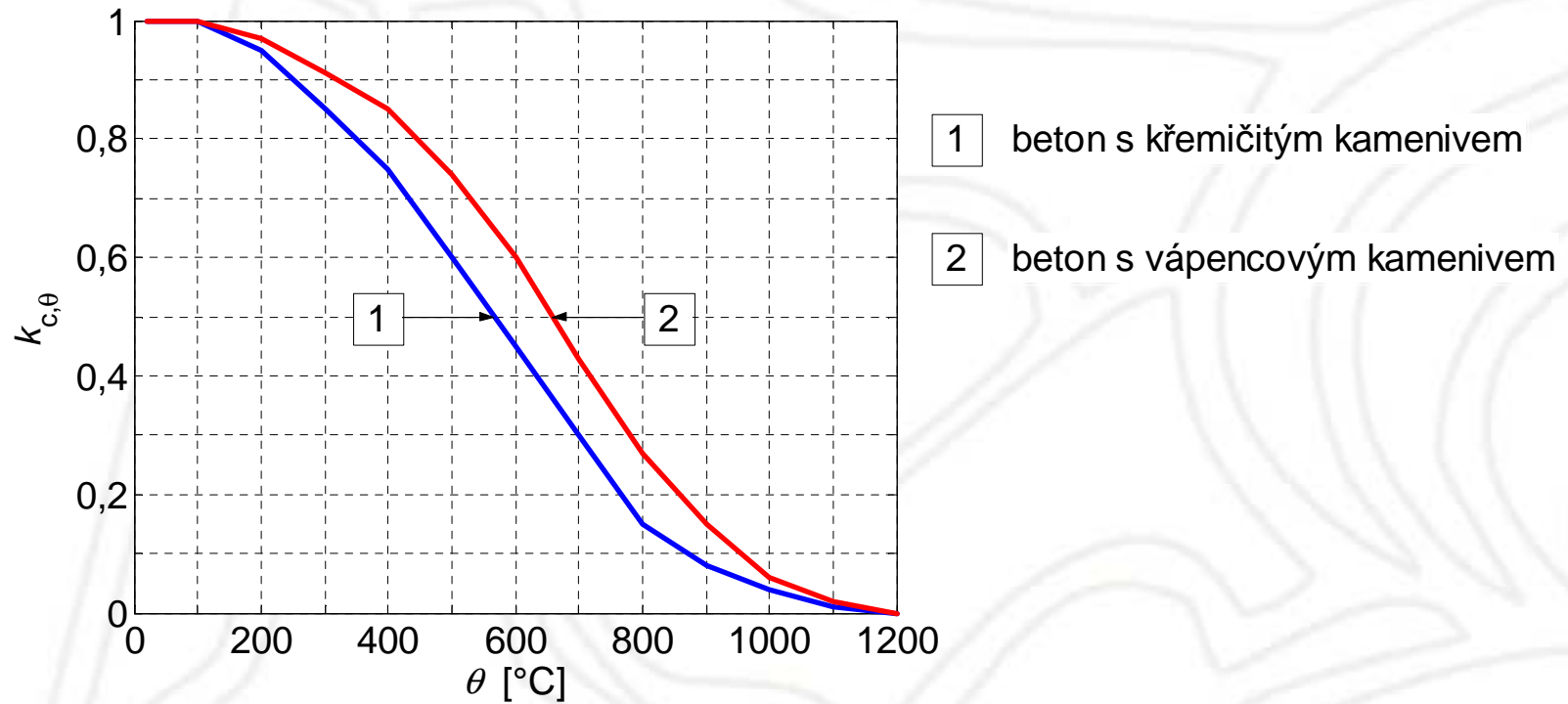
Zónová metoda

Postup výpočtu:

