

133PSBZ

Požární spolehlivost betonových a zděných konstrukcí

## Přednáška A10

ČVUT v Praze, Fakulta stavební  
katedra betonových a zděných konstrukcí

# Obsah přednášky

## Zjednodušené výpočetní metody

- Metoda pro nosníky a desky (E)
- Smyk a kroucení (D)

## Zpřesněné výpočetní metody

# Zjednodušená výpočet. metoda pro nosníky a desky

- **Příloha E** normy ČSN EN 1992-1-2
- Použití: nosníky vystavené požáru ze tří stran a desky.
- Podmínky použitelnosti:
  - prvek splňuje tab. požadavky na rozměry průřezu (ale  $a$  může být menší než  $a_{\min}$ )
  - prvek je zatížen rovnoměrně
  - spojitý prvek s uvažovanou redistribucí vyšší než 15 % musí mít dostatečnou rotační kapacitu v podporách

# Zjednodušená výpočet. metoda pro nosníky a desky

- nelze použít pro spojitý nosník, který má v oblastech záporného momentu šířku  $b$  nebo  $b_w$  menší než 200 mm a výšku  $h$  menší než  $2 b_{\min}$  ( $b_{\min}$  viz **sloupec (5) tab. 5.5** normy ČSN EN 1992-1-2 (tab. pro prosté nosníky))

Normová požární odolnost	Požadované rozměry [mm]						
	$b_{\min}/a_{\min}$				$b_{w,\min}^{**}$		
					Třída WA	Třída WB	Třída WC
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
<b>R 30</b>	80/25	120/20	160/15*	200/15*	80	80	80
<b>R 60</b>	120/40	160/35	200/30	300/25	100	80	100
<b>R 90</b>	150/55	200/45	300/40	400/35	110	100	100
<b>R 120</b>	200/65	240/60	300/55	500/50	130	120	120
<b>R 180</b>	240/80	300/70	400/65	600/60	150	150	140
<b>R 240</b>	280/90	350/80	500/75	700/70	170	170	160
Pro $b \leq b_{\min(4)}$ , kde $b_{\min(4)}$ je hodnota $b_{\min}$ uvedená ve sloupci (4), platí $a_{sd,\min} = a_{\min} + 10$ [mm].							
Pro $b > b_{\min(4)}$ , kde $b_{\min(4)}$ je hodnota $b_{\min}$ uvedená ve sloupci (4), platí $a_{sd,\min} = a_{\min}$ .							
*) Obvykle je rozhodující krycí vrstva požadovaná normou ČSN EN 1992-1-1.							
**) V ČR se uvažuje třída WA.							
- Pro předpjaté nosníky se vzdálenost $a_{\min}$ zvětší při použití předpínacích prutů o 10 mm, při použití předpínacích drátů a lan o 15 mm.							
- Při použití betonu s vápencovým nebo lehkým kamenivem lze hodnoty $b_{\min}$ redukovat o 10 %.							

!!!

[1,2]

# Zjednodušená výpočet. metoda pro nosníky a desky

## Prostě podepřené prvky

- Ověřuje se podmínka

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

kde

$$M_{Ed,fi} = \frac{w_{Ed,fi} \cdot l_{eff}^2}{8}$$

$$M_{Rd,fi} = \frac{\gamma_s}{\gamma_{s,fi}} \cdot k_{s,\theta} \cdot M_{Ed} \cdot \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}}$$

$$\text{pozn.: } A_{s,prov}/A_{s,req} \leq 1,3$$

# Zjednodušená výpočet. metoda pro nosníky a desky

## Spojité prvky

- Stanoví se návrhová hodnota momentu únosnosti  $M_{Rd,fi,Span}$  v místě max. mezipodporového momentu (viz *předchozí snímek*).
- Stanoví se návrhové hodnoty momentů únosnosti nad podporami podle vztahu (pokud nejsou k dispozici přesnější výsledky)

$$M_{Rd,fi} = \frac{\gamma_S}{\gamma_{S,fi}} \cdot M_{Ed} \cdot \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} \cdot \frac{d - a_{min}}{d}$$

kde  $a_{min}$  viz **sloupec (3) tab. 5.8** pro desky a **sloupec (5) tab. 5.5** normy ČSN EN 1992-1-2 pro nosníky

# Zjednodušená výpočet. metoda pro nosníky a desky

Tabulka pro desky [1,2]

Normová požární odolnost	Požadované rozměry [mm]			
	$h_{s,min}$	$a_{min}$		
		Deska pnutá v jednom směru	Deska pnutá ve dvou směrech	
			$l_y/l_x \leq 1,5$	$1,5 < l_y/l_x \leq 2,0$
(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

\*) Obvykle je rozhodující krycí vrstva požadovaná normou ČSN EN 1992-1-1.

