

Úvod do navrhování betonových konstrukcí na účinky požáru

**doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.
VUT FAST Brno**

**Přednášky z předmětu CL001
12/2017**

1. POŽÁRNÍ BEZPEČNOST STAVEB

Dle **ČSN 73 0802** – se požární bezpečností staveb rozumí schopnost stavebních objektů bránit ztrátám na životech a zdraví osob, popř. zvířat a ztrátám na majetku – požadavek směrnice **Rady 89/106/EHS**

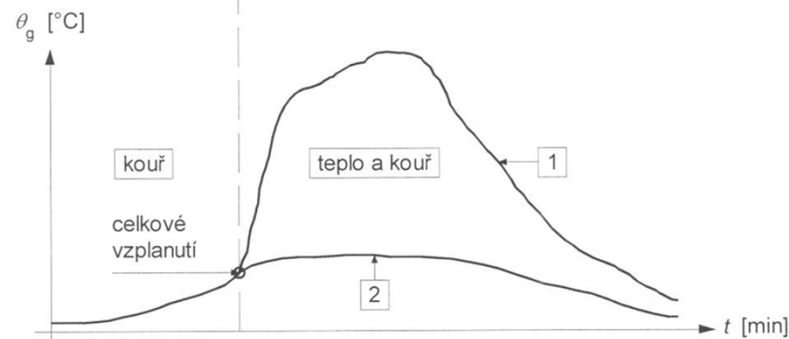
Rozděluje: aktivní a pasivní ochranu

Aktivní požární ochrana

- samočinná stabilní hasicí zařízení
- zařízení dálkového přenosu
- zařízení pro odvod kouře a tepla
- elektrická požární signalizace
- jednotky hasičského záchranného sboru

Pasivní požární ochrana

- dělení na požární úseky
- požární odolnost nosné konstrukce
- požární odolnost požárně dělicích konstrukcí
- požární odolnost obalových konstrukcí



- 1 teplota v požárním úseku při plně rozvinutém požáru v případě selhání aktivních protipožárních opatření
- 2 teplota v požárním úseku pro nerozvinutý požár při užití aktivních protipožárních opatření

Spolupráce projektantů:

- **Stavební části**
- **Požární bezpečnosti**
- **Statika**
- a dalších (VZT, elektro apod.)

1.1 POŽÁRNĚ BEZPEČNOSTNÍ ŘEŠENÍ

- Vychází se z podmínek **územního rozhodnutí** (výška stavby, umístění stavby, odstupové vzdálenosti, řešení příjezdových komunikací, nástupní plochy pro požární techniku, údajů o navržené technologii apod.
- PBR je nedílnou součástí **stavebního povolení** (rozdělení stavby do požárních úseků, stanovení požárního rizika, stanovení stupně požární bezpečnosti, posouzení velikosti požárních úseků, zhodnocení stavebních konstrukcí, požárních uzávěrů, zhodnocení navržených stavebních hmot, možnosti evakuace lidí, stanovení odstupových vzdáleností, zabezpečení stavby požární vodou, vymezení zásahových cest, stanovení počtu a druhu hasících přístrojů, apod.
- Zpracovávají se **výkresy požární bezpečnosti** (požární úseky, **požární odolnosti konstrukcí**, únikové cesty, vybavení požárně bezpečnostním zařízením, zdroj požární vody, atd.

1.2 POŽÁRNÍ ODOLNOST KONSTRUKCÍ

- Vychází se z požárně bezpečnostního řešení budovy.
- **Požární odolnost konstrukce je definována jako doba, po kterou je konstrukce schopna odolávat teplotám vznikajícím při požáru, aniž by došlo k porušení její funkce.**
- Normová požární odolnost – vztahuje se k normovým teplotním křivkám

R - kritérium únosnosti

E - kritérium celistvosti

I - kritérium izolační schopnosti

M – kritérium mechanické odolnosti

př. R60, R120

Požadavek se stanoví v závislosti na stupni požární bezpečnosti požárního úseku – **vyjadřuje schopnost konstrukce jako celku čelit požáru z hlediska rozšíření požáru a stability konstrukcí.**

1.2 POŽÁRNÍ ODOLNOST KONSTRUKCÍ

Stupeň bezpečnosti požárního úseku se stanoví podle:

- Výpočtového zatížení požárního úseku
- Druhu konstrukčního systému budovy (nehořlavý, smíšený, hořlavý) – ČSN 73 0802, kap.7, tab. 8 (DP1, DP2, DP3)
(DP1, DP2, DP3 – ČSN 73 0810 kap. 3.2 druh konstrukčních částí z hlediska hořlavosti).
- Požární výšky objektu, ve kterém se požární úsek nachází
- Požární odolnost lze stanovit výpočtem nebo zkouškami

1.2.1 VLASTNOSTI NECHRÁNĚNÝCH MATERIÁLŮ

| Nechráněný konstrukční materiál | Požární odolnost | Hořlavost | Přispívání k požárnímu zatížení | Rychlost šíření tepla v průřezu | Zabudovaná (přirozená) požární ochrana | Možnost opravy po požáru | Ochrana pro evakuaci a požární zásah |
|---------------------------------|------------------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|--|--------------------------|--------------------------------------|
| Dřevo | Nízká | Vysoká | Vysoké | Velmi nízká | Velmi nízká | Nulová | Nízká |
| Ocel | Velmi nízká | Nulová | Nulové | Velmi vysoká | Nízká | Nízká | Nízká |
| Beton | Vysoká | Nulová | Nulové | Nízká | Vysoká | Vysoká | Vysoká |

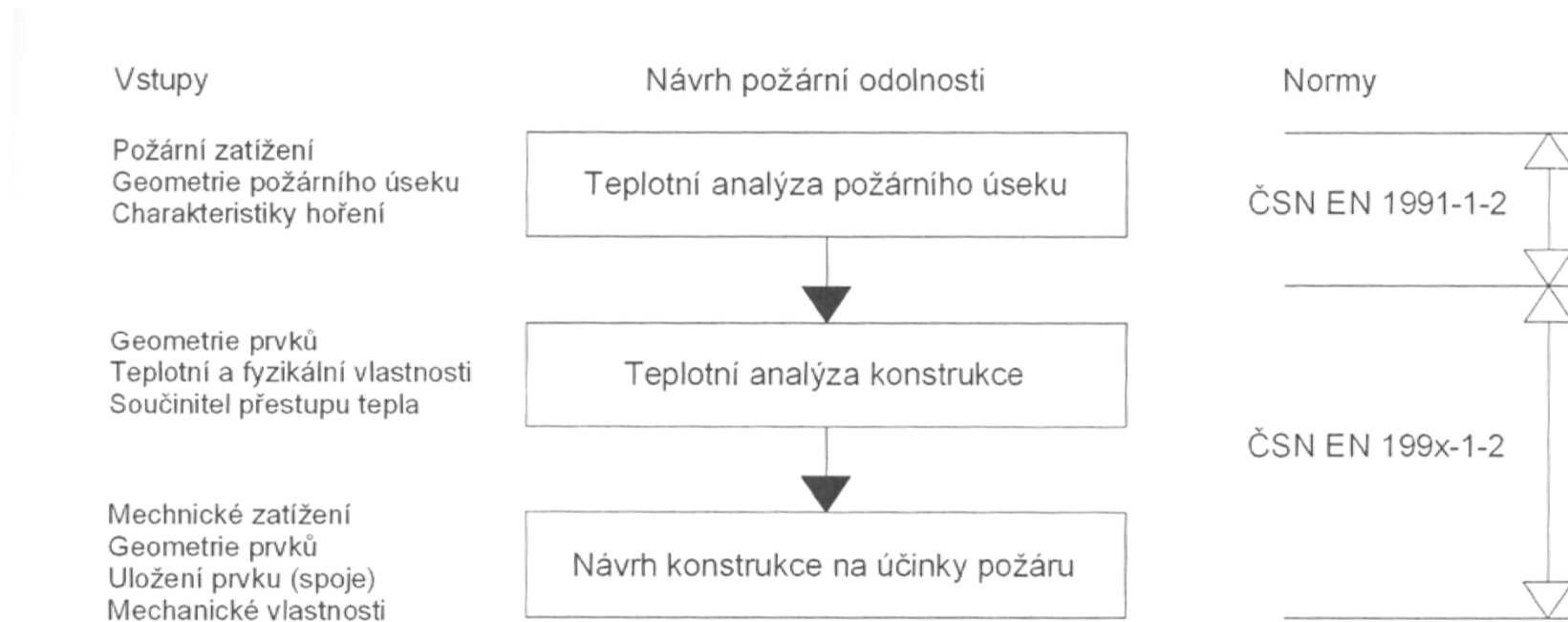
1.2.2 VLASTNOSTI NECHRÁNĚNÝCH MATERIÁLŮ

Použitím betonu na budovy a konstrukce se dosáhne výjimečného stupně ochrany a bezpečnosti při požáru:

- Beton nehoří a nepřispívá k požárnímu zatížení.
- Beton má vysokou požární odolnost a zabraňuje šíření požáru.
- Beton je účinnou požární clonou, vytváří bezpečné únikové cesty pro obyvatele a chrání zasahující požární jednotky.
- Beton při hoření neprodukuje kouř ani toxické plyny, což napomáhá ke snížení nebezpečí pro obyvatele.
- Při požáru z betonu neodkapávají roztavené části, které by mohly napomáhat šíření požáru.
- Beton omezuje rozsah požáru, a tak redukuje nebezpečí znečištění životního prostředí.
- Beton poskytuje požární ochranu sám o sobě – většinou nejsou třeba žádná doplňující opatření.
- Beton odolává extrémním požárním podmínkám, proto je ideální pro skladovací prostory s vysokým požárním zatížením.
- Pevnost a odolnost betonu usnadňuje požární zásah a redukuje nebezpečí zřícení konstrukce.
- Beton lze po požáru jednoduše opravit, což napomáhá rychlejšímu obnovení provozu.
- Beton není znehodnocen vodou použitou při hašení požáru.
- Betonové vozovky odolávají extrémním podmínkám vyskytujícím se při požárech v tunelech.

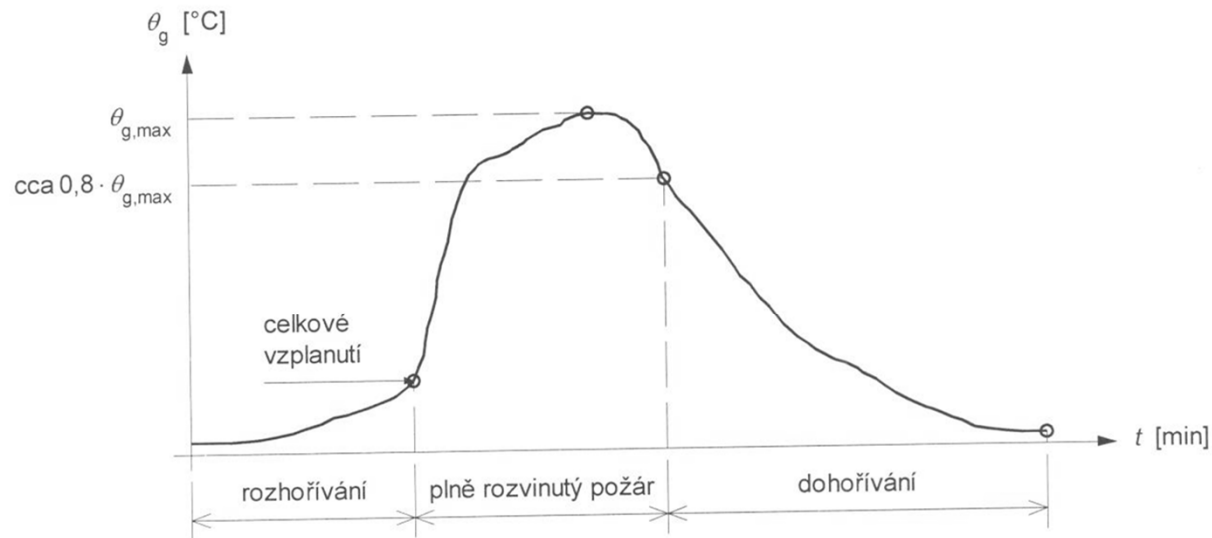
Jednoduchá volba – materiál sloužící mnoha způsoby.