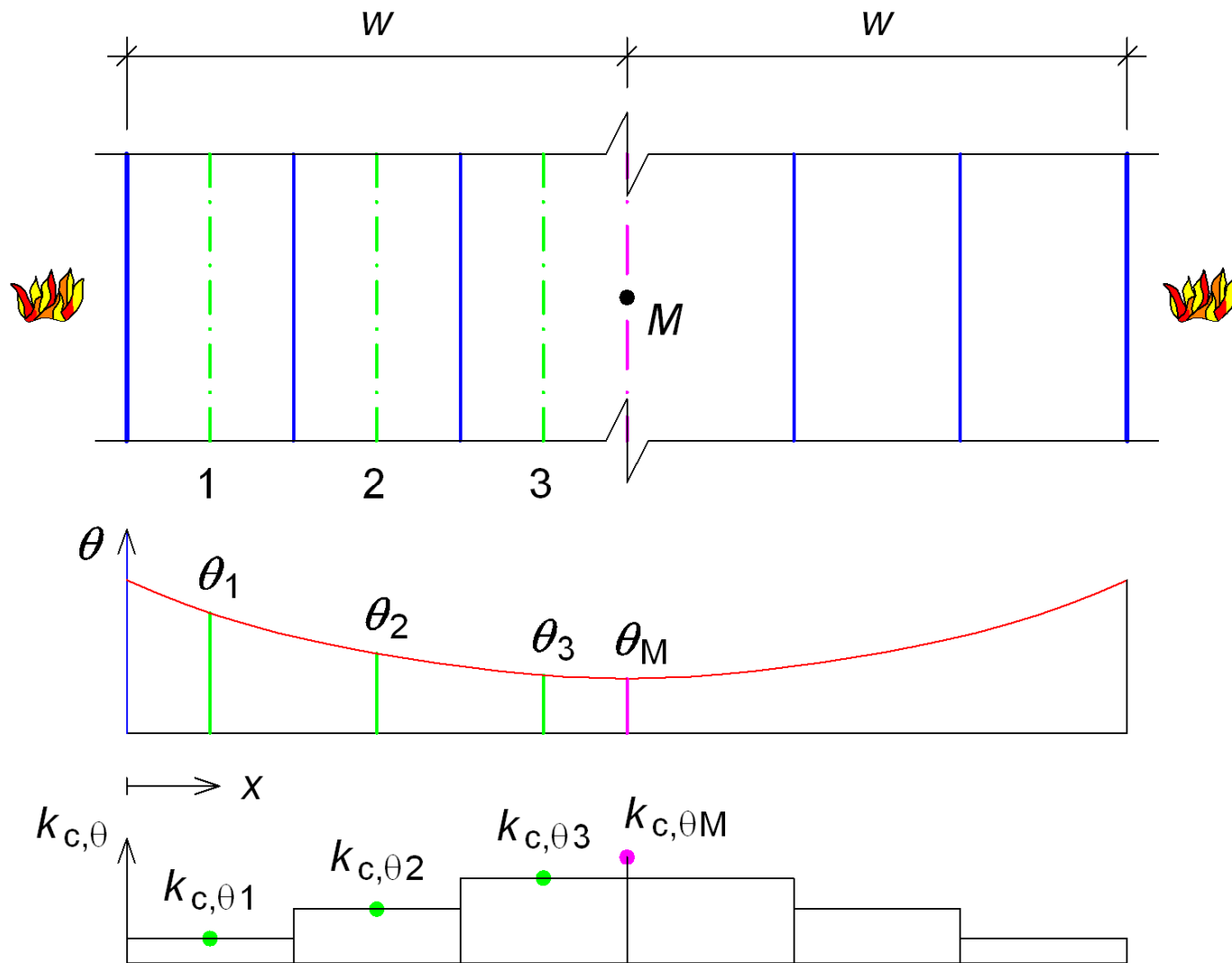
- Pro daný konstrukční prvek se stanoví charakteristická tloušťku w a poloha bodu M .
- Tloušťka w se rozdělí na n rovnoběžných zón o stejné tloušťce, kde $n \geq 3$.
- Stanoví se rozložení teploty v analyzovaném průřezu, určí se teploty θ_i ve středu každé zóny a teplota v bodě M .
- Pro každou zónu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