- Rozměry  $l_x$  a  $l_y$  jsou vzájemně kolmá rozpětí desky pnuté ve dvou směrech, platí  $l_y \geq l_x$ .
- Pro předpjaté desky se vzdálenost  $a_{min}$  zvětší při použití předpínacích prutů o 10 mm, při použití předpínacích drátů a lan o 15 mm.
- Při použití betonu s vápencovým nebo lehkým kamenivem lze hodnoty  $h_{s,min}$  redukovat o 10 %.

# Zjednodušená výpočet. metoda pro nosníky a desky

## Tabulka pro nosníky [1,2]

Normová požární odolnost	Požadované rozměry [mm]						
	$b_{\min}/a_{\min}$				$b_{w,\min}^{**}$		
					Třída WA	Třída WB	Třída WC
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
<b>R 30</b>	80/25	120/20	160/15*	200/15*	80	80	80
<b>R 60</b>	120/40	160/35	200/30	300/25	100	80	100
<b>R 90</b>	150/55	200/45	300/40	400/35	110	100	100
<b>R 120</b>	200/65	240/60	300/55	500/50	130	120	120
<b>R 180</b>	240/80	300/70	400/65	600/60	150	150	140
<b>R 240</b>	280/90	350/80	500/75	700/70	170	170	160
Pro $b \leq b_{\min(4)}$ , kde $b_{\min(4)}$ je hodnota $b_{\min}$ uvedená ve sloupci (4), platí $a_{sd,\min} = a_{\min} + 10$ [mm].							
Pro $b > b_{\min(4)}$ , kde $b_{\min(4)}$ je hodnota $b_{\min}$ uvedená ve sloupci (4), platí $a_{sd,\min} = a_{\min}$ .							
<p>*) Obvykle je rozhodující krycí vrstva požadovaná normou ČSN EN 1992-1-1.</p> <p>**) V ČR se uvažuje třída WA.</p> <p>- Pro předpjaté nosníky se vzdálenost <math>a_{\min}</math> zvětší při použití předpínacích prutů o 10 mm, při použití předpínacích drátů a lan o 15 mm.</p> <p>- Při použití betonu s vápencovým nebo lehkým kamenivem lze hodnoty <math>b_{\min}</math> redukovat o 10 %.</p>							



# Zjednodušená výpočet. metoda pro nosníky a desky

## Spojité prvky

- Pokud teplota výztuže překročí  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$  pro betonářskou výztuž, resp.  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  pro předpínací výztuž, redukuje se moment únosnosti nad podporami  $M_{\text{Rd,fi}}$  příslušným součinitelem  $k_{\text{s},\theta\text{cr}}$  nebo  $k_{\text{p},\theta\text{cr}}$ .
- Určí se maximální ohybový moment  $M_{\text{Ed,fi}}$  od působícího rovnoměrného zatížení při požární situaci (za rozpětí  $l_{\text{eff}}$  se dosadí rozpětí příslušného pole) a jeho obrazec se sestojí v místě momentu únosnosti  $M_{\text{Rd,fi,Span}}$  tak, aby podporové momenty  $M_{\text{Rd1,fi}}$  a  $M_{\text{Rd2,fi}}$  zajistily rovnováhu.



# Zjednodušená výpočet. metoda pro nosníky a desky

## Spojité prvky

- Ověří se, zda navržená délka výztužných prutů přesahuje za podporu k příslušnému bodu nulového momentu  $M_{Ed,fi}$  na kotevní délku  $l_{bd,fi}$

$$l_{bd,fi} = \frac{\gamma_s}{\gamma_{s,fi}} \cdot \frac{\gamma_{c,fi}}{\gamma_c} \cdot l_{bd}$$