1.3 POSTUP NÁVRHU NA ÚČINKY POŽÁRU



EN1992-1-2 Navrhování betonových konstrukcí –
Část 1-2: Obecná pravidla – **Navrhování konstrukcí na účinky požáru**

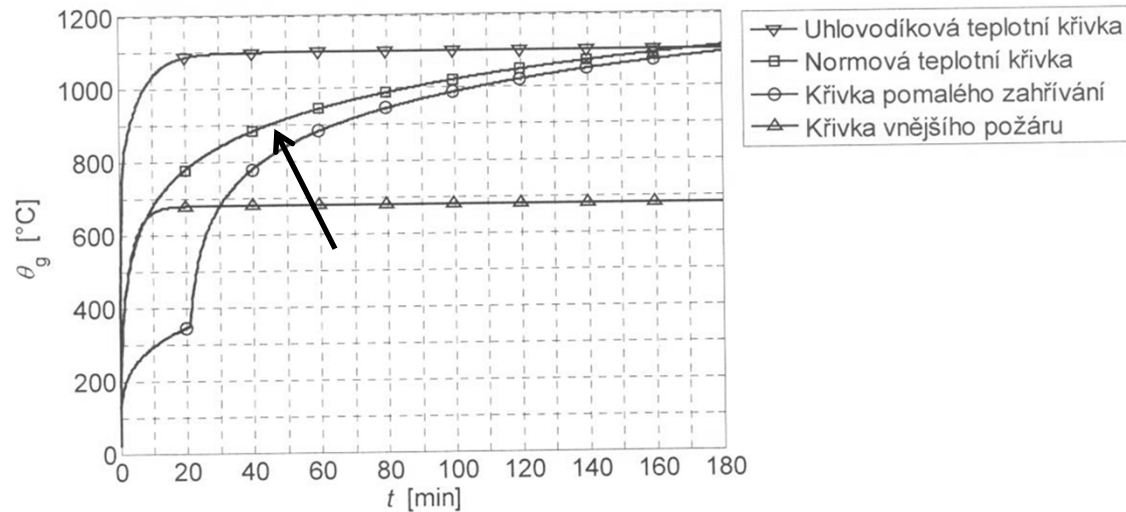
1.3.1 TEPLOTNÍ ANALÝZA POŽÁRNÍHO ÚSEKU



Obr. 1.2.2 Příklad teplotní křivky popisující skutečný průběh teploty plynů v požárním úseku, znázornění jednotlivých fází rozvoje požáru

Teplotní křivky popisující skutečný průběh teploty plynů v požárním úseku, znázornění fází rozvoje požáru.

1.3.1 TEPLOTNÍ ANALÝZA POŽÁRNÍHO ÚSEKU



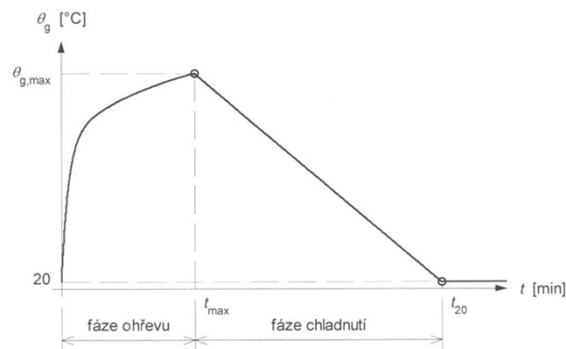
Nominální teplotní křivky:

- normová, odpovídá celulóзовému hoření,
- vnějšího požáru - vztahuje se k požárům na vnější líce stěn
- uhlovodíková – popisuje hoření ropy (simulace požáru garáží)
- pomalého zahřívání – modelování požáru v dutinách (podhledy, podlahy)

1.3.1 TEPLOTNÍ ANALÝZA POŽÁRNÍHO ÚSEKU

Místo nominálních křivek – lze použít **přirozené modely požáru**

- **Zjednodušené** modely požáru - parametrická teplotní křivka (do max. 500 m², vnitřní prvky).



- **Zpřesněné modely** požáru EN 1991-1-2

Jednozónový,

Dvouzónový

Výpočetní dynamické modely kapalin a plynů

1.3.2 TEPLOTNÍ ANALÝZA KONSTRUKCE

Při měnící se teplotě plynů v požárním úseku se bude měnit také rozložení teploty v konstrukcích – je třeba vyřešit **úlohu sdílení tepla neboli přenos energie**, který probíhá:

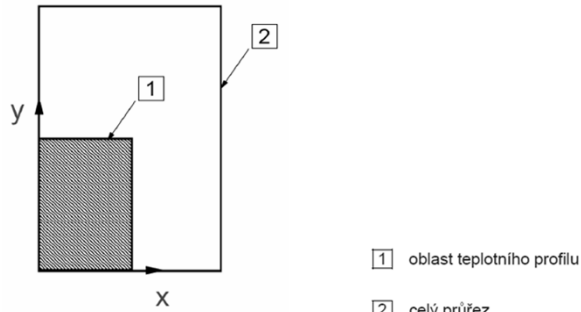
- Vedením (kondukcí) – parciální diferenciální rovnice
- Prouděním (konvencí)
- Sáláním (radiací)

Řešení numericky – např. program **TempAnalysis**

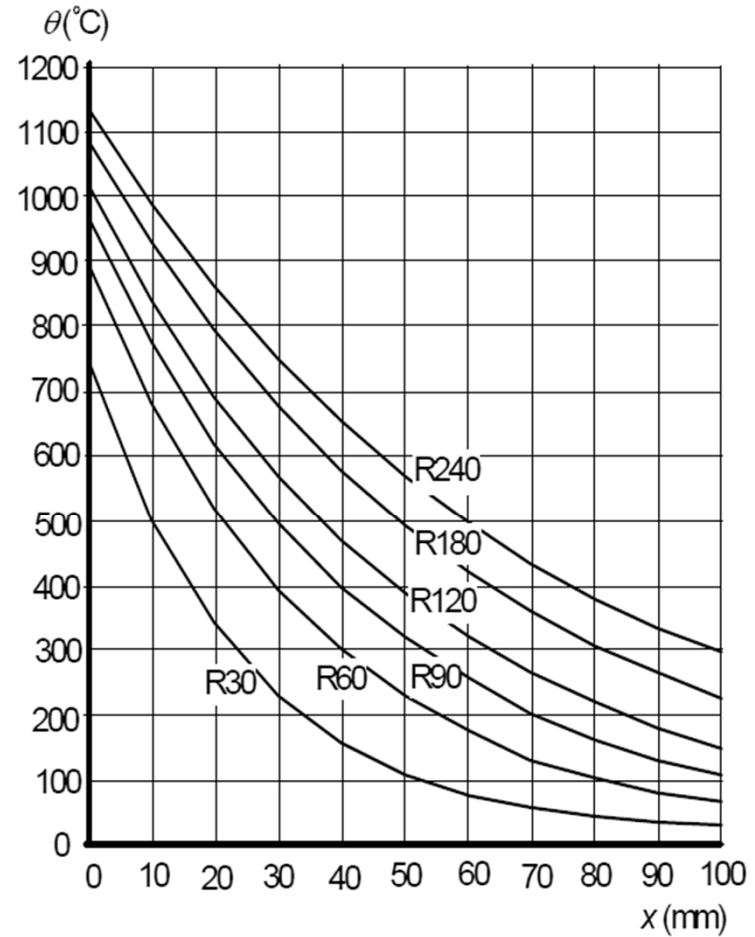
<http://people.fsv.cvut.cz/www/stefarad/software/ta/ta.cz.html>

nebo teplotní profily uvedené v normách

1.3.3 TEPLOTNÍ PROFILY



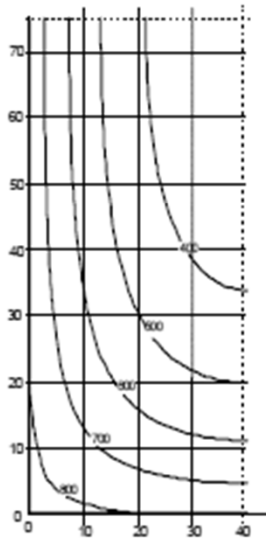
Desky
Nosníky
Sloupy – čtvercové, kruhové



x je vzdálenost od vystaveného povrchu

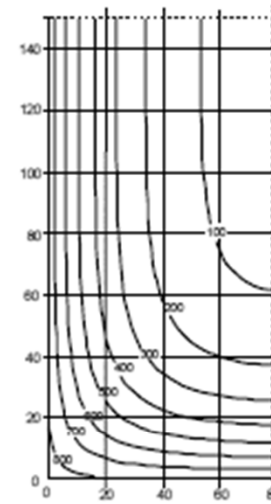
Obrázek A.2 – Teplotní profily pro desky (výška $h = 200$) pro R 60 až R 240

1.3.3. TEPLOTNÍ PROFILY

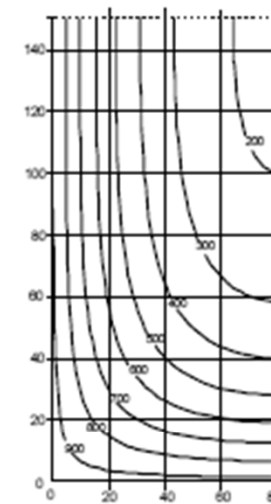


Obrázek A.3 – Teplotní profily (°C) pro nosník, $h \times b = 150 \times 80$ – R 30

A jiné profily - viz norma

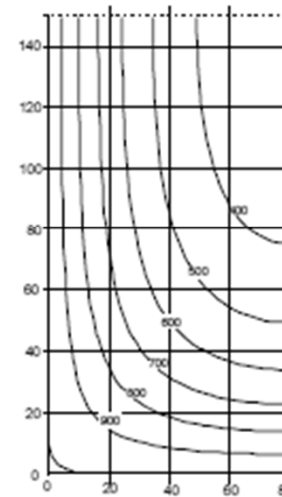


a) R 30



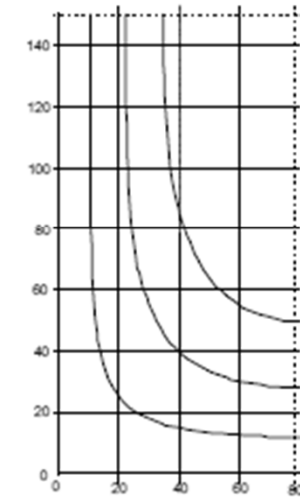
b) R 60

Obrázek A.4 – Teplotní profily (°C) pro nosník, $h \times b = 300 \times 160$



a) R 90

Obrázek A.5 – Teplotní profily (°C) pro nosník, $h \times b = 300 \times 160$



Obrázek A.6 – Izoterma 500 °C pro nosník, $h \times b = 300 \times 160$

1.3.4 MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI

Pro mechanické vlastnosti: $X_{d,fi} = k_{\theta} \cdot X_k / \gamma_{M,fi}$

Pro teplotní vlastnosti:

$$X_{d,fi} = X_{k,\theta} / \gamma_{M,fi}$$

Je-li - zvýšení hodnoty na straně bezpečnosti

$$X_{d,fi} = X_{k,\theta} \cdot \gamma_{M,fi}$$

Je-li - zvýšení hodnoty na straně nepříznivé

Pro beton, betonářskou a předpínací výztuž $\gamma_{M,fi} = 1,0$

1.3.5 ZATÍŽENÍ PŘI POŽÁRNÍ SITUACI

Uvažuje se mimořádná návrhová situace dle EN 1990

$$E_d = E\{G_{k,j}, P, A_d, [\psi_{1,1} \text{ nebo } \psi_{2,1}] Q_{k,1}, \psi_{2,1} Q_{k,i}\}$$

V ČR obvykle $\psi_{2,1}$, u hal se doporučuje $\psi_{1,1}$

A_d - mimořádné namáhání v důsledku teplotního namáhání (rovnoměrné a nerovnoměrné ohřátí konstrukce) $A_d=0$ – staticky určité kce.

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

k rovnici 6.10 je redukční souč.:

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

Konzervativně lze pro betonové konstrukce $\eta_{fi} = 0,7$, pro zděné konstrukce $\eta_{fi} = 0,65$ (s výjimkou kat. E, $\eta_{fi} = 0,7$).

1.3.6 PODMÍNKY SPOLEHLIVOSTI

z hlediska času

$t_{d,fi} \geq t_{fi,req}$ -návrhová doba \geq požadovaná doba požární odolnosti

nebo z hlediska únosnosti

$R_{d,fi,t} \geq E_{d,fi,t}$ -návrhová hodnota únosnosti \geq návrhová hodnota zatížení při požární situaci

nebo z hlediska teploty

$\theta_d \leq \theta_{d,cr}$ -návrhová hodnota teploty materiálu \leq návrhová hodnota kritické teploty

1.3.6 PODMÍNKY SPOLEHLIVOSTI

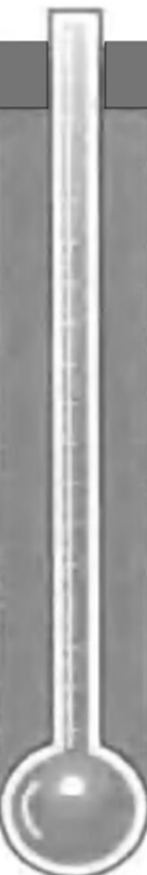
Při nominálním požáru:

- **Kritérium R** (únosnost) je splněné pokud je nosná funkce zachována během požadované doby vystavení účinkům požáru.

- **Kritérium I** (izolační schopnosti) je splněné pokud je průměrný vzrůst teploty na celém odvráceném povrchu je omezen na **140K** a maximální vzrůst teploty na kterémkoliv místě tohoto povrchu nepřekročí 180K.

