

133PSBZ

Požární spolehlivost betonových a zděných konstrukcí

Přednáška A4

ČVUT v Praze, Fakulta stavební
katedra betonových a zděných konstrukcí

Obsah přednášky

Principy návrhu betonových a zděných konstrukcí na účinky požáru

- Materiálové vlastnosti
- Zatížení při požární situaci
- Ověření požární odolnosti

Návrhové přístupy

Principy návrhu

- Výpočetní model má vystihovat chování konstrukce při požáru.
- V obvyklých případech postačuje řešení konstrukce po částech, příp. po jednotlivých prvcích - nutno zohlednit příslušné okrajové podmínky (způsob podepření, pokles podpor, deformace v důsledku ohřátí).
- Místo výpočtu lze návrh provést na základě zkoušek, příp. s využitím kombinace zkoušek a výpočtů.
- Pro vlastní návrh je nutné definovat:
 - návrhové hodnoty materiálových vlastností,
 - účinky zatížení,
 - podmínky spolehlivosti při požáru.

Principy návrhu

Materiálové vlastnosti

- Návrhové hodnoty mechanických vlastností

$$X_{d,fi} = k_{\theta} \cdot \frac{X_k}{\gamma_{M,fi}} \quad \text{např.} \quad f_{cd,fi} = k_{c,\theta} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{C,fi}}$$

- $X_{d,fi}$... návrhová hodnota materiálové vlastnosti při požární situaci
- k_{θ} ... součinitel pro redukci charakteristické hodnoty materiálové vlastnosti v závislosti na teplotě materiálu
- X_k ... charakteristická hodnota materiálové vlastnosti pro návrh při běžné teplotě
- $\gamma_{M,fi}$... dílčí součinitel spolehlivosti materiálu při požární situaci (pro beton, ocel i zdivo platí $\gamma_{M,fi} = 1,0$)

Principy návrhu

Materiálové vlastnosti

- Návrhové hodnoty teplotních a fyzikálních vlastností
 - pokud je zvýšení hodnoty vlastnosti pro bezpečnost příznivé

$$X_{d,fi} = \frac{X_{k,\theta}}{\gamma_{M,fi}} \quad \text{např.} \quad c_{pd,fi} = \frac{c_{pk,\theta}}{\gamma_{C,fi}}$$

- pokud je zvýšení hodnoty vlastnosti pro bezpečnost nepříznivé

$$X_{d,fi} = \gamma_{M,fi} \cdot X_{k,\theta} \quad \text{např.} \quad \lambda_{d,fi} = \gamma_{C,fi} \cdot \lambda_{k,\theta}$$

$X_{k,\theta}$... charakteristická hodnota materiálové vlastnosti při požární situaci (obecně závislá na teplotě)

Principy návrhu

Zatížení při požární situaci

- Uvažuje se mimořádná návrhová situace dle ČSN EN 1990
- Pro stanovení účinků zatížení $E_{d,fi,t}$ se uvažuje kombinace:

$$E_d = E \left\{ G_{k,j}; P; A_d; \left(\psi_{1,1} \text{ nebo } \psi_{2,1} \right) \cdot Q_{k,1}; \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\} \quad j \geq 1; i > 1$$

$G_{k,j}$... charakteristická hodnota j -tého stálého zatížení
P	... příslušná reprezentativní hodnota zatížení od předpětí
A_d	... návrhová hodnota mimořádného (požárního) zatížení
ψ_1	... součinitel pro častou hodnotu proměnného zatížení
ψ_2	... součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení
$Q_{k,1}$... charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení
$Q_{k,i}$... charakteristická hodnota i -tého proměnného zatížení

Principy návrhu

Zatížení při požární situaci

- Dle NA ČSN EN 1991-1-2 se v ČR pro reprezentativní hodnotu proměnného zatížení $Q_{k,1}$ použije kvazistálá hodnota $\psi_{2,1} \cdot Q_{k,1}$.
- V určitých případech (s ohledem na charakter konstrukce budovy a její umístění), zejména u halových objektů, se má dle NA ČSN EN 1991-1-2 pro zatížení sněhem a větrem při požární situaci použít častá hodnota $\psi_{1,1} \cdot Q_{k,1}$.