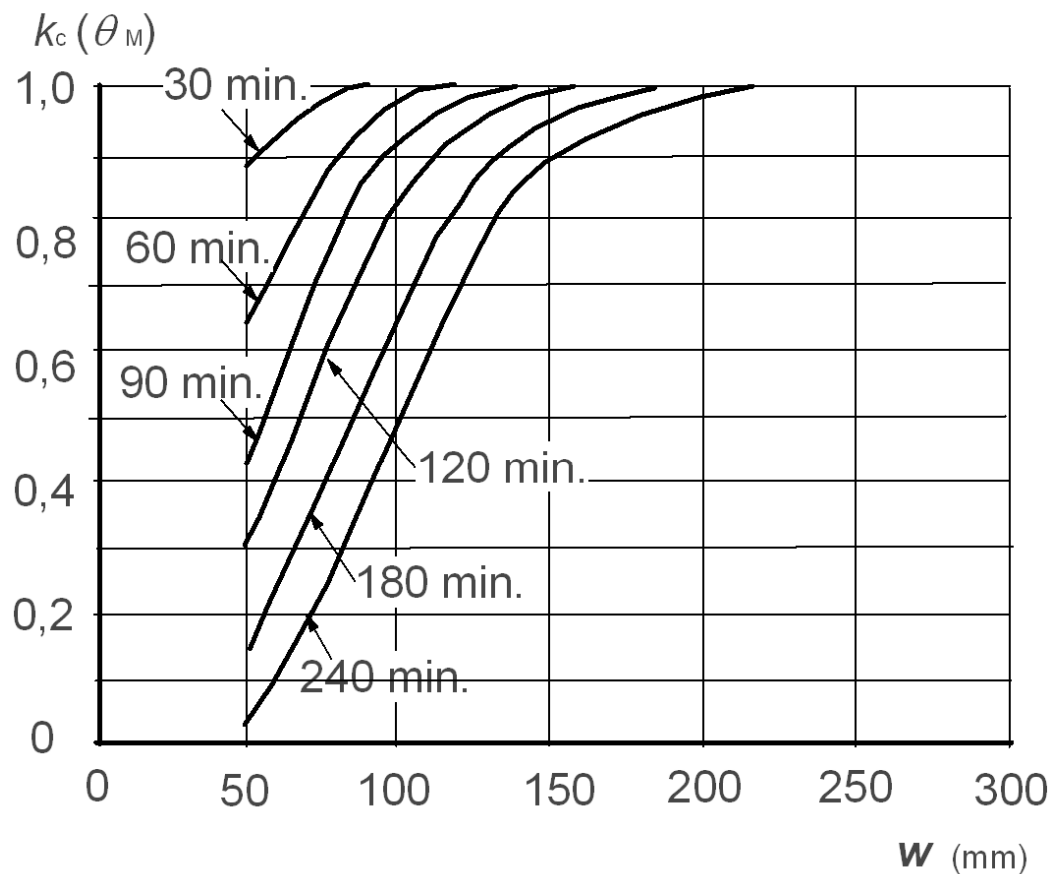
Postup výpočtu:

- 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

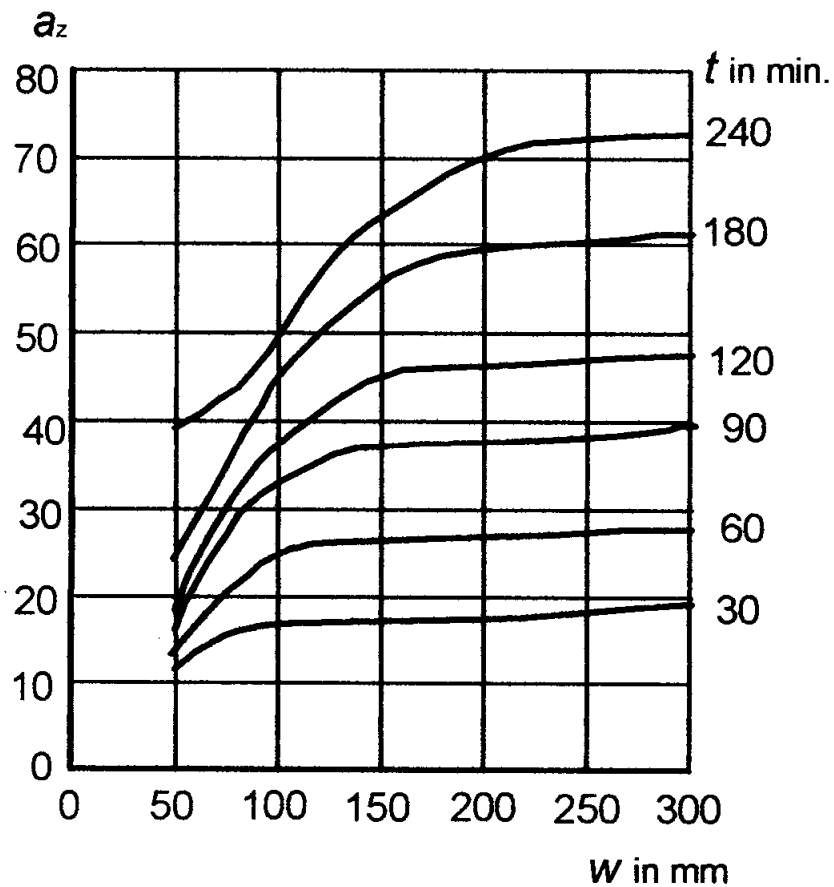
$$a_z = w \cdot \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_{c,\theta M}} \right)^{1,3} \right]$$