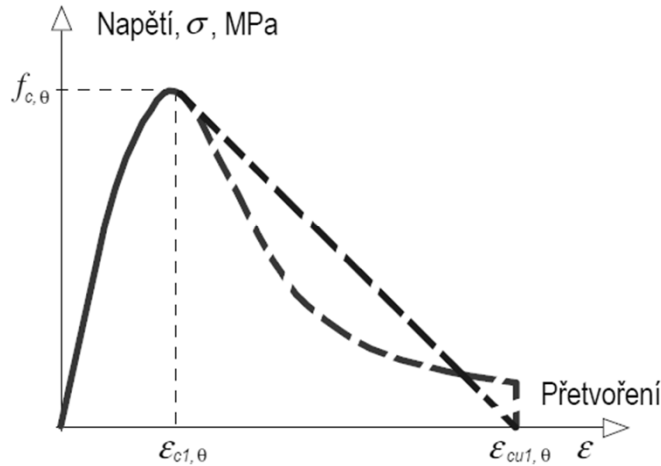
- **Kritérium E** (celistvosti) je splněné pokud je zabráněno průniku plamenů a horkých plynů dělicími prvky.

2. BETONOVÉ KONSTRUKCE



| Teplota (°C) | Důsledek |
|--------------|--|
| 1000 | |
| 900 | Teplota plynů při požáru dosahuje této úrovně jen zřídka, avšak teplota vlastních plamenů může dosáhnout i více než 1200 °C. |
| 800 | |
| 700 | |
| 600 | Po dosažení této teploty již beton nevykazuje svou plnou únosnost. |
| 550–600 | Materiály na bázi cementu zaznamenávají značné deformace (creep) a ztrácejí svou pevnost. |
| 400 | |
| 300 | Začíná se snižovat pevnost. Ve skutečnosti je tato teplota dosažena jen v prvních několika centimetrech od líce vystaveného požáru, uvnitř průřezu je teplota nižší. |
| 250–420 | Může nastat odštěpování (odprýskávání), při kterém dochází k odpadávání částí betonu z povrchu prvku. |

2.1 MECHANICKÉ VLASTNOSTI BETONU

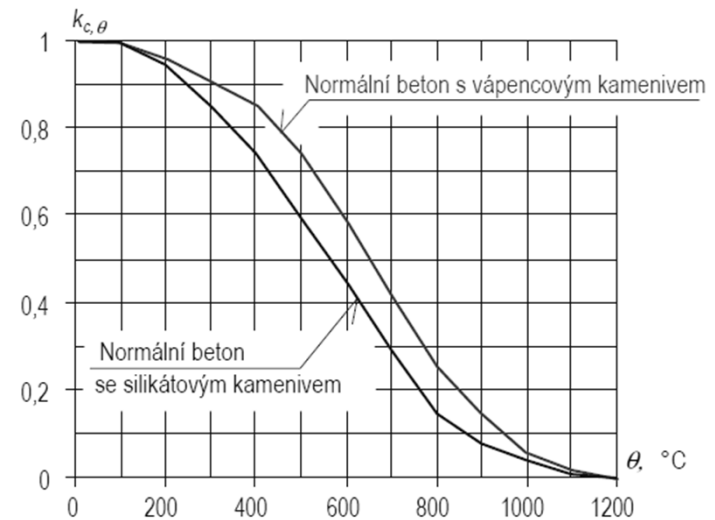


| Oblast | Napětí $\sigma(\theta)$ |
|---|--|
| $\varepsilon \leq \varepsilon_{c1,\theta}$ | $\frac{3 \varepsilon f_{c,\theta}}{\varepsilon_{c1,\theta} \left(2 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c1,\theta}} \right)^3 \right)}$ |
| $\varepsilon_{c1,\theta} < \varepsilon \leq \varepsilon_{cu1,\theta}$ | možná náhrada přímkou |

Pracovní diagram betonu při zvýšené teplotě

$$f_{ck,\theta} = k_{c,\theta} \cdot f_{ck}$$

Pevnost v tahu se obvykle zanedbává

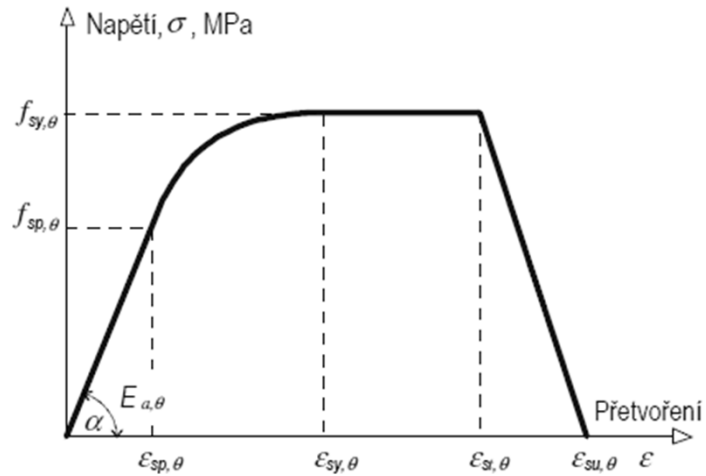


2.1 MECHANICKÉ VLASTNOSTI BETONU

Tabulka 3.1 – Hodnoty hlavních parametrů pracovního diagramu obyčejného betonu s křemičitým nebo vápencovým kamenivem při zvýšených teplotách

| Beton teplota θ [°C] | Křemičité kamenivo | | | Vápencové kamenivo | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| | $f_{c,\theta} / f_{ck}$ [-] | $\varepsilon_{c1,\theta}$ [-] | $\varepsilon_{cu1,\theta}$ [-] | $f_{c,\theta} / f_{ck}$ [-] | $\varepsilon_{c1,\theta}$ [-] | $\varepsilon_{cu1,\theta}$ [-] |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 20 | 1,00 | 0,0025 | 0,0200 | 1,00 | 0,0025 | 0,0200 |
| 100 | 1,00 | 0,0040 | 0,0225 | 1,00 | 0,0040 | 0,0225 |
| 200 | 0,95 | 0,0055 | 0,0250 | 0,97 | 0,0055 | 0,0250 |
| 300 | 0,85 | 0,0070 | 0,0275 | 0,91 | 0,0070 | 0,0275 |
| 400 | 0,75 | 0,0100 | 0,0300 | 0,85 | 0,0100 | 0,0300 |
| 500 | 0,60 | 0,0150 | 0,0325 | 0,74 | 0,0150 | 0,0325 |
| 600 | 0,45 | 0,0250 | 0,0350 | 0,60 | 0,0250 | 0,0350 |
| 700 | 0,30 | 0,0250 | 0,0375 | 0,43 | 0,0250 | 0,0375 |
| 800 | 0,15 | 0,0250 | 0,0400 | 0,27 | 0,0250 | 0,0400 |
| 900 | 0,08 | 0,0250 | 0,0425 | 0,15 | 0,0250 | 0,0425 |
| 1 000 | 0,04 | 0,0250 | 0,0450 | 0,06 | 0,0250 | 0,0450 |
| 1 100 | 0,01 | 0,0250 | 0,0475 | 0,02 | 0,0250 | 0,0475 |
| 1 200 | 0,00 | - | - | 0,00 | - | - |

2.2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI VÝZTUŽE



Pracovní diagram výztuže při zvýšené teplotě

| Oblast | Napětí $\sigma(\theta)$ | Modul pružnosti |
|---|---|---|
| $\varepsilon_{sp,\theta}$ | $\varepsilon E_{s,\theta}$ | $E_{s,\theta}$ |
| $\varepsilon_{sp,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{sy,\theta}$ | $f_{sp,\theta} - c + (b/a)[a^2 - (\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon)^2]^{0,5}$ | $\frac{b(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon)}{a[a^2 - (\varepsilon - \varepsilon_{sy,\theta})^2]^{0,5}}$ |
| $\varepsilon_{sy,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{st,\theta}$ | $f_{sy,\theta}$ | 0 |
| $\varepsilon_{st,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{su,\theta}$ | $f_{sy,\theta} [1 - (\varepsilon - \varepsilon_{st,\theta}) / (\varepsilon_{su,\theta} - \varepsilon_{st,\theta})]$ | - |
| $\varepsilon = \varepsilon_{su,\theta}$ | 0,00 | - |
| parametr ^{*)} | $\varepsilon_{sp,\theta} = f_{sp,\theta} / E_{s,\theta}$ $\varepsilon_{sy,\theta} = 0,02$ $\varepsilon_{st,\theta} = 0,15$ $\varepsilon_{su,\theta} = 0,20$ výztuž třídy A: $\varepsilon_{st,\theta} = 0,05$ $\varepsilon_{su,\theta} = 0,10$ | |
| funkce | $a^2 = (\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta} + c/E_{s,\theta})$ $b^2 = c(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})E_{s,\theta} + c^2$ $c = \frac{(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})^2}{(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})E_{s,\theta} - 2(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})}$ | |
| ^{*)} Hodnoty parametrů $\varepsilon_{st,\theta}$ a $\varepsilon_{su,\theta}$ pro předpínací výztuž lze brát z tabulky 3.3. Výztuž třídy A je definována v příloze C EN 1992-1-1. | | |

Obrázek 3.3 – Matematický model pro pracovní diagram betonářské a předpínací oceli při zvýšených teplotách (pro předpínací ocel se index „s“ zamění za index „p“)

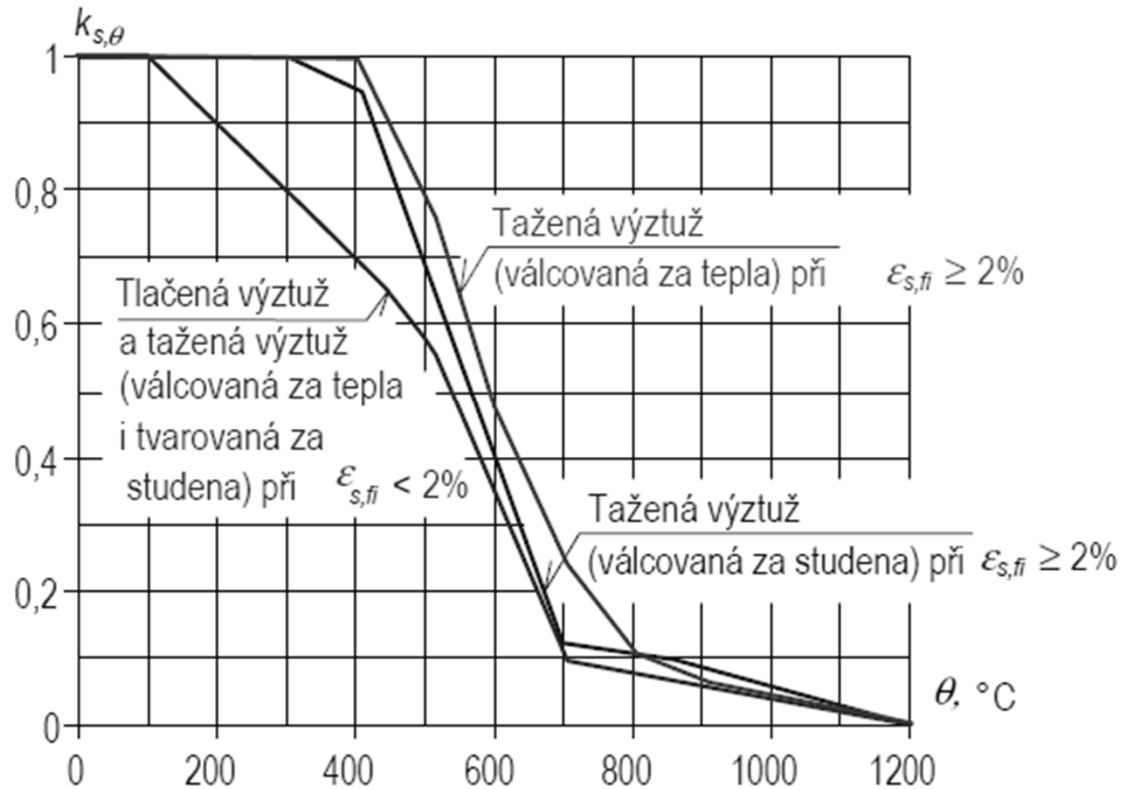
2.2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI VÝZTUŽE

Tabulka 3.2a – Třída N hodnot parametrů pracovního diagramu betonářské oceli válcované za tepla a tvářené za studena při zvýšených teplotách

| Teplota oceli θ [°C] | $f_{sy,\theta} / f_{yk}$ | | $f_{sp,\theta} / f_{yk}$ | | $E_{s,\theta} / E_s$ | |
|--------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | válcované za tepla | tvářené za studena | válcované za tepla | tvářené za studena | válcované za tepla | tvářené za studena |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 100 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,96 | 1,00 | 1,00 |
| 200 | 1,00 | 1,00 | 0,81 | 0,92 | 0,90 | 0,87 |
| 300 | 1,00 | 1,00 | 0,61 | 0,81 | 0,80 | 0,72 |
| 400 | 1,00 | 0,94 | 0,42 | 0,63 | 0,70 | 0,56 |
| 500 | 0,78 | 0,67 | 0,36 | 0,44 | 0,60 | 0,40 |
| 600 | 0,47 | 0,40 | 0,18 | 0,26 | 0,31 | 0,24 |
| 700 | 0,23 | 0,12 | 0,07 | 0,08 | 0,13 | 0,08 |
| 800 | 0,11 | 0,11 | 0,05 | 0,06 | 0,09 | 0,06 |
| 900 | 0,06 | 0,08 | 0,04 | 0,05 | 0,07 | 0,05 |
| 1 000 | 0,04 | 0,05 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,03 |
| 1 100 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| 1 200 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