Principy návrhu

Zatížení při požární situaci

- Doporučené hodnoty součinitelů ψ pro pozemní stavby dle ČSN EN 1990, tab. A.1.1 (výběr)

Kategorie užitných zatížení pro pozemní stavby (viz ČSN EN 1991-1-1)	ψ_0	ψ_1	ψ_2
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

Principy návrhu

Zatížení při požární situaci

- Pro požární situaci představuje A_d návrhovou hodnotu mimořádného zatížení v důsledku teplotního namáhání (rovnoměrné a nerovnoměrné ohřátí konstrukce v podélném a příčném směru).
- Při výpočtu účinků nepřímého zatížení je nutné zohlednit skutečné tuhosti jednotlivých konstrukčních prvků, včetně tuhostí ve stycích a v uložení (při uvažování shodné tuhosti jako při 20 °C vycházejí velmi nepřesné výsledky - výsledné vnitřní síly jsou mnohonásobně větší, než by odpovídalo reálnému namáhání).

Principy návrhu

Zatížení při požární situaci

- V některých případech lze účinek mimořádného požárního zatížení zanedbat (např. u staticky určitých konstrukcí nebo tam, kde je zanedbání nepřímého požárního zatížení konzervativní).
- V těchto případech je možné účinky zatížení zjednodušeně stanovit pouze pro čas $t = 0$ podle uvedeného vztahu, kde $A_d = 0$.

Principy návrhu

Zatížení při požární situaci

- **Další zjednodušení** (velmi často používané) - účinky zatížení při požární situaci lze odvodit z účinků stanovených při návrhu za běžné teploty:

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

E_d ... návrhová hodnota příslušných účinků zatížení za běžné teploty pro základní kombinaci podle ČSN EN 1990

$E_{d,fi}$... odpovídající konstantní návrhová hodnota pro požární situaci

η_{fi} ... redukční součinitel pro úroveň návrhového zatížení při požární situaci

Principy návrhu

Zatížení při požární situaci

- Stanovení součinitele η_{fi}
 - pokud byla při návrhu za běžné teploty uvažována kombinace zatížení podle vztahu (6.10) ČSN EN 1990

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

ψ_{fi} se uvažuje jako $\psi_{1,1}$ nebo $\psi_{2,1}$ viz výše

Principy návrhu

Zatížení při požární situaci

- Stanovení součinitele η_{fi}
 - pokud byla při návrhu za běžné teploty uvažována kombinace zatížení podle vztahů (6.10a) a (6.10b) ČSN EN 1990, uvažuje se větší z hodnot:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1}}; \quad \eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\xi \cdot \gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}}$$

ξ ... redukční součinitel pro nepříznivé stálé zatížení G

Principy návrhu

Zatížení při požární situaci

- Stanovení součinitele η_{fi}
 - konzervativně lze uvažovat hodnotu

$$\eta_{fi} = 0,7$$

pro betonové konstrukce

$$\eta_{fi} = 0,65$$

pro zděné konstrukce, s výjimkou užitého zatížení kategorie E (prostory pro skladování a průmyslovou činnost), pro které je doporučena hodnota

$$\eta_{fi} = 0,7$$

Principy návrhu

Ověření požární odolnosti

Podmínky spolehlivosti při posouzení požární odolnosti lze formulovat:

- z hlediska času

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

$t_{d,fi}$... návrhová doba požární odolnosti

$t_{fi,req}$... požadovaná doba požární odolnosti

Principy návrhu

Ověření požární odolnosti

Podmínky spolehlivosti při posouzení požární odolnosti lze formulovat:

- z hlediska únosnosti

$$R_{d,fi,t} \geq E_{d,fi,t}$$

$R_{d,fi,t}$... návrhová hodnota únosnosti prvku při požární situaci v čase t

$E_{d,fi,t}$... návrhová hodnota příslušných účinků zatížení při požární situaci v čase t

Principy návrhu

Ověření požární odolnosti

Podmínky spolehlivosti při posouzení požární odolnosti lze formulovat:

- z hlediska teploty

$$\theta_d \leq \theta_{d,cr}$$

θ_d ... návrhová hodnota teploty materiálu

$\theta_{d,cr}$... návrhová hodnota kritické teploty materiálu

Principy návrhu

Ověření požární odolnosti

Pro betonové a zděné konstrukce se posouzení nosné funkce (kritérium **R**) provádí ověřením podmínky z hlediska únosnosti, posouzení požárně dělicí funkce (kritéria **EI**) se provádí ověřením podmínky z hlediska teploty.

