

133YPNB
Požární návrh betonových a zděných konstrukcí

5. přednáška

Ing. Radek Štefan

ČVUT v Praze, Fakulta stavební
katedra betonových a zděných konstrukcí

Obsah přednášky

Zpřesněné výpočetní metody

Specifika návrhu prvků z vysokopevnostního betonu (HSC)

- Úvod
- Redukce pevnosti HSC
- Odštěpování HSC
- Teplotní a fyzikální vlastnosti HSC
- Návrh konstrukce z HSC

Informace k testu

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 ⇒ **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 ε 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 ε_{cu} a ε_{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.

Specifika návrhu prvků z vysokopevnostního betonu (HSC)

- Úvod
- Redukce pevnosti HSC
- Odštěpování HSC
- Teplotní a fyzikální vlastnosti HSC
- Návrh konstrukce z HSC

Úvod

- Vysokohodnotné betony (HPC) včetně vysokopevnostních betonů (HSC) jsou náchylnější k porušení při požáru (zejména k odštěpování) než betony běžné.
- Důvody: vysoká hutnost
nízký vodní součinitel
nízká pórovitost
nízká permeabilita

“Pokud vzhledem k dosaženým vlastnostem hovoříme z hlediska chování při běžné teplotě o tzv. vysokohodnotných betonech, měli bychom ty samé betony označit jako „nízkohodnotné“ ve vztahu k jejich požární odolnosti.“ [3,4]

Úvod

- Norma ČSN EN 1992-1-2 udává pro HSC doplňující pravidla a postupy.
- Tato pravidla lze použít pouze v souvislosti s normovým požárem.

Redukce pevnosti HSC

- Norma rozlišuje tři skupiny HSC

Skupina	Beton (pevnostní třída)
skupina 1	C55/67, C60/75
skupina 2	C70/85, C80/95
skupina 3	C90/105

- Pro tyto skupiny jsou uvedeny hodnoty redukčního součinitele pro redukci charakteristické pevnosti v tlaku

Redukce charakteristické hodnoty pevnosti HSC v tlaku při zvýšených teplotách [1,2]

Teplota θ [°C]	$f_{ck,\theta}/f_{ck}$		
	Skupina 1	Skupina 2	Skupina 3
(1)	(2)	(3)	(4)
20	1,00	1,00	1,00
50	1,00	1,00	1,00
100	0,90	0,75	0,75
200	-	-	0,70
250	0,90	-	-
300	0,85	-	0,65
400	0,75	0,75	0,45
500	-	-	0,30
600	-	-	0,25
700	-	-	-
800	0,15	0,15	0,15
900	0,08	-	0,08
1000	0,04	-	0,04
1100	0,01	-	0,01
1200	0,00	0,00	0,00