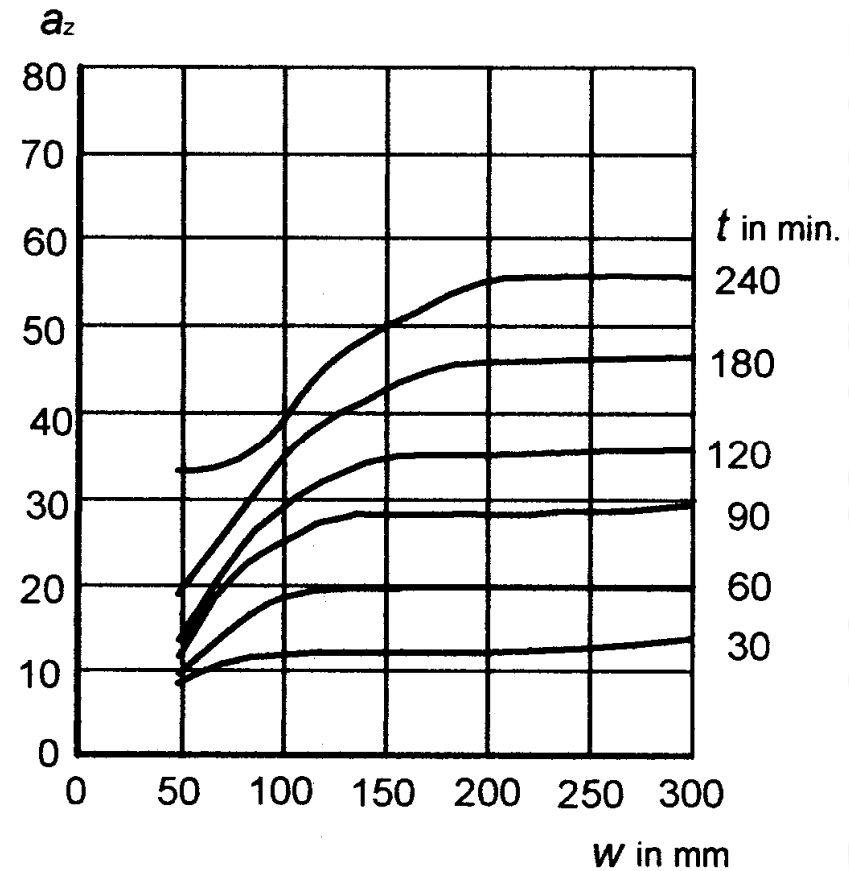
w je určeno jako:

- 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 redukovaný průřez z betonu s křemičitým kamenivem