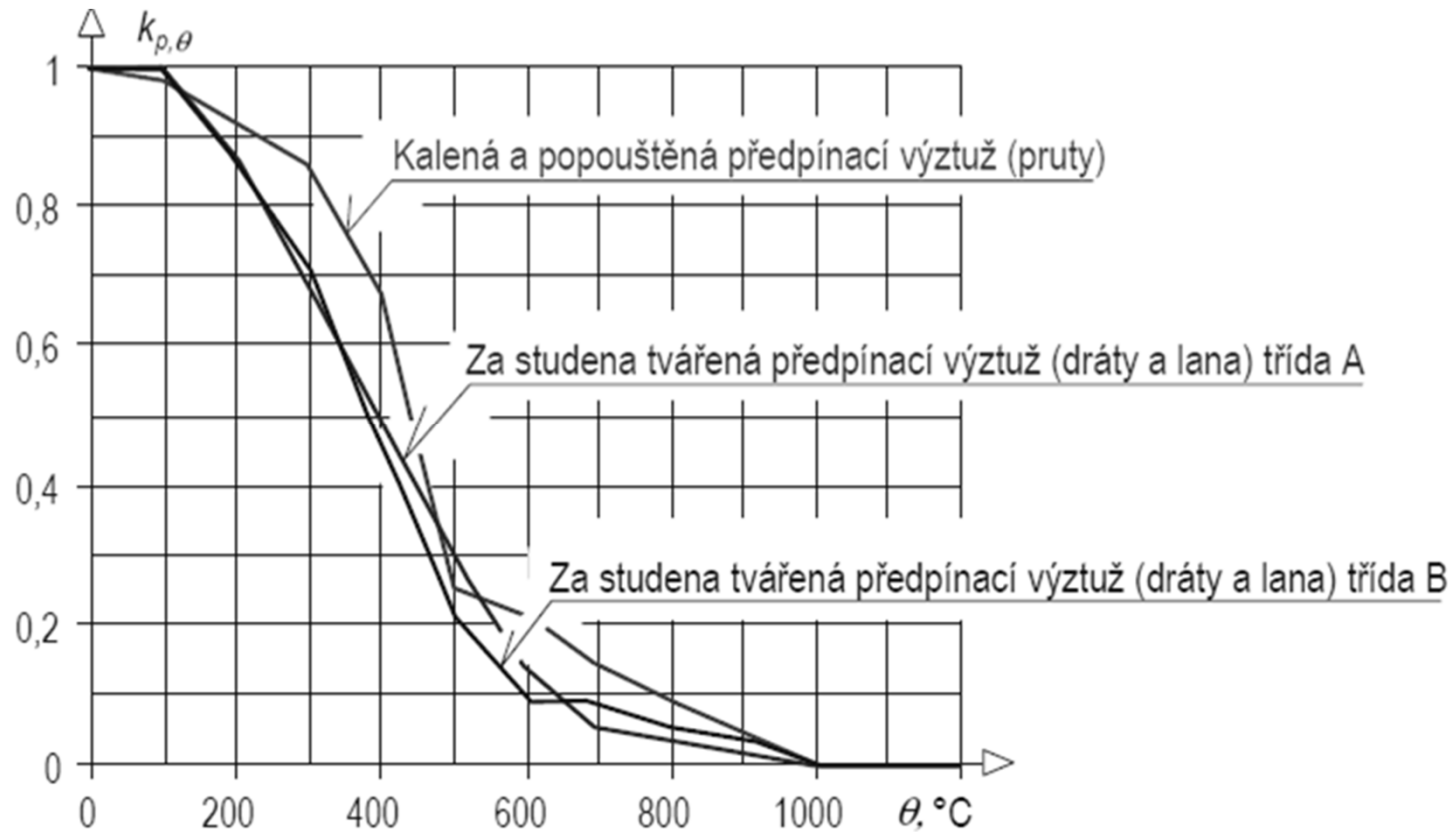
Obdobná tabulka pro předpínací výztuž – viz norma

2.2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI VÝZTUŽE



Součinitel $k_{s,\theta}$ pro redukci charakteristické hodnoty meze kluzu f_{yk}

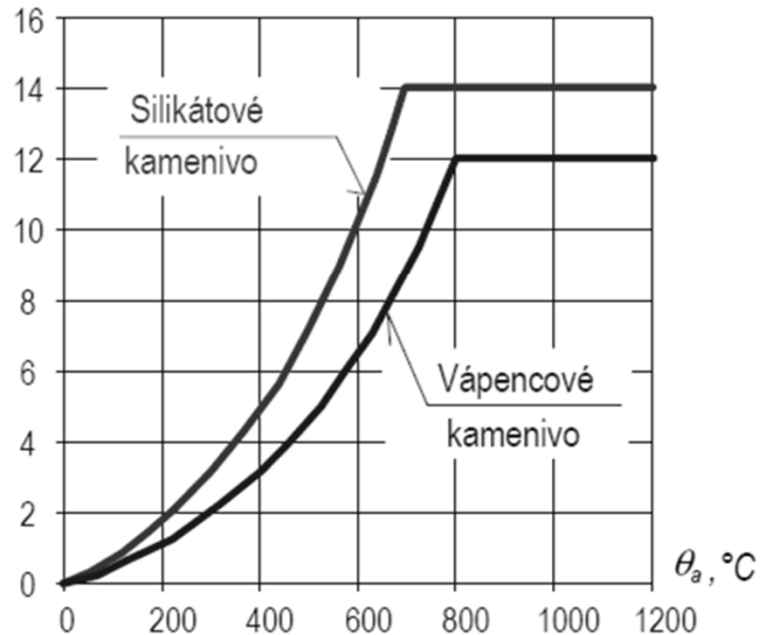
2.2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI VÝZTUŽE



Součinitel $k_{p,\theta}$ pro redukci charakteristické pevnosti βf_{pk}

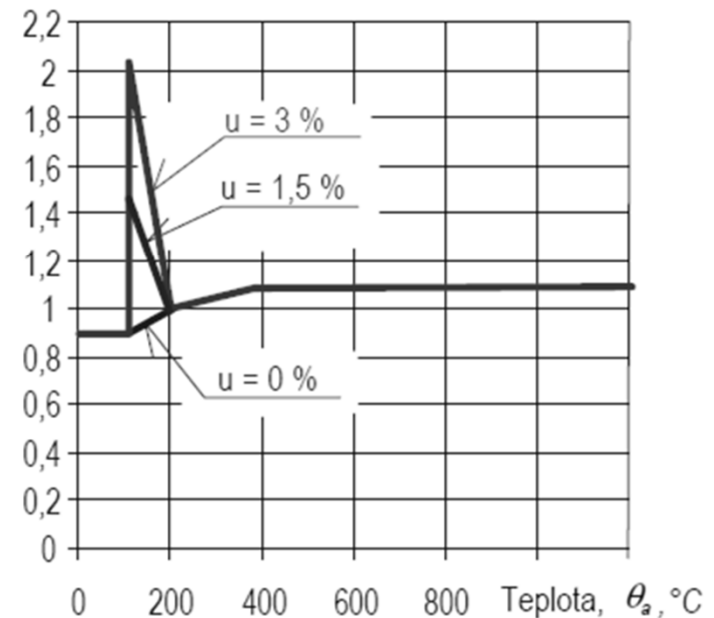
2.3 TEPLOTNÍ A FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI

Teplotní roztažnost betonu $(\Delta l / l)_c \cdot 10^3$



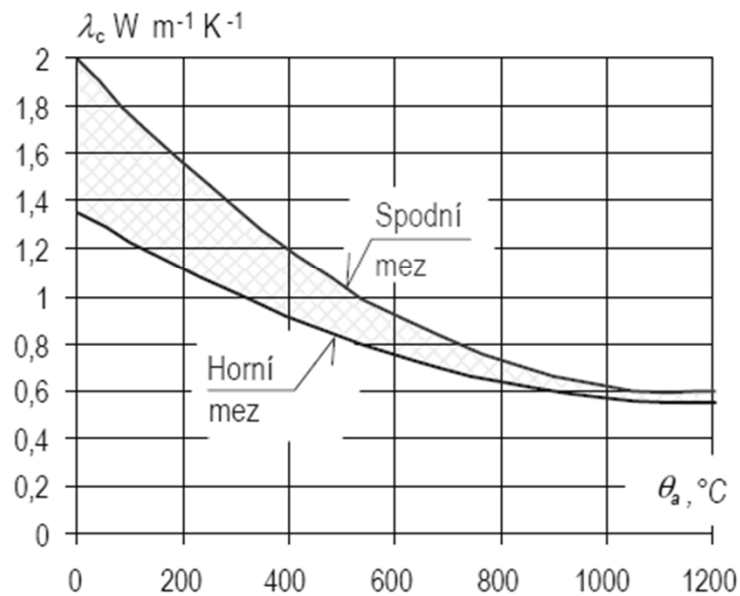
Teplotní roztažnost betonu

Měrné teplo betonu, $c_{p,\theta}$, J kg⁻¹K⁻¹

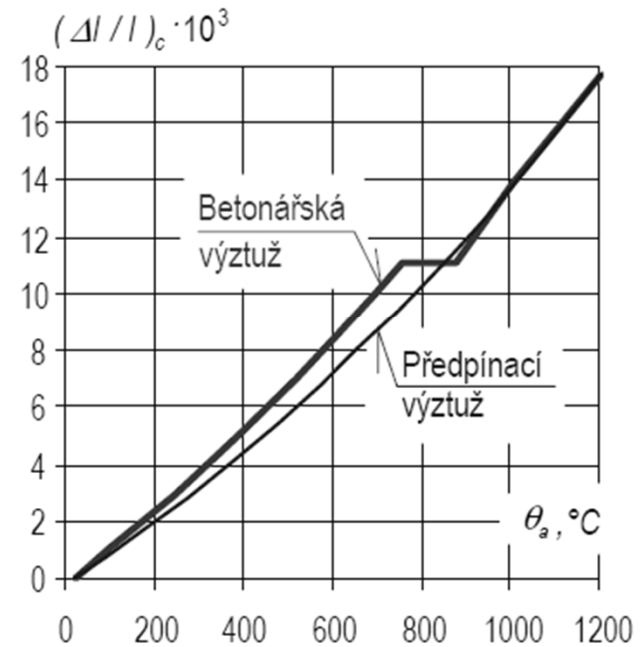


Specifické teplo betonu při různé vlhkosti μ

2.3 TEPLOTNÍ A FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI



Teplotní vodivost betonu λ_c

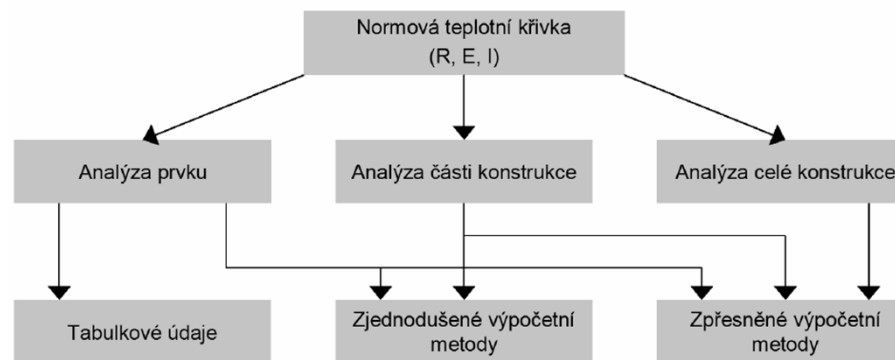


Teplotní roztažnost oceli

2.4 NÁVRHOVÉ METODY

EN 1992-1-2 – návrhové přístupy

- Podle osvědčených návrhových řešení (**tabulkové hodnoty** nebo výsledky zkoušek)
- Pomocí **zjednodušených výpočetních** metod pro určité typy prvků.
- Pomocí **zpřesněných výpočetních metod**, umožňující vystižení chování nosných prvků a konstrukcí nebo jejich částí.



2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY

- Dle EN 1992-1-2
- Platnost je omezena **různými doplňujícími podmínkami** (např. omezení redistribuce momentů apod., viz dále).
- Tabulky sestaveny na **základě zkoušek** – tabulky mohou být konzervativní.
- Tabulkové hodnoty odpovídají ohřevu prvku dle **normovému požáru**, tj. odpovídají normové požární odolnosti.
- Platí pro prvky z obyčejného betonu ($2000\text{-}2600\text{kg/m}^3$).
- Redukce min. rozměrů průřezů o 10 % u nosníků a desek z vápencového nebo lehkého kameniva.
- Splňuje-li prvek tabulkové požadavky, není nutné provádět další posouzení (ve smyku, kroucení, kotvení výztuže apod.)

2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY

- Je-li vzdálenost nosné výztuže od líce průřezu více jak 70 mm, musí se zohlednit požadavky na povrchovou výztuž (sít' $\phi 4$ oka max. 100/100 – zamezení odpadávání betonu).
- **Nosná funkce R je zajištěna:**
 - **tabulkové požadavky na min. rozměry průřezu prvku (h_{min} , t_{min} , b_{min} , $b_{w,min}$)**
 - **osová vzdálenost výztuže od nejbližšího líce průřezu vystavenému požáru (a_{min}).**
- Požárně dělicí funkce **E, I je zajištěna**, pokud je tloušťka prvku větší nebo rovna **požadované min. tloušťce**.
- Mezi tabulkovými hodnotami lze interpolovat.