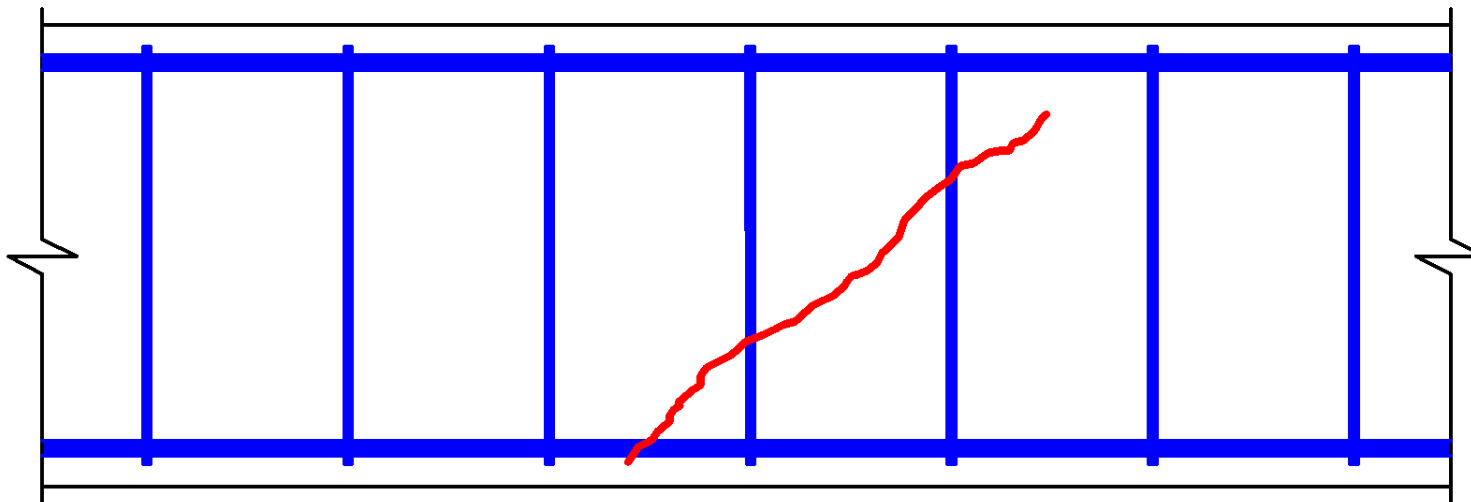
# Metoda pro ověření únosnosti ve smyku a kroucení

## Smyk

- Smykové porušení prvku při požáru je velmi nepravděpodobné.
- Výpočetní postupy a metody nejsou plně ověřené.
- Obecně lze použít metody popsané v ČSN EN 1992-1-1 při uvážení redukováných materiálových charakteristik a redukováného průřezu v závislosti na teplotě.
- Specifikum - smyková výztuž (obvykle třmínek) nemá po délce konstantní teplotu, místa maximálního namáhání (v trhlině) jsou v různých úrovních  $\Rightarrow$  je nutné určit referenční teplotu třmínku  $\theta_p$ .

# Metoda pro ověření únosnosti ve smyku a kroucení

## Smyk



[1,2]