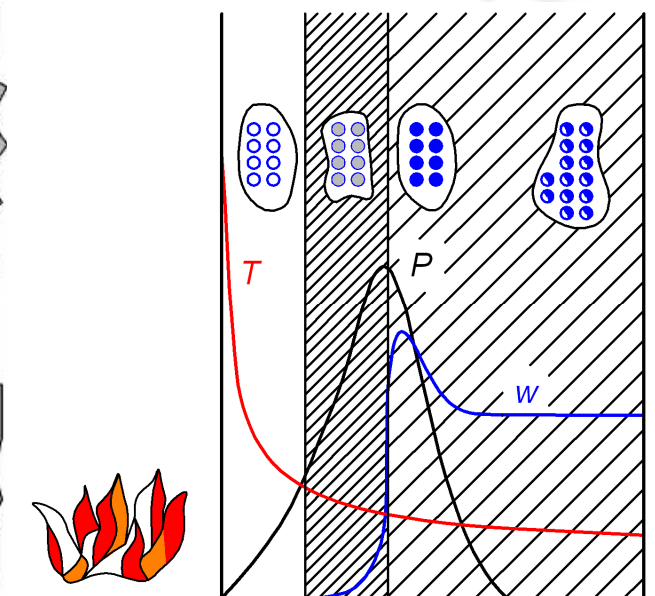
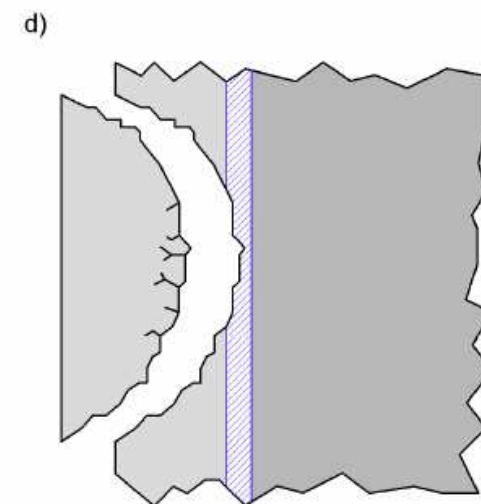
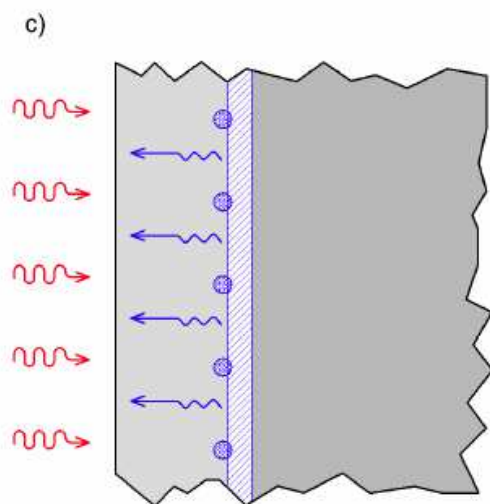
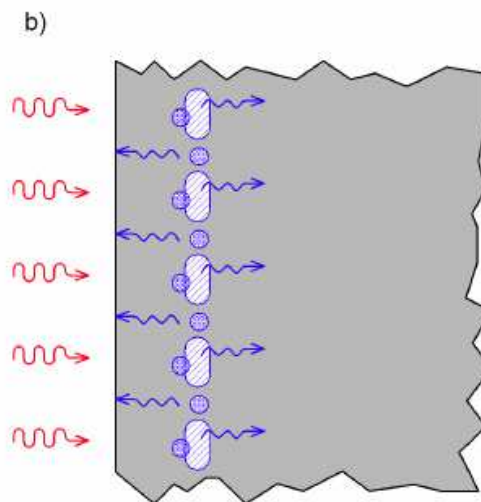
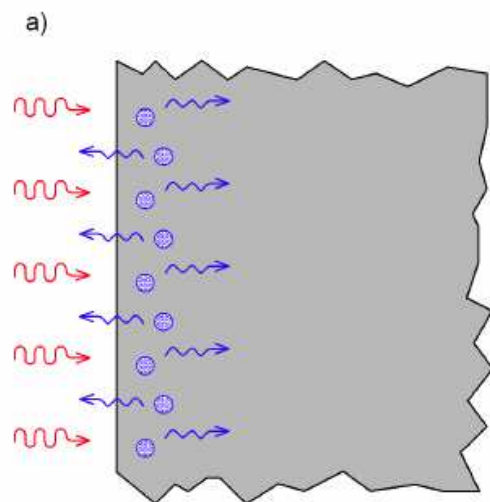
Odštěpování HSC