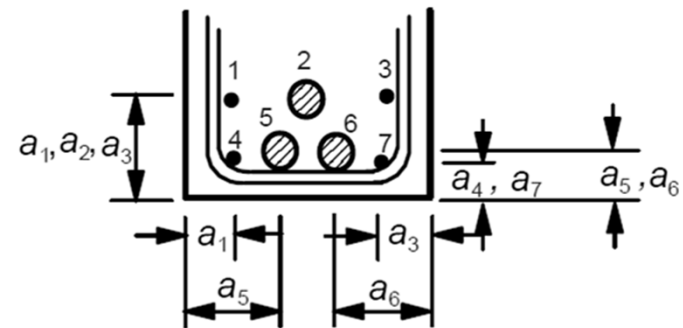
2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY

Je-li výztuž ve více vrstvách - stanoví se průměrná vzdálenost a_m od líce prvku

$$a_m = \frac{A_{s1}a_1 + A_{s2}a_2 + \dots + A_{sn}a_n}{A_{s1} + A_{s2} + \dots + A_{sn}} = \frac{\sum A_{si}a_i}{\sum A_{si}} \quad (5.5)$$

kde A_{si} je průřezová plocha i -tého výztužného prutu (předpínací výztuže, drátu);

a_i osová vzdálenost i -tého výztužného prutu (předpínací výztuže, drátu) od nejbližšího povrchu vystaveného účinkům požáru.



Nejmenší osová vzdálenost libovolného prutu od povrchu nemá být menší než vzdálenost předepsaná pro pruty v jedné vrstvě při R30 nebo polovina průměrné vzdálenosti pro pruty v několika vrstvách

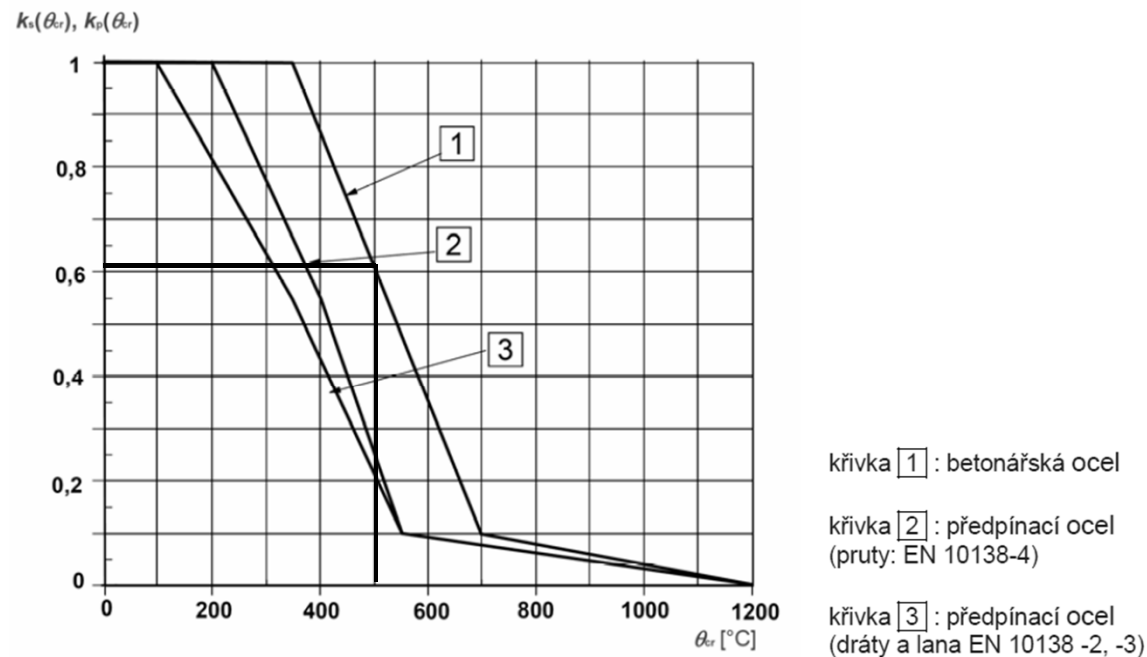
2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY

- Tabulkové hodnoty vycházejí z požárního zatížení pro $\eta_{fi}=0,7$
- Hodnoty a_{min} pro **výztuž v tažených oblastech prostě podepřených nosníků a desek pnutých v jednom směru** jsou stanoveny pro $\theta_{cr}=500^{\circ}\text{C}$. To odpovídá $E_{d,fi}=0,7E_d$, $\gamma_s=1,15$
 $\sigma_{s,fi}/f_{yk}=0,6$, $A_{s,req}=A_{s,prov}$
- Hodnoty a_{min} pro **předpínací výztuž** $\theta_{cr}=400^{\circ}\text{C}$ a pro dráty a lana $\theta_{cr}=350^{\circ}\text{C}$. To odpovídá $E_{d,fi}=0,7E_d$, $\gamma_s=1,15$, $f_{p0,1k}/f_{pk}=0,9$, $\sigma_{s,fi}/f_{yk}=0,55$. Tabulkové hodnoty a_{min} je třeba zvýšit
u předpínacích prutů o 10 mm
u předpínacích lan a drátů o 15 mm

2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY

- Redukce charakteristické hodnoty pevnosti

$$k_{s,\theta_{cr}} = \sigma_{s,fi} / f_{yk}, \quad k_{p,\theta_{cr}} = \sigma_{p,fi} / f_{p0,1k}$$



Obrázek 5.1 – Referenční křivky pro kritickou teplotu betonářské a předpínací oceli θ_{cr} odpovídající redukčnímu součiniteli $k_s(\theta_{cr}) = \sigma_{s,fi} / f_{yk}$ (20 °C) nebo $k_p(\theta_{cr}) = \sigma_{p,fi} / f_{pk}$ (20 °C)

2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY

Postup redukce požadované vzdálenosti a_{\min}

1.
$$\sigma_{s,fi} = \frac{E_{d,fi}}{E_d} \times \frac{f_{yk}(20\text{ °C})}{\gamma_s} \times \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}}$$

kde γ_s je dílčí součinitel spolehlivosti pro betonářskou výztuž (viz kapitola 2 EN 1992-1-1);

$A_{s,req}$ potřebná průřezová plocha výztuže pro mezní stav podle EN 1992-1-1;

$A_{s,prov}$ skutečná průřezová plocha výztuže;

$E_{d,fi}/E_d$ může být posouzen podle 2.4.2.

2. Stanoví se redukční souč. $k_{s,\theta_{cr}} = \sigma_{s,fi}/f_{yk}$, $k_{p,\theta_{cr}} = \sigma_{p,fi}/f_{p0,1k}$

3. Z grafu se stanoví kritická teplota θ_{cr}

4. Je-li $350\text{ °C} \leq \theta_{cr} \leq 700\text{ °C}$, potom lze a_{\min} redukovat o

$\Delta a = 0,1(500 - \theta_{cr})$ [mm] (mimo rozsah se používají teplotní profily)

4. Je-li $\theta_{cr} \leq 400\text{ °C}$ zvýší se min. rozměr prvku

$b > b_{\min} + 0,8(400 - \theta_{cr})$ [mm]

2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY - SLOUPY

Metoda A, B, C (příloha pro štíhlé sloupy) – všechny metody jsou pro sloupy, které jsou součástí ztužených konstrukcí

Metoda A – pro prvky namáhané převážně tlakem. Podmínky:

1. Účinná délka $l_{0,fi} < 3 \text{ m}$
2. Výstřednost prvního řádu $e_{0,fi} < e_{\max} = 0,15h \text{ (} 0,15b \text{)} – \text{ pro } \check{C}R$
 $e = M_{0Ed,fi} / N_{0Ed,fi} \leq e_{\max};$
3. Plocha podélné výztuže $< 0,04A_c$

Redukční součinitel pro úroveň návrhového zatížení

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd}$$

kde $N_{Ed,fi}$ je návrhová hodnota normálové síly pro požární situaci;

N_{Rd} návrhová únosnost sloupu při běžné teplotě.

2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY - SLOUPY

Tabulka 5.2a – Nejmenší rozměry sloupu a osové vzdálenosti výztuže od povrchu pro sloupy s pravoúhlým nebo kruhovým průřezem

| Normová požární odolnost | Nejmenší rozměry (mm) | | | |
|--------------------------|--|--|--|--------------------------------|
| | šířka sloupu b_{min} /osová vzdálenost hlavních výztužných prutů a | | | |
| | sloup vystavený požáru z více než jedné strany | | | sloup vystavený z jedné strany |
| | $\mu_{fi} = 0,2$ | $\mu_{fi} = 0,5$ | $\mu_{fi} = 0,7$ | $\mu_{fi} = 0,7$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| R 30 | 200/25 | 200/25 | 200/32 300/27 | 155/25 |
| R 60 | 200/25 | 200/36 300/31 | 250/46 350/40 | 155/25 |
| R 90 | 200/31 300/25 | 300/45 400/38 | 350/53 450/40 ^{**)} | 155/25 |
| R 120 | 250/40 350/35 | 350/45 ^{**)} 450/40 ^{**)} | 350/57 ^{**)} 450/51 ^{**)} | 175/35 |
| R 180 | 350/45 ^{**)} | 350/63 ^{**)} | 450/70 ^{**)} | 230/55 |
| R 240 | 350/61 ^{**)} | 450/75 ^{**)} | - | 295/70 |

<sup>**) Minimálně 8 prutů.
Pro předpjaté sloupy má být zvětšení osové vzdálenosti výztuže vyznačeno podle 5.2(5).</sup>

- Jsou-li dvě podmínky - stačí splnit jednu hodnotu,
- alternativně dle vztahů v normě

2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY - SLOUPY

Metoda B – podmínky:

1. Štíhlost sloupu $l_{0,fi}/i < 30$
2. Výstřednost prvního řádu $e_{0,fi} < e_{max} = 100 \text{ mm}$, $e_{0,fi}/b \leq 0,25$
3. U sloupů, kde $A_s \geq 0,02A_c$ musí být při R vyšší jak R80 výztuž rovnoměrně rozložena po stranách průřezu.

n – poměrná normálová síla při běžné teplotě

$$n = N_{0,Ed,fi} / (0,7(A_c f_{cd} + A_s f_{yd}))$$

ω mechanický stupeň vyztužení při běžné teplotě:

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}}$$

2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY - SLOUPY

Tabulka 5.2b – Nejmenší rozměry a osové vzdálenosti výztuže od povrchu pro železobetonové sloupy s pravoúhlým nebo kruhovým průřezem

| Normová požární odolnost | Mechanický stupeň vyztužení ω | Nejmenší rozměry (mm) šířka sloupu b_{\min} /osová vzdálenost a | | | |
|--------------------------|--------------------------------------|--|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | $n = 0,15$ | $n = 0,3$ | $n = 0,5$ | $n = 0,7$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| R 30 | 0,100 | 150/25 ^{*)} | 150/25 ^{*)} | 200/30:250/25 ^{*)} | 300/30:350/25 ^{*)} |
| | 0,500 | 150/25 ^{*)} | 150/25 ^{*)} | 150/25 ^{*)} | 200/30:250/25 ^{*)} |
| | 1,000 | 150/25 ^{*)} | 150/25 ^{*)} | 150/25 ^{*)} | 200/30:300/25 ^{*)} |
| R 60 | 0,100 | 150/30:200/25 ^{*)} | 200/40:300/25 ^{*)} | 300/40:500/25 ^{*)} | 500/25 ^{*)} |
| | 0,500 | 150/25 ^{*)} | 150/35:200/25 ^{*)} | 250/35:350/25 ^{*)} | 350/40:550/25 ^{*)} |
| | 1,000 | 150/25 ^{*)} | 150/30:200/25 ^{*)} | 200/40:400/25 ^{*)} | 300/50:600/30 |
| R 90 | 0,100 | 200/40:250/25 ^{*)} | 300/40:400/25 ^{*)} | 500/50:550/25 ^{*)} | 550/40:600/25 ^{*)} |
| | 0,500 | 150/35:200/25 ^{*)} | 200/45:300/25 ^{*)} | 300/45:550/25 ^{*)} | 500/50:600/40 |
| | 1,000 | 200/25 ^{*)} | 200/40:300/25 ^{*)} | 250/40:550/25 ^{*)} | 500/50:600/45 |
| R 120 | 0,100 | 250/50:350/25 ^{*)} | 400/50:550/25 ^{*)} | 550/25 ^{*)} | 550/60:600/45 |
| | 0,500 | 200/45:300/25 ^{*)} | 300/45:550/25 ^{*)} | 450/50:600/25 ^{*)} | 500/60:600/50 |
| | 1,000 | 200/40:250/25 ^{*)} | 250/50:400/25 ^{*)} | 450/45:600/30 | 600/60 |
| R 180 | 0,100 | 400/50:500/25 ^{*)} | 500/60:550/25 ^{*)} | 550/60:600/30 | (1) |
| | 0,500 | 300/45:450/25 ^{*)} | 450/50:600/25 ^{*)} | 500/60:600/50 | 600/75 |
| | 1,000 | 300/35:400/25 ^{*)} | 450/50:550/25 ^{*)} | 500/60:600/45 | (1) |
| R 240 | 0,100 | 500/60:550/25 ^{*)} | 550/40:600/25 ^{*)} | 600/75 | (1) |
| | 0,500 | 450/45:500/25 ^{*)} | 550/55:600/25 ^{*)} | 600/70 | (1) |
| | 1,000 | 400/45:500/25 ^{*)} | 500/40:600/30 | 600/60 | (1) |

^{*)} Obvykle rozhoduje krycí vrstva požadovaná v EN 1992-1-1.
 (1) Vyžaduje šířku větší než 600 mm. Je požadováno zvláštní posouzení vzpěru.