# Metoda pro ověření únosnosti ve smyku a kroucení

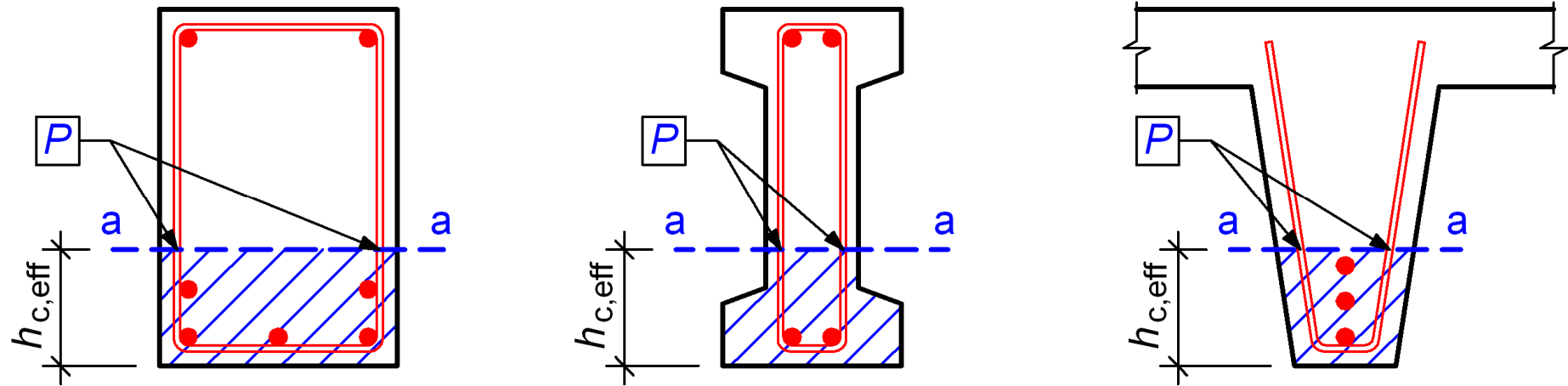
## Smyk

### Postup posouzení

- Stanoví rozměry redukováného průřezu (metodou izotermie 500 °C nebo zónovou metodou).
- Pro redukováný průřez se stanoví odpovídající návrhová hodnota pevnosti betonu v tlaku a v tahu při požáru.
- Stanoví se výška  $h_{c,eff}$  účinné tahové oblasti průřezu  $A_{c,eff}$  (ČSN EN 1992-1-1, kap. 7.3 Omezení trhlin), která určuje polohu vodorovného řezu a-a (omezuje oblast  $A_{c,eff}$  shora).
- Stanoví se referenční teplota  $\theta_p$  v bodě P, který je definován jako průsečík osy třmínku s řezem a-a.

# Metoda pro ověření únosnosti ve smyku a kroucení

## Smyk



[1,2]

- V závislosti na teplotě  $\theta_p$  se určí návrhová hodnota pevnosti (resp. meze kluzu) třmínku při požární situaci.
- Ověření smykové únosnosti se provede metodami uvedenými v normě ČSN EN 1992-1-1 při uvážení redukováných materiálových charakteristik a redukovaného průřezu.

# Metoda pro ověření únosnosti ve smyku a kroucení

## Kroucení

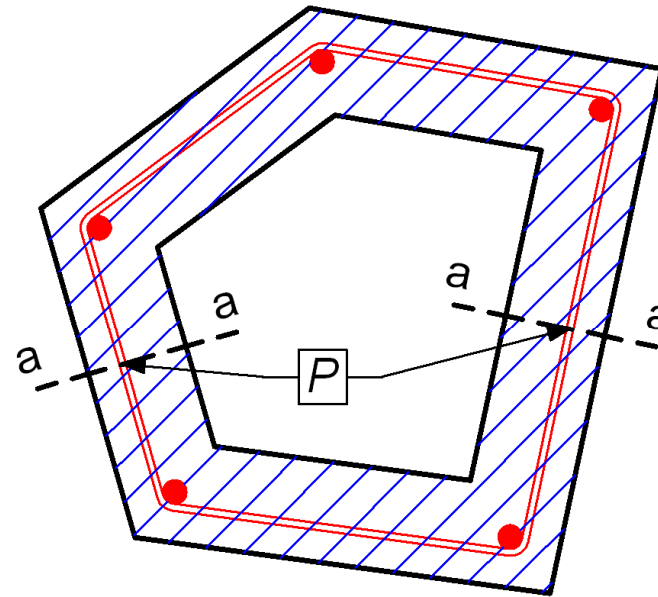
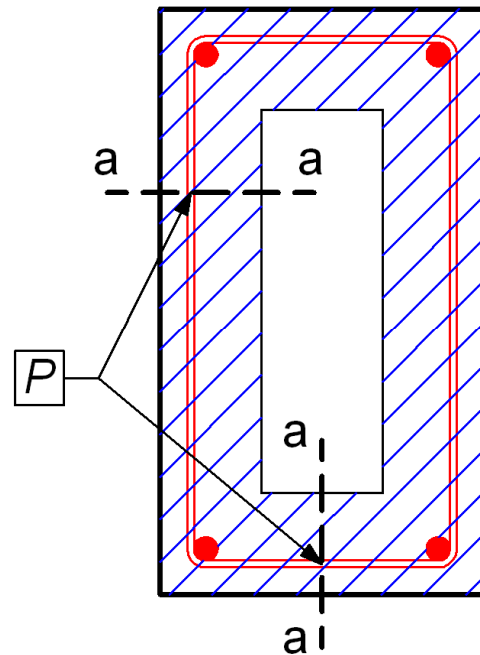
### Postup posouzení

- Stanoví se rozměry redukováného průřezu a návrhové hodnoty pevností betonu v tlaku a v tahu při požární situaci.
- Stanoví se referenční teplota  $\theta_p$  v bodě  $P$  - průsečíku osy třmínku s řezem a-a (řez kolmý na stěnu průřezu, kterému odpovídá maximální teplota).
- Určí se návrhová hodnota pevnosti (resp. meze kluzu) třmínku při požární situaci (v závislosti na teplotě  $\theta_p$ ).



# Metoda pro ověření únosnosti ve smyku a kroucení

## Kroucení



[1,2]

- Ověření únosnosti v kroucení se provede metodami uvedenými v normě ČSN EN 1992-1-1 při uvážení redukováných materiálových charakteristik a redukováného průřezu.