Principy návrhu

Ověření požární odolnosti

Při vystavení **nominálnímu požáru** musí prvky splňovat kritéria R, E a I takto:

- pouze nosnost R
- pouze dělicí funkce (celistvost + izolace) EI
- nosnost a dělicí funkce REI
- nosnost, dělicí funkce a mechanická odolnost REI-M
- dělicí funkce a mechanická odolnost EI-M

Principy návrhu

Ověření požární odolnosti

- Kritérium **R** se považuje za splněné, pokud je nosná funkce zachována během požadované doby vystavení účinkům požáru.
- Kritérium **I** se považuje za splněné, pokud průměrný vzrůst teploty na celém odvráceném povrchu je omezen na 140 K a maximální vzrůst teploty na kterémkoli místě tohoto povrchu nepřekročí 180 K.
- Kritérium **E** se považuje za splněné, jestliže je zabráněno průniku plamenů a horkých plynů dělicími prvky.

Principy návrhu

Ověření požární odolnosti

- Pokud má svislý dělicí prvek vyhovět požadavku na odolnost vůči nárazu (kritérium **M**), má prvek odolat vodorovnému soustředěnému zatížení uvedenému v ČSN EN 1363-2.

Principy návrhu

Ověření požární odolnosti

Při vystavení **parametrickému požáru** má být nosná funkce zachována po dobu plně rozvinutého požáru včetně dohořívání nebo po stanovenou dobu. Dělicí funkce je zajištěna tehdy, jestliže jsou splněny následující podmínky:

- průměrný vzrůst teploty na celém odvráceném povrchu do doby dosažení nejvyšší teploty plynu v požárním úseku je omezen na 140 K a maximální vzrůst teploty na kterémkoli místě tohoto povrchu nepřekročí 180 K

Principy návrhu

Ověření požární odolnosti

- během dohořívání má být průměrný vzrůst teploty na celém odvráceném povrchu omezen na $\Delta\theta_1$ a maximální vzrůst teploty na kterémkoli místě tohoto povrchu nepřekročí $\Delta\theta_2$
 - pro betonové konstrukce $\Delta\theta_1 = 200 \text{ K}$ $\Delta\theta_2 = 240 \text{ K}$
 - pro zděné konstrukce $\Delta\theta_1 = 180 \text{ K}$ $\Delta\theta_2 = 220 \text{ K}$

Návrhové přístupy

Rozdělení dle úrovně přesnosti a komplexnosti

- analýza prvku
- analýza části konstrukce
- globální analýza konstrukce

Návrhové přístupy

Rozdělení dle použitých metod návrhu [6]

- návrh založený na normalizovaných zkouškách požární odolnosti
- návrh s využitím tabulkových údajů
- návrh pomocí zjednodušených výpočetních metod
- návrh pomocí zpřesněných výpočetních metod
- návrh vycházející z požární zkoušky celé konstrukce (*full-scale testing*)

tabulky a zkoušky ... tzv. *osvědčená návrhová řešení*

Návrhové přístupy

Rozdělení dle uvažovaného modelu požáru [6]

- požární scénář předpokládající rovnoměrné rozložení teploty plynů v požárním úseku (nominální teplotní křivky, parametrické teplotní křivky)
- požární scénář předpokládající nerovnoměrné rozložení teploty plynů v požárním úseku (vicezónové modely, výpočetní dynamické modely)

Návrhové přístupy

Faktory ovlivňují volbu návrhového přístupu

- typ konstrukce (typická, atypická)
- účel objektu (provoz)
- požadovaná přesnost vystižení reálné odezvy konstrukce při vystavení požáru
- dostupný výpočetní aparát
- použité materiály (běžné, netradiční)
- požadavek na rychlost dosažení výsledků apod.