2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY - SLOUPY

Metoda C – pro štíhlé sloupy. Podmínky:

1. Štíhlost sloupu při požární situaci $l_{0,fi}/i < 80$
2. $b \leq 600$ mm
3. Lineární interpolace mezi tabulkami pro různé sloupy je v této příloze přípustná

Tabulky v normě v příloze C

2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY - STĚNY

Nenosné dělicí stěny– kritéria E a I.

- Podmínky vztahující se k tloušťce. Požadavek na osovou vzdálenost se neuplatní.
- $h/t \leq 40$ (výška/tloušťka stěny)
- Dané min. tloušťky stěny

Tabulka 5.3 – Nejmenší tloušťka nenosných stěn (příček)

| Normová požární odolnost | Nejmenší tloušťka stěny (mm) |
|--------------------------|------------------------------|
| 1 | 2 |
| EI 30 | 60 |
| EI 60 | 80 |
| EI 90 | 100 |
| EI 120 | 120 |
| EI 180 | 150 |
| EI 240 | 175 |

2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY - STĚNY

Nosné stěny– kritéria R, E a I. (kritérium rozměrů a osově vzdálenosti)

- V případě stěn z prostého betonu musí též platit $h/t \leq 40$
- Dle stupně využití pro požární situaci μ_{fi}

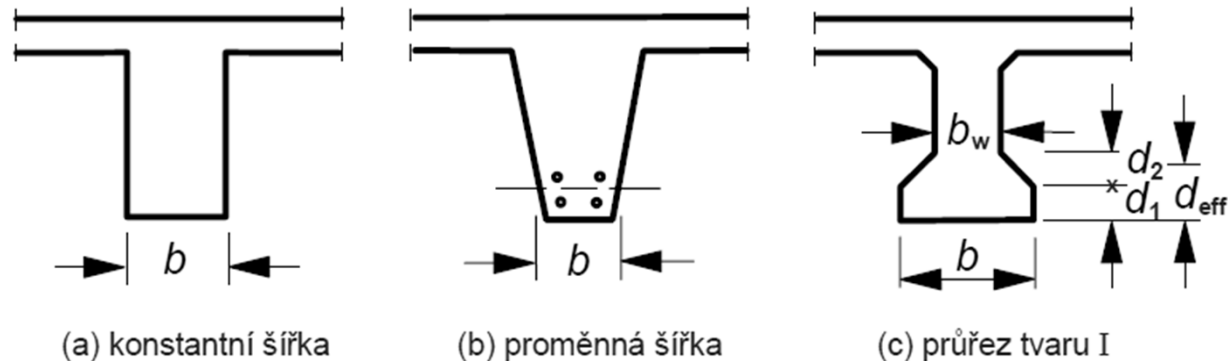
Tabulka 5.4 – Nejmenší rozměry a osově vzdálenosti výztuže od povrchu pro nosné železobetonové stěny

| Normová požární odolnost | Nejmenší rozměry (mm) | | | |
|--------------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| | tloušťka stěny/osová vzdálenost výztuže pro | | | |
| | $\mu_{fi} = 0,35$ | | $\mu_{fi} = 0,7$ | |
| | stěna vystavená z jedné strany | stěna vystavená ze dvou stran | stěna vystavená z jedné strany | stěna vystavená ze dvou stran |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| REI 30 | 100/10 ^{*)} | 120/10 ^{*)} | 120/10 ^{*)} | 120/10 ^{*)} |
| REI 60 | 110/10 ^{*)} | 120/10 ^{*)} | 130/10 ^{*)} | 140/10 ^{*)} |
| REI 90 | 120/20 ^{*)} | 140/10 ^{*)} | 140/25 | 170/25 |
| REI 120 | 150/25 | 160/25 | 160/35 | 220/35 |
| REI 180 | 180/40 | 200/45 | 210/50 | 270/55 |
| REI 240 | 230/55 | 250/55 | 270/60 | 350/60 |

^{*)} Obvykle rozhoduje krycí vrstva požadovaná v EN 1992-1-1.
POZNÁMKA Definice μ_{fi} je uvedena v odstavci 5.3.2(3).

2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY - NOSNÍKY

Tabulkové hodnoty platí pro průřezy:



Účinná výška spodní příruby

$$d_{\text{eff}} = d_1 + 0,5 d_2 \geq b_{\text{min}}$$

Další omezení pro I průřezy – viz norma

Omezení otvorů ve stojině – zbývající plocha průřezu v tahové oblasti $A_c \geq 2 \cdot b_{\text{min}}^2$

2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY - NOSNÍKY

Tabulka 5.5 – Nejmenší rozměry a osové vzdálenosti výztuže od povrchu pro prostě podepřené nosníky ze železobetonu a předpjatého betonu

| Normová požární odolnost | Nejmenší rozměry (mm) | | | | | | |
|--------------------------|---|-----------|-------------------------|-------------------------|------------------------|----------|----------|
| | možné kombinace a a b_{min} kde a je průměrná osová vzdálenost výztuže a b_{min} je šířka trámu | | | | tloušťka stojiny b_w | | |
| | | | | | třída WA | třída WB | třída WC |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| R 30 | $b_{min}= 80$ $a = 25$ | 120 20 | 160 15 ^{*)} | 200 15 ^{*)} | 80 | 80 | 80 |
| R 60 | $b_{min}= 120$ $a = 40$ | 160 35 | 200 30 | 300 25 | 100 | 80 | 100 |
| R 90 | $b_{min}= 150$ $a = 55$ | 200 45 | 300 40 | 400 35 | 110 | 100 | 100 |
| R 120 | $b_{min}= 200$ $a = 65$ | 240 60 | 300 55 | 500 50 | 130 | 120 | 120 |
| R 180 | $b_{min}= 240$ $a = 80$ | 300 70 | 400 65 | 600 60 | 150 | 150 | 140 |
| R 240 | $b_{min}= 280$ $a = 90$ | 350 80 | 500 75 | 700 70 | 170 | 170 | 160 |

$a_{sd} = a + 10$ mm (viz poznámka níže)

Pro předpjaté nosníky se má osová vzdálenost výztuže od povrchu zvětšit podle 5.2(5).
 a_{sd} je osová vzdálenost výztuže od bočního líce trámu pro rohové výztužné pruty (nebo předpínací výztuž nebo dráty) u nosníků pouze s jednou vrstvou výztuže. Pro hodnoty b_{min} větší než hodnoty uvedené ve sloupci 4 se zvětšení a_{sd} nepožaduje.

^{*)} Obvykle rozhoduje krycí vrstva požadovaná v EN 1992-1-1.

- Postačuje splnění jedné kombinace
 - tab. pro nosníky vystavené požáru ze tří stran
- Miloš Zich/VUT FAST Brno

2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY - NOSNÍKY

Tabulka 5.6 – Nejmenší rozměry a osová vzdálenosti výztuže od povrchu pro spojitě nosníky ze železobetonu a z předpjatého betonu (viz také tabulka 5.7)

| Normová požární odolnost | Nejmenší rozměry (mm) | | | | | | |
|--------------------------|---|-------------------------|-----------|-----------|------------------------|----------|----------|
| | možné kombinace a a b_{min} kde a je průměrná osová vzdálenost výztuže a b_{min} je šířka trámu | | | | tloušťka stojiny b_w | | |
| | | | | | třída WA | třída WB | třída WC |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| R 30 | $b_{min}= 80$ $a = 15^{*)}$ | 160 12 ^{*)} | | | 80 | 80 | 80 |
| R 60 | $b_{min}= 120$ $a = 25$ | 200 12 ^{*)} | | | 100 | 80 | 100 |
| R 90 | $b_{min}= 150$ $a = 35$ | 250 25 | | | 110 | 100 | 100 |
| R 120 | $b_{min}= 200$ $a = 45$ | 300 35 | 450 35 | 500 30 | 130 | 120 | 120 |
| R 180 | $b_{min}= 240$ $a = 60$ | 400 50 | 550 50 | 600 40 | 150 | 150 | 140 |
| R 240 | $b_{min}= 280$ $a = 75$ | 500 60 | 650 60 | 700 50 | 170 | 170 | 160 |

$a_{sd} = a + 10$ mm (viz poznámka níže)

Pro předpjaté nosníky se má osová vzdálenost výztuže od povrchu zvětšit podle 5.2(5).

a_{sd} je osová vzdálenost výztuže od bočního líce nosníku pro rohové výztužné pruty (nebo předpínací výztuž nebo dráty) u nosníků pouze s jednou vrstvou výztuže. Pro hodnoty b_{min} větší než hodnoty uvedené ve sloupci 3 se zvětšení a_{sd} nepožaduje.

*) Obvykle rozhoduje krycí vrstva požadovaná v EN 1992-1-1.

2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY - NOSNÍKY

Hodnoty v tab. platí za předpokladů, že jsou dodrženy následující pravidla:

- Redistribuce momentu při návrhu za běžné teploty nepřekročí 15%, případně při redistribuci větší jak 15% je zajištěně dostatečná rotační kapacita v podporách pro požadovanou požární odolnost.
- Pro R90 a vyšší je nad každou vnitřní podporou do vzdálenosti $0,3l_{\text{eff}}$ od osy podpory provedena horní výztuž o průřezové ploše min.

$$A_{s,\text{req}}(x) = A_{s,\text{req}}(0) (1 - 2,5x/l_{\text{eff}}) \quad (5.11)$$

kde x je vzdálenost od uvažovaného průřezu ke středu podpory, kde $x \leq 0,3l_{\text{eff}}$;

$A_{s,\text{req}}(0)$ požadovaná průřezová plocha horní výztuže nad podporou podle EN 1992-1-1;

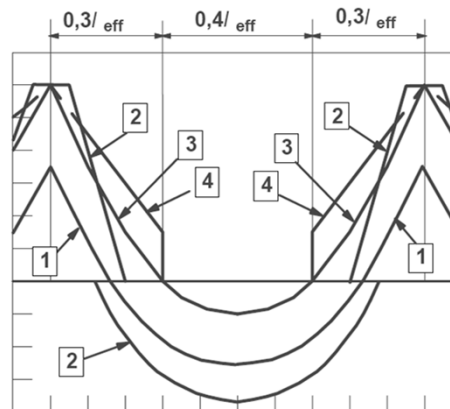
$A_{s,\text{req}}(x)$ nejmenší požadovaná plocha horní výztuže v průřezu ve vzdálenosti (x) od středu uvažované podpory, která nesmí být menší než průřezová plocha $A_s(x)$ požadovaná EN 1992-1-1;

l_{eff} účinná délka rozpětí; pokud je účinná délka sousedních polí větší, má se použít tato hodnota.

2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY - NOSNÍKY

Hodnoty v tab. platí za předpokladů, že jsou dodrženy následující pravidla:

- Pro spojité nosníky s nesoudržnou předpínací výztuží platí uvedené hodnoty v tabulkách jen za předpokladu, že je celkový moment při požární situaci nad mezilehlou podporou přenášen soudržnou výztuží.