# Zpřesněné výpočetní metody

- Slouží k realistickému přiblížení skutečného chování konstrukcí nebo jejich částí vystavených účinkům požáru.
- Normě ČSN EN 1992-1-2 udává pouze hlavní zásady, které musejí být při použití zpřesněných výpočetních metod dodrženy.
- Lze použít v souvislosti s jakoukoli teplotní křivkou, pokud jsou pro ni známy závislosti vlastností materiálů na teplotě.
- Způsoby porušení, které metoda nezohledňuje (např. odštěpování, lokální vybočení tlakové výztuže), musejí být vyloučeny jiným způsobem (např. doplňujícím výpočtem, konstrukční úpravou).

# Zpřesněné výpočetní metody

- Musí zahrnovat výpočetní modely pro stanovení vývoje rozložení teploty v konstrukci (prvku) a jejího mechanického chování  $\Rightarrow$  **model teplotní odezvy a model mechanické odezvy** (modely mohou být různě složité a navzájem různě propojené).
- Přesnost výpočetních modelů musí být ověřena na základě odpovídajících výsledků experimentů.

# Zpřesněné výpočetní metody

## Model teplotní odezvy

- Musí vycházet z obecně uznávaných zásad a předpokladů teorie sdílení tepla.
- Musí zahrnovat příslušné tepelné zatížení definované v normě ČSN EN 1991-1-2.
- Musí zohledňovat závislost teplotních a fyzikálních vlastností materiálů na teplotě.
- Vliv vlhkosti a jejího transportu je možné ve výpočtu konzervativně zanedbat.

# Zpřesněné výpočetní metody

## Model teplotní odezvy

- Vliv výztuže lze zanedbat (analyzuje se pouze samotná betonová konstrukce nebo její část). Teploty ve výztužných prutech lze považovat za shodné s teplotami betonu v místech těžišť výztužných prutů.
- Vliv nerovnoměrného vystavení požáru a vliv transportu tepla do sousedních konstrukčních prvků lze v opodstatněných případech zahrnout do výpočtu.

# Zpřesněné výpočetní metody

## Model mechanické odezvy

- Musí vycházet z obecně uznávaných zásad a předpokladů stavební mechaniky.
- Je nutné uvažovat závislost mechanických vlastností materiálů na teplotě.
- Deformace v mezním stavu únosnosti musí být při použití výpočetních metod omezeny tak, aby byla zajištěna kompatibilita mezi jednotlivými částmi konstrukce.
- Použité okrajové podmínky musí respektovat skutečné chování konstrukce při vystavení požáru.

# Zpřesněné výpočetní metody

## Model mechanické odezvy

- Je nutné zohlednit vliv geometrické nelinearity.
- Celkové poměrné přetvoření  $\varepsilon$  lze stanovit jako součet jednotlivých složek přetvoření

$$\varepsilon = \varepsilon_{\sigma} + \varepsilon_{th} + \varepsilon_{cr} + \varepsilon_{tr}$$

- Výpočet únosnosti může být založen na plastické analýze.
- Při stanovení plastické rotační kapacity železobetonových průřezů se má zohlednit zvetšení mezních poměrných přetvoření  $\varepsilon_{cu}$  a  $\varepsilon_{su}$  při zvýšených teplotách.

# Zpřesněné výpočetní metody

## Model mechanické odezvy

- Pro prvky s ovinutou výztuží se má přihlídnout ke vlivu ovinuté výztuže na mezní poměrné přetvoření betonu.
- Tlačené oblasti průřezů, zejména při jejich přímém vystavení účinkům požáru, mají být navrženy a provedeny s ohledem na možné odštěpování betonu.





**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.
- [3] Procházka, J. - Štefan, R. Zavádění EN 1992-1-2: „Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-2: Navrhování na účinky požáru“ do praxe - Zjednodušená výpočetní metoda pro nosníky a desky. Beton TKS, 2010, roč. 10, č. 5, s. 80-83. ISSN 1213-3116.
- [4] Procházka, J. - Sura, J. - Štefan, R. Zavádění EN 1992-1-2: „Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-2: Navrhování na účinky požáru“ do praxe - Výpočetní metoda pro ověření smykové únosnosti. Beton TKS, 2011, roč. 11, č. 5, s. 73-77. ISSN 1213-3116.

© Jaroslav Procházka, Radek Štefan 2011-2016

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!