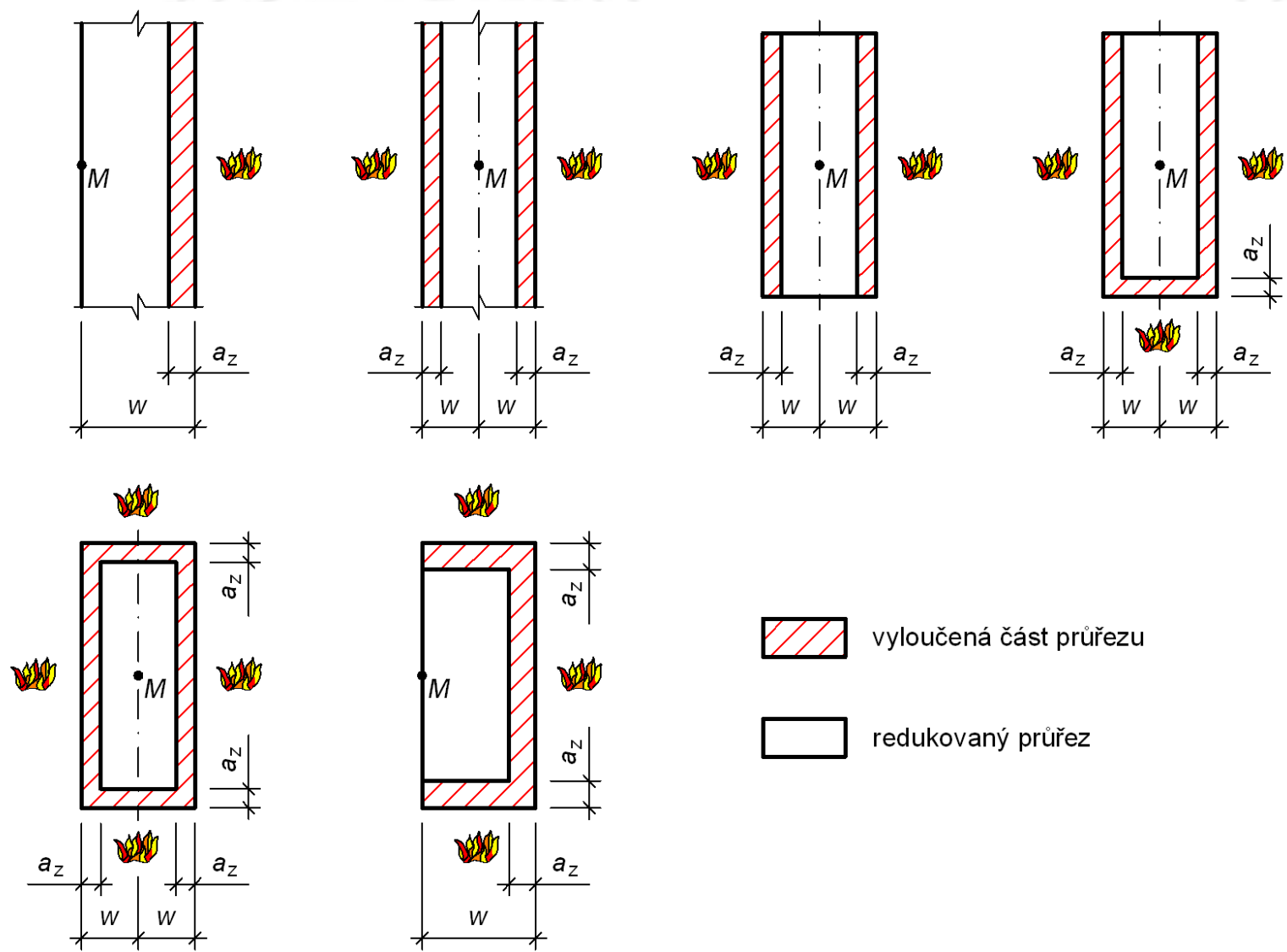
a) desky, nosníky



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 θ_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 θ_M

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

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

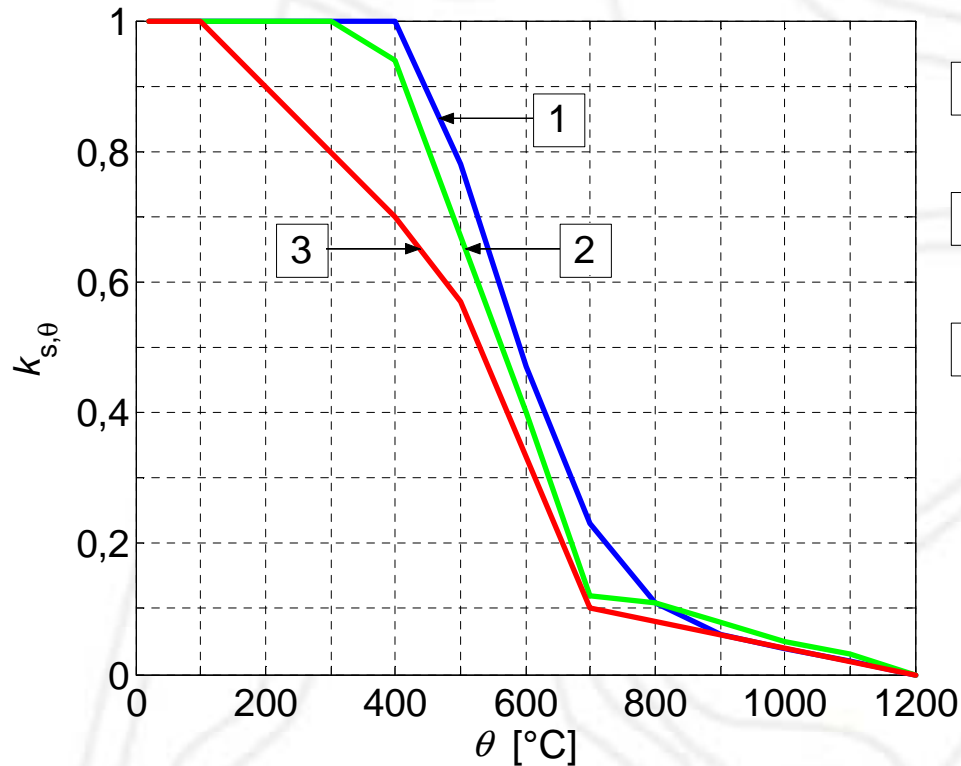
Zónová metoda

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.