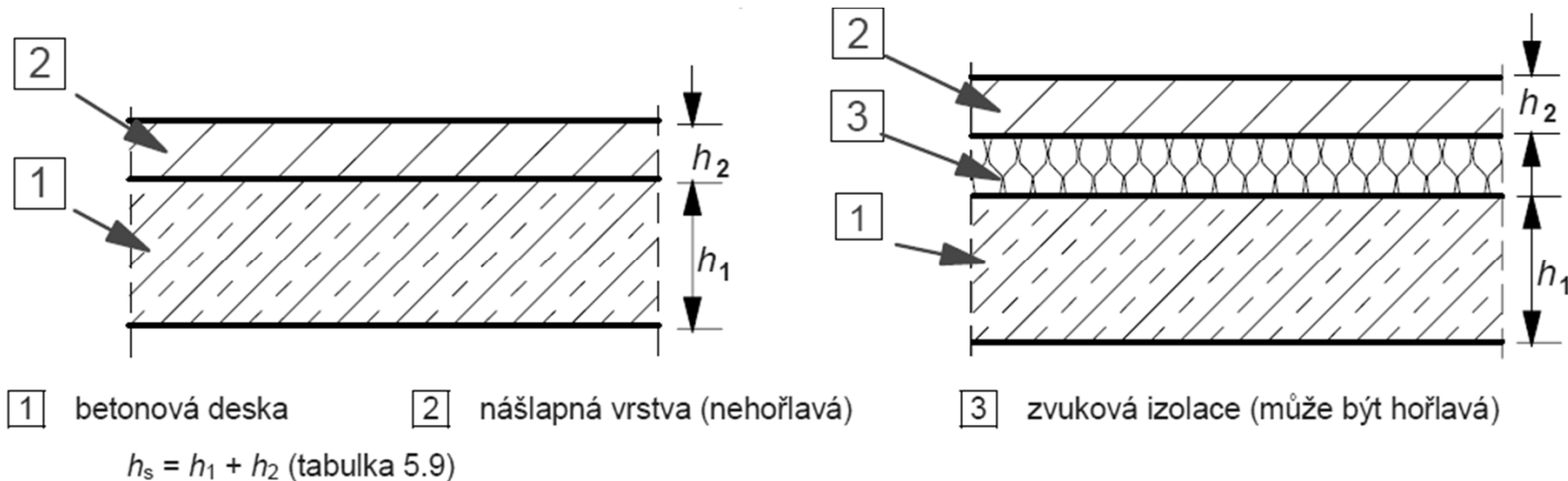
Legenda

- 1 obrazec ohybových momentů od zatížení pro požární situaci při $t = 0$
- 2 obálka působících ohybových momentů, přenášených tahovou výztuží podle EN 1992-1-1
- 3 obrazec ohybových momentů pro požární situaci
- 4 obálka přenášených ohybových momentů podle vztahu (5.11)

2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY - DESKY

Požárně dělící funkce (E a I)

Nehořlavé vrstvy podlahy přispívají k požárně dělící funkci i v případě oddělení hořlavou vrstvou.



2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY - DESKY

| Normová požární odolnost | Nejmenší rozměry (mm) | | | |
|--------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|
| | tloušťka desky h_s (mm) | osová vzdálenost výztuže a | | |
| | | pnuté v jednom směru | pnuté ve dvou směrech | |
| | | | $l_y/l_x \leq 1,5$ | $1,5 < l_y/l_x \leq 2$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| REI 30 | 60 | 10 ^{*)} | 10 ^{*)} | 10 ^{*)} |
| REI 60 | 80 | 20 | 10 ^{*)} | 15 ^{*)} |
| REI 90 | 100 | 30 | 15 ^{*)} | 20 |
| REI 120 | 120 | 40 | 20 | 25 |
| REI 180 | 150 | 55 | 30 | 40 |
| REI 240 | 175 | 65 | 40 | 50 |

l_x a l_y jsou rozpětí desky pnuté ve dvou směrech (vzájemně kolmých), kde l_y je větší rozpětí.

U předpjatých desek se má osová vzdálenost výztuže od povrchu zvětšit podle 5.2(5).

Osová vzdálenost a ve sloupcích 4 a 5 pro desky pnuté ve dvou směrech se vztahuje na desky podepřené po celém obvodu. V ostatních případech se mají považovat za desky pnuté v jednom směru.

^{*)} Obvykle rozhoduje krycí vrstva požadovaná v EN 1992-1-1.

- Prostě podepřené desky nebo desky pnuté v obou směrech (po obvodě podepřené).
- a_{\min} je vztaženo ke spodní výztuži.

2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY - DESKY

Spojité desky: tabulky (sloupec 2 a 4) možno použít je-li splněno:

- i) Redistribuce momentu při návrhu za běžné teploty nepřekročí 15%, případně při redistribuci větší jak 15% je zajištěně dostatečná rotační kapacita v podporách pro požadovanou požární odolnost.
- ii) Pro R90 a vyšší je nad každou vnitřní podporou do vzdálenosti $0,3l_{\text{eff}}$ od osy podpory provedena horní výztuž o průřezové ploše min.

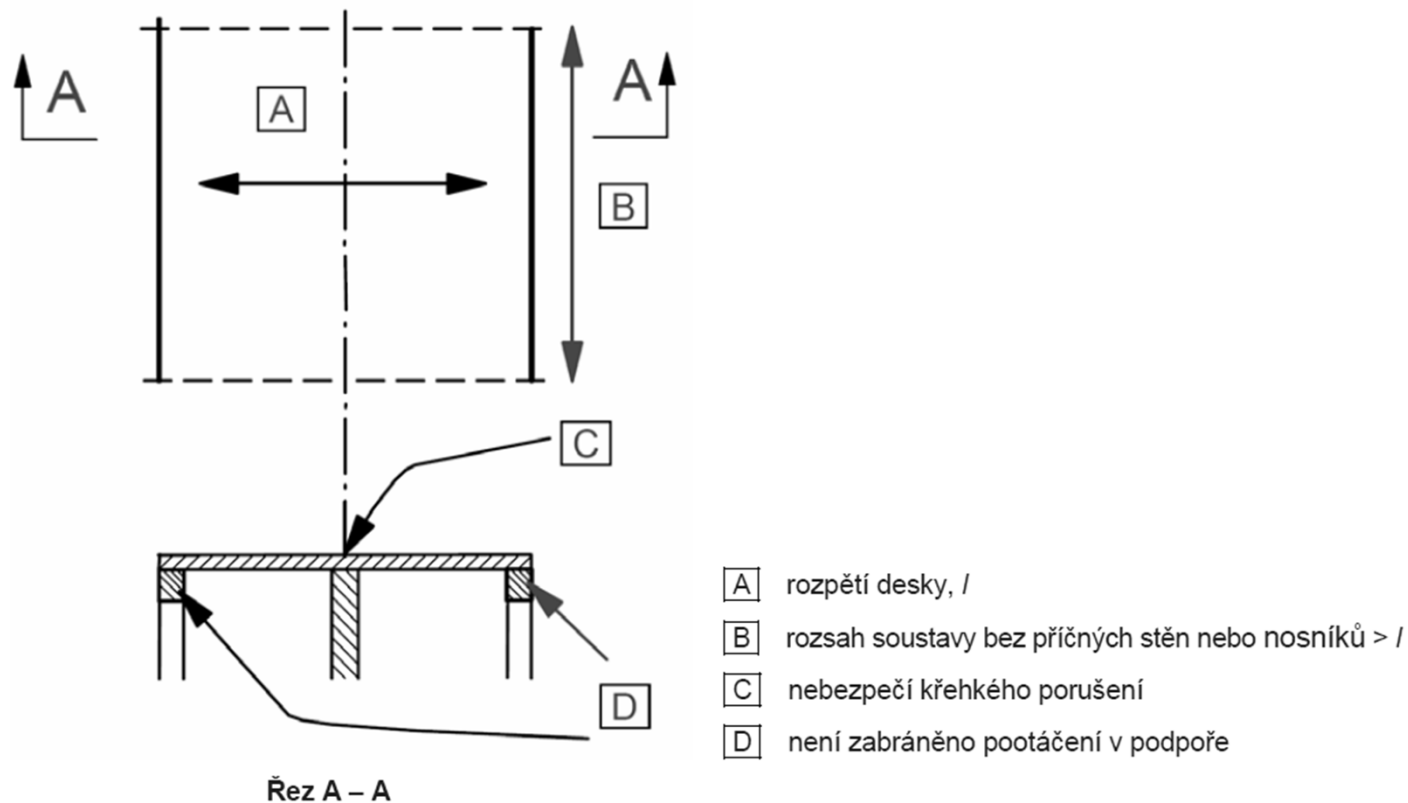
$$A_{s,\text{req}}(x) = A_{s,\text{req}}(0) (1 - 2,5x/l_{\text{eff}})$$

- iii) Nad mezilehlými podporami je provedena výztuž o ploše $\geq 0,005A_c$.
- Podmínka iii) musí být splněna pokud:
 - *Je použita výztuž tvářená za studena.*
 - *Jedná se o spojitou desku o dvou polích, u které není v krajních polích bráněno v pootočení.*
 - *V návrhu není zohledněna možnost redistribuce účinků zatížení kolmo k rozpětí.*

Pokud výše uvedené podmínky nejsou splněny, je třeba každé pole posoudit jako desku prostě podepřenou.

2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY - DESKY

Spojité desky: Uspořádání desek, při kterém musí být provedena min. výztuž nad podporou



2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY - DESKY

Lokálně podepřené desky

- Tabulka viz níže.
- Pokud byla použita redistribuce za běžné teploty >15%, uvažuje se a_{\min} dle předchozí tab. (prosté desky) – sloupec 3.
- a_{\min} je vztaženo ke spodní výztuži.
- Pro R90 a vyšší musí v obou směrech probíhat přes celé rozpětí min. 20% veškeré horní výztuže požadované na podporami při návrhu za běžné teploty. Tato výztuž se umístí do sloupových pruhů.

| Normová požární odolnost | Nejmenší rozměry (mm) | |
|--------------------------|-----------------------|----------------------|
| | tloušťka desky h_s | osová vzdálenost a |
| 1 | 2 | 3 |
| REI 30 | 150 | 10 ^{*)} |
| REI 60 | 180 | 15 ^{*)} |
| REI 90 | 200 | 25 |
| REI 120 | 200 | 35 |
| REI 180 | 200 | 45 |
| REI 240 | 200 | 50 |

^{*)} Obvykle rozhoduje krycí vrstva požadovaná v EN 1992-1-1.

Žebrované desky

- Viz tabulky v normě

2.4.1 TABULKOVÉ HODNOTY – TAŽENÉ PRVKY

- Hodnoty a_{\min} , b_{\min} lze uvažovat dle tabulek pro prostě podepřené nosníky.
- Pokud je únosnost ovlivněna nadměrným protažením tažených prvků, je nezbytné snížit kritickou teplotu v taženém prvku na 400°C.

2.4.2 ZJEDNODUŠENÉ METODY

- Metoda **izotermie 500°C** - ohybem a/nebo normálovou silou
- **Zónová metoda** - ohybem a/nebo normálovou silou
- Metoda pro štíhlé sloupy
- Metoda pro ověření únosnosti ve smyku a kroucení
- Zjednodušená výpočetní metoda pro nosníky a desky

2.4.2 METODA IZOTERMY 500°C

- Beton nad 500°C nepřispívá k únosnosti průřezu (tloušťka poškozeného betonu a_{500})
- Beton s nižší teplotou – stejné vlastnosti jako při 20°C
- Pevnost výztuže se redukuje úměrně její teplotě
- Pro vystavení parametrickému požáru se součinitelem otvorů $O \geq 0,14 \text{ m}^{1/2}$ (viz EN 1991-1-2 příloha A)
- Průřezy musí splnit min. rozměry:

Tabulka B.1 – Minimální šířka průřezu jako funkce požární odolnosti (pro vystavení normovému požáru) a hustoty požárního zatížení (pro vystavení parametrickému požáru)

a) požární odolnost

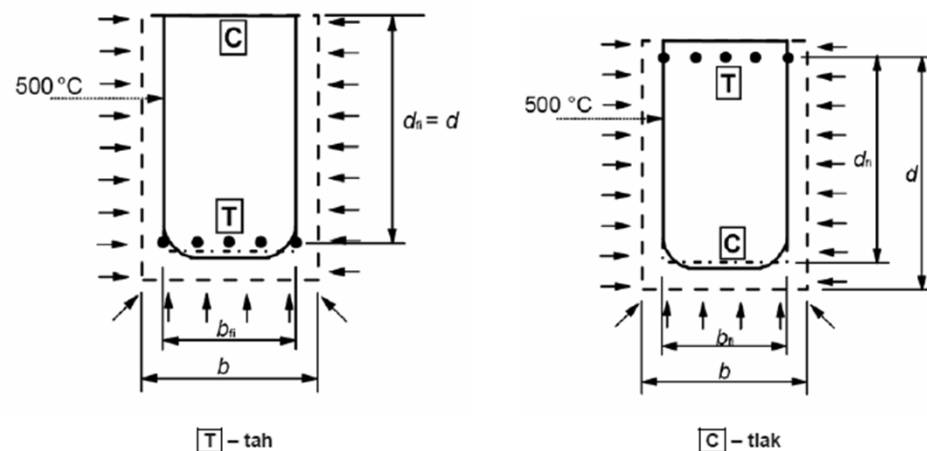
| | | | | | |
|------------------------------|------|------|------|------|------|
| Požární odolnost | R 60 | R 90 | R120 | R180 | R240 |
| Minimální šířka průřezu v mm | 90 | 120 | 160 | 200 | 280 |

b) hustota požárního zatížení

| | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|
| Hustota požárního zat. MJ/m ² | 200 | 300 | 400 | 600 | 800 |
| Minimální šířka průřezu v mm | 100 | 140 | 160 | 200 | 240 |