Odštěpování obecně

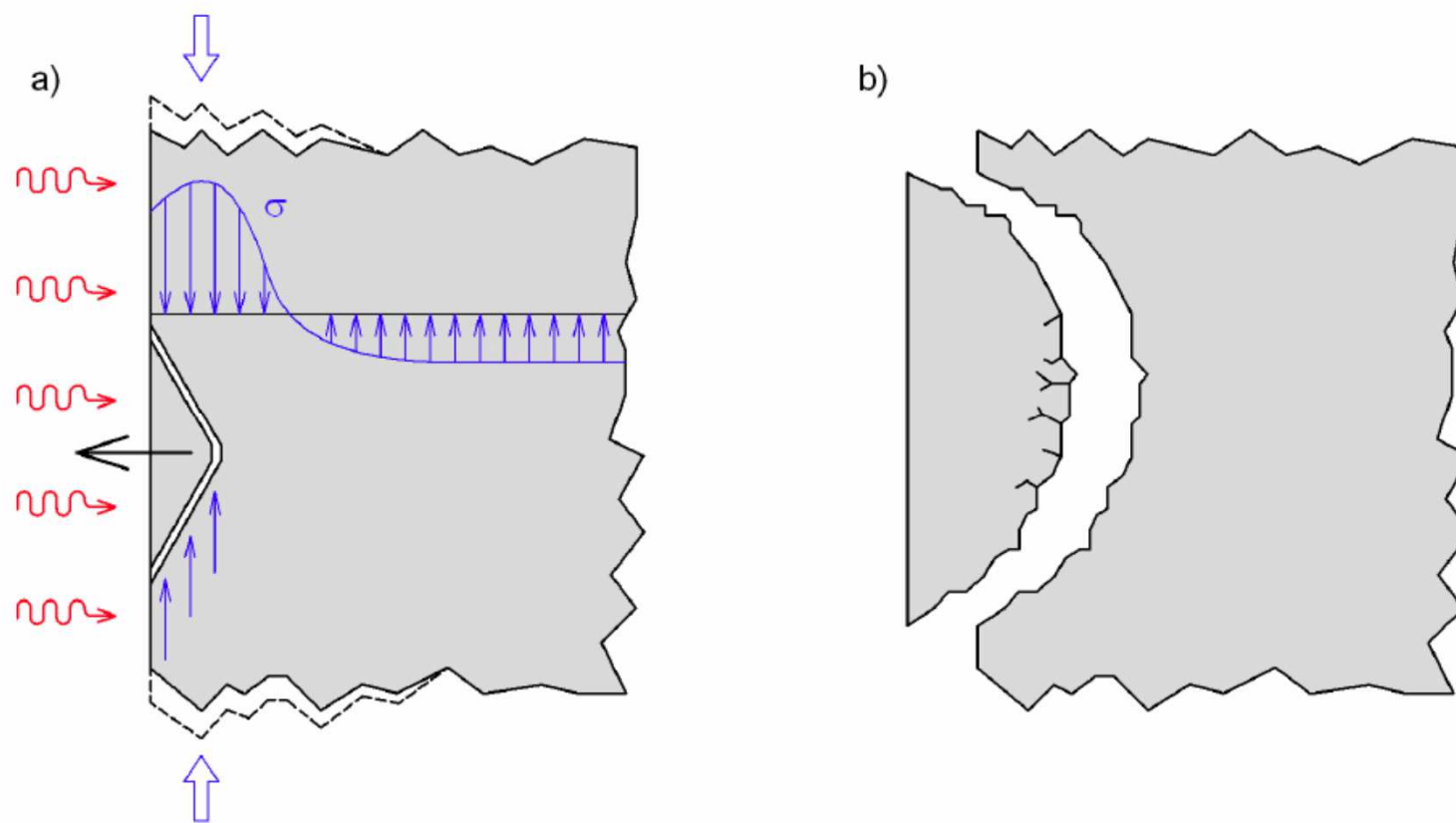
“Oddělování vrstev nebo jednotlivých částí betonu z povrchu konstrukčního prvku při vystavení vysokým a rychle rostoucím teplotám“ [1]



Hypotéza založená na nárůstu pórových tlaků [7,8]



Hypotéza založená na nárůstu teplotních napětí [7,8]



Odštěpování HSC

Opatření pro běžné betony

Explozivní odštěpování

- Při vlhkosti $\leq 3\%$ hm. betonu - odštěp. nepravděpodobné.