Návrhové přístupy - možné kombinace [6]

		Požární scénář		
		Rovnoměrné rozložení teploty v požárním úseku		Nerovnoměrné rozložení teploty v požárním úseku
		Nominální teplotní křivky	Parametrické teplotní křivky	
Úroveň návrhu	Analýza prvku	Zkoušky Tabulky <i>Zjednodušené metody</i> <i>Zpřesněné metody</i>	Zkoušky? Tabulky? <i>Zjednodušené metody</i> <i>Zpřesněné metody</i>	Zkoušky <i>Zjednodušené metody</i> <i>Zpřesněné metody</i>
	Analýza části konstrukce	Zkoušky? <i>Zjednodušené metody?</i> <i>Zpřesněné metody</i>	Zkoušky? <i>Zjednodušené metody?</i> <i>Zpřesněné metody</i>	Zkoušky <i>Zpřesněné metody</i>
	Globální analýza konstrukce	<i>Zpřesněné metody</i>	<i>Zpřesněné metody</i>	Zkoušky <i>Zpřesněné metody</i>

„?“ v současnosti tuto metodu nelze použít, avšak není vyloučeno, že v budoucnu to možné bude.

Návrhové přístupy

Norma ČSN EN 1992-1-2 pro betonové konstrukce

- Tabulkové hodnoty pro
 - sloupy
 - stěny
 - tažené prvky
 - nosníky
 - desky

Návrhové přístupy

Norma ČSN EN 1992-1-2 pro betonové konstrukce

- Zjednodušené výpočetní metody
 - 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)

Návrhové přístupy

Norma ČSN EN 1992-1-2 pro betonové konstrukce

- Zpřesněné výpočetní metody
 - norma definuje pouze obecné zásady
- Požární zkoušky
 - nejsou předmětem *návrhových norem* (stanovení požární odolnosti pomocí požárních zkoušek se provádí podle příslušných *zkušebních norem*)
- Normu ČSN EN 1992-1-2 nelze použít pro konstrukce s vnější předpínací výztuží a pro skořepinové konstrukce!

Návrhové přístupy

Norma ČSN EN 1996-1-2 pro zděné konstrukce

- Tabulkové hodnoty udávající
 - min tl. nenosných dělicích stěn (**EI**)
 - min tl. dělicích nosných jednovrstvých stěn (**REI**)
 - min tl. neděl. nosných jednovrst. stěn délky $\geq 1,0$ m (**R**)
 - min délky neděl. nosn. jednovrst. stěn délky $< 1,0$ m (**R**)
 - min tl. dělicích nosných a nenosných jednovrstvých i zdvojených požárních stěn (**REI-M** a **EI-M**)
 - min tl. dělicích nosných vrstvených (dutinových) stěn s jednou zatíženou dílčí stěnou (kritéria **REI**).

Návrhové přístupy

Norma ČSN EN 1996-1-2 pro zděné konstrukce

- Zjednodušené výpočetní metody
 - uvedena 1 metoda v příloze C
 - nejsou definovány hodnoty redukčních součinitelů
 - pochybnosti ohledně uvedených teplotních profilů

→ metodu nelze prakticky využít

Návrhové přístupy

Norma ČSN EN 1996-1-2 pro zděné konstrukce

- Zpřesněné výpočetní metody
 - norma definuje pouze obecné zásady
- Požární zkoušky
 - nejsou předmětem *návrhových norem* (stanovení požární odolnosti pomocí požárních zkoušek se provádí podle příslušných *zkušebních norem*)



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 1990. Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: ČNI, 2004.
- [3] ČSN EN 1991-1-2. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-2: Obecná zatížení - Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru. Praha: ČNI, 2004.
- [4] ČSN EN 1992-1-2. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru. Praha: ČNI, 2006.
- [5] ČSN EN 1996-1-2. Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru. Praha: ČNI, 2006.
- [6] Fire Design of Concrete Structures - Material, Structures and Modelling (Bulletin 38). Lausanne: fib, 2007.

© Jaroslav Procházka, Radek Štefan 2011-2016

Poslední úprava: 26.10.2016

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!