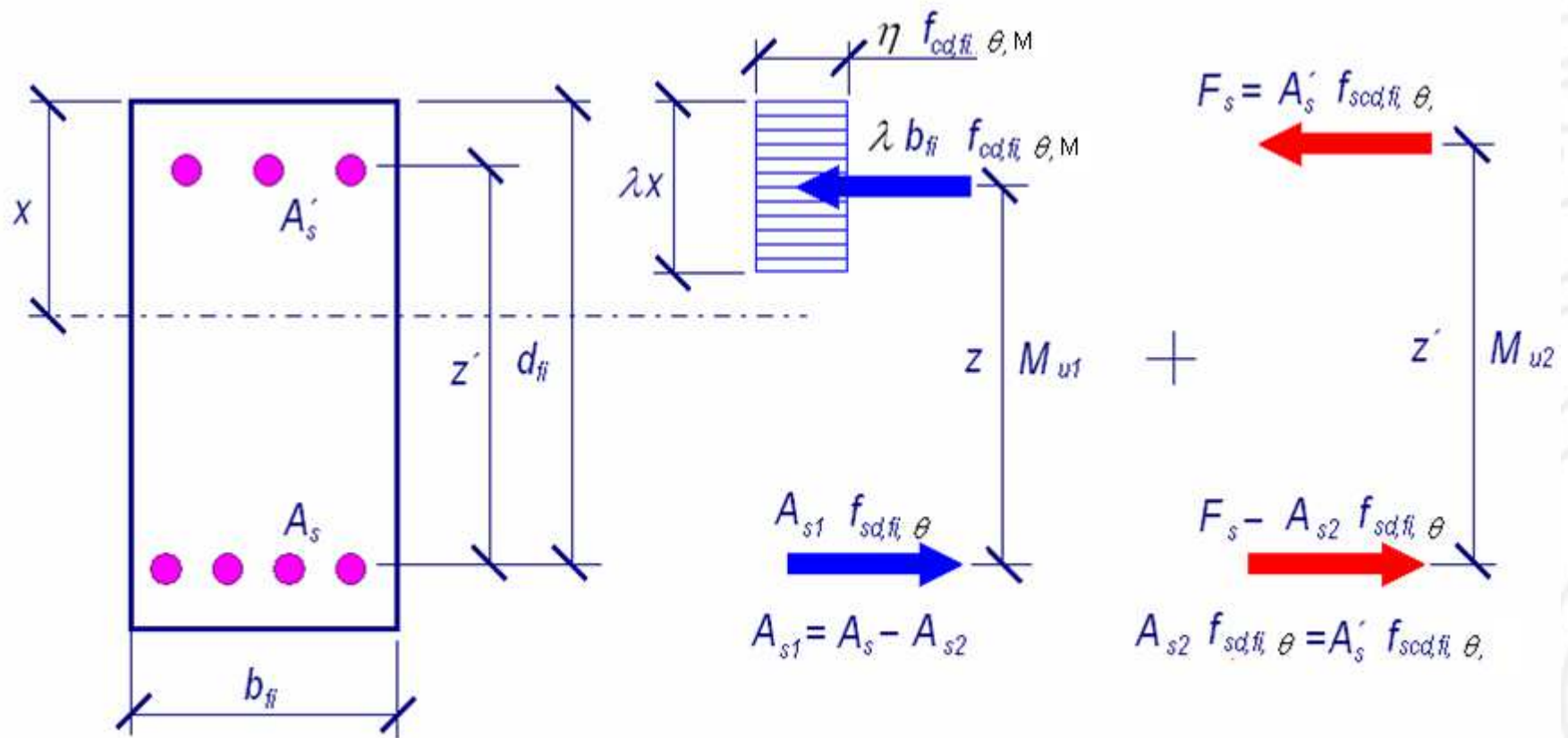
Zónová metoda

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 2012

Poslední úprava: 7.4.2015

Připomínky a návrhy na vylepšení prezentace zasílejte prosím na adresu radek.stefan@fsv.cvut.cz

Upozornění:

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