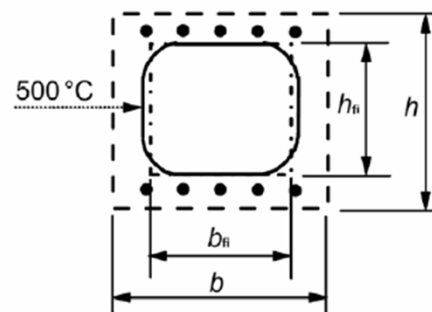
2.4.2 METODA IZOTERMY 500°C

- Redukovaný průřez:



a) vystavení požáru na třech stranách s vystavenou tahovou oblastí

b) vystavení požáru na třech stranách s vystavenou tlačnou oblastí



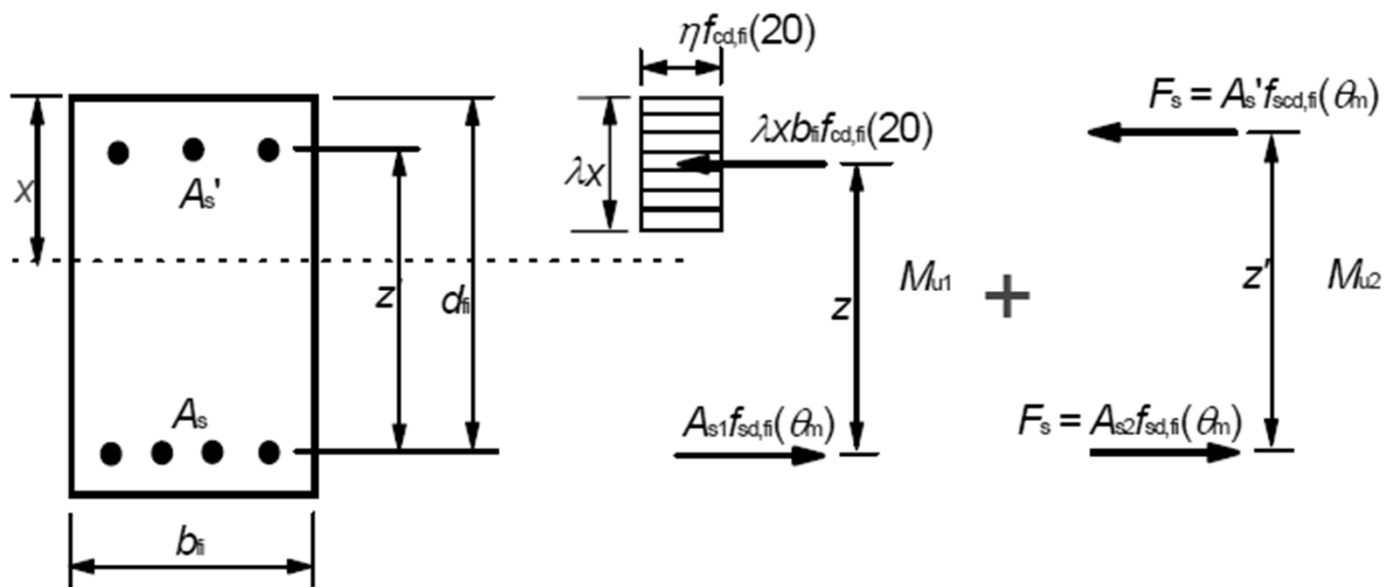
c) vystavení požáru na čtyřech stranách (nosník nebo sloup)

2.4.2 METODA IZOTERMY 500°C

- Postup:
- Stanovení rozložení teploty, stanoví se polohy izotermy 500°C a velikost redukovaného průřezu.
- Pevnost betonu v tlaku shodná jako u 20°C $f_{cd,fi,20^{\circ}C} = f_{ck} / \gamma_{C,fi}$
 $\gamma_{C,fi} = 1,0$.
- Stanoví se teploty v osách všech prutů. Do výpočtu se mohou zahrnout i pruty ležící mimo redukovaný průřez. Předpokládá se, že soudržnost je možná.
- Stanoví se návrhová $f_{syd,fi} = k_{s,\theta} \cdot f_{yk} / \gamma_{s,fi}$ $\gamma_{s,fi} = 1,0$
- Obvyklou výpočetní metodou se stanoví návrhová únosnost redukovaného průřezu. Např. pro ohyb $M_{Rd,fi}$
- Porovná se návrhová hodnota s odpovídajícím účinkem návrhového zatížení při požární situaci. Např. $M_{Rd,fi} \geq M_{Ed,fi}$

2.4.2 METODA IZOTERMY 500°C

- Redukovaný průřez, oboustranně vyztužený, rozdělení napětí



$$M_{u1} = A_{s1} f_{sd,fi}(\theta) z$$

$$\omega_k = \frac{A_{s1} f_{sd,fi}(\theta_m)}{b_{fi} d_{fi} f_{cd,fi}(20)}$$

$$M_{u2} = A_{s2} f_{sod,fi}(\theta) z'$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

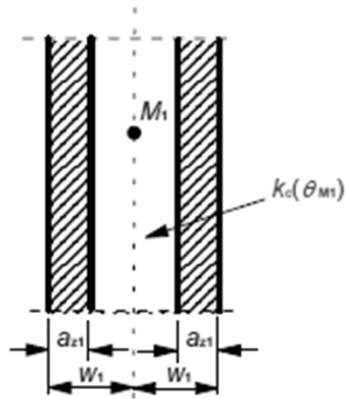
$$M_u = M_{u1} + M_{u2}$$

2.4.3 ZÓNOVÁ METODA

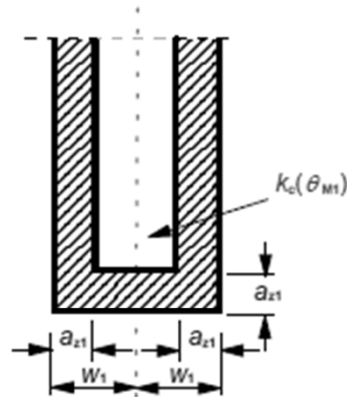
- **Oproti metodě izotermy 500°C:**
 - Jiný způsob stanovení tloušťky vyloučené vrstvy a_z
 - Redukuje se též pevnost betonu v redukovaném průřezu
 - Metoda je pracnější, ale poskytuje přesnější výsledky (zvláště pro sloupy)
- **Stanoví se charakteristická tloušťka prvku w a poloha bodu M**
 - Pro stěnu nebo desku s požárem na jedné straně $w=h$
 - Pro stěnu nebo desku (obdobně obd. průřez) s požárem z obou stran $w=h/2$
 - Pro obdélníkový průřez vystavený požáru ze čtyř stran je w polovinou menšího rozměru
 - Pro obdélníkový průřez vystavený ze tří stran požáru je tloušťka w rovna menší z hodnot: i) vzdáleností mezi stranou průřezu vystavenou požáru a protilehlou stranou nevystavenou požáru, ii) polovina vzdálenosti mezi protilehlými stranami průřezu vystavenými požáru. Na všech stranách vystavených požáru se uvažuje hodnota a_z stanovená pro w

2.4.3 ZÓNOVÁ METODA

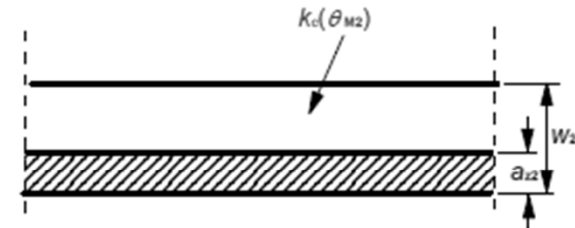
- Poloha bodu M



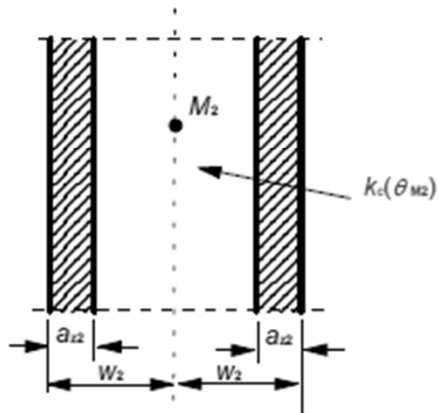
a) (např. stěna)



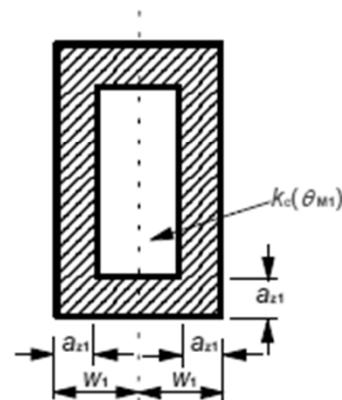
b) (např. konec stěny)



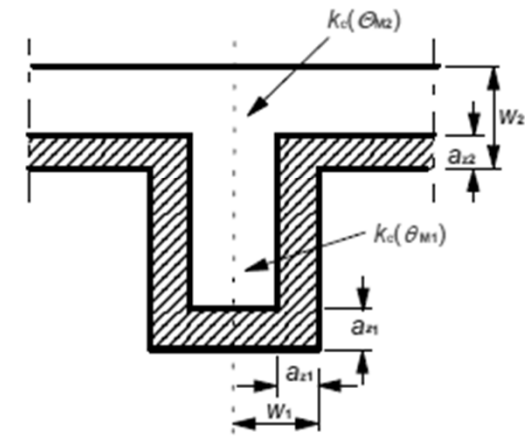
c) (např. deska)



d) (např. tlustá stěna)



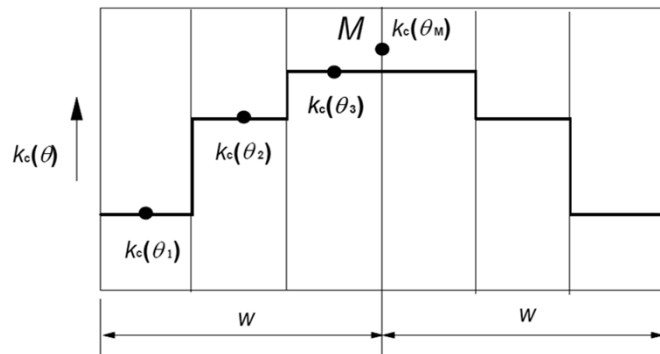
e) (např. sloup)



f) (např. nosník)

2.4.3 ZÓNOVÁ METODA

- Postup
- Tloušťka w se rozdělí na n rovnoběžných zón (min. 3)
- Stanoví se rozložení teplot pro příslušnou dobu a vystavení normovému nebo parametrickému požáru. Určí se teplota θ_i ve středu každé zóny.
- Pro každou zónu se určí k_{c,θ_i} , pro redukci tlakové pevnosti betonu dle θ_i .
- Určí se hodnota součinitel k_{c,θ_M} , pro redukci tlakové pevnosti betonu dle θ_M .
- Stanoví se střední **součinitel redukce** $k_{c,m}$
- Stanovení se tloušťka vyloučené **vrstvy** a_z



$$k_{c,m} = \frac{(1 - 0,2/n)}{n} \sum_{i=1}^n k_c(\theta_i)$$

kde n je počet paralelních zón v šířce w ;
 w polovina celkové šířky;
 m číslo zóny.

2.4.3 ZÓNOVÁ METODA

$$a_z = w \left[1 - \frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)} \right]$$

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

- Pro nosníky a desky bez účinků 2.řádu
- Pro sloupy a stěna aj. s účinky 2.řádu

- Redukuje se pevnost betonu v tlaku $f_{cd,fi} = k_{s,\theta M} \cdot f_{ck} / \gamma_{C,fi}$ $\gamma_{C,fi} = 1,0$.
- Stanoví se teploty v osách všech prutů. Do výpočtu se mohou zahrnout i pruty ležící mimo redukovaný průřez. Předpokládá se, že soudržnost jen možná.
- Stanoví se návrhová $f_{syd,fi} = k_{s,\theta} \cdot f_{yk} / \gamma_{S,fi}$ $\gamma_{S,fi} = 1,0$
- Obvyklou výpočetní metodou se stanoví návrhová únosnost redukovaného průřezu. Např. pro ohyb $M_{Rd,fi}$
- Porovná se návrhová hodnota s odpovídajícím účinkem návrhového zatížení při požární situaci. Např. $M_{Rd,fi} \geq M_{Ed,fi}$

2.4.4 JEDNODUCHÁ METODA PRO DESKY A NOSNÍKY

Pro prosté nosníky: Má se ověřit, že $M_{Ed,fi} \leq M_{Rd,fi}$

- Vypočte se maximální návrhový moment při požáru $M_{Ed,fi}$ pro převážně rovnoměrné zatížení ze vztahu: $M_{Ed,fi} = 0,125 w_{Ed,fi} l_{eff}^2$,
kde $w_{Ed,fi}$ je rovnoměrné zatížení (kN/m) při požáru; l_{eff} účinná délka nosníku nebo desky.

- Dále stanovíme moment únosnosti $M_{Rd,fi}$ při návrhu pro požární situaci ze vztahu $M_{Rd,fi} = (\gamma_s / \gamma_{s,fi}) k_{s(\theta)} M_{Ed} (A_{s,prov} / A_{s,req})$,

- kde M_{Ed} působící moment pro návrh při běžné teplotě

- $A_{s,prov} / A_{s,req}$ nemá být větší než 1,3.

– $\gamma_s = 1,15$ $\gamma_{s,fi} = 1,0$

Pro spojitě desky - viz norma

LITERATURA

- *EN 1992-1-1. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.* Praha: ČNI, 2006.
- *EN 1992-1-2 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru.* Praha: ČNI, 2006
- Procházka J., Štefan R., Vašková J., Navrhování betonových a zděných konstrukcí na účinky požáru, 2010.
- Wald F., kol., Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí , ČVUT v Praze, 2005, ISBN 80-0103157-8
- tp1.13_kap10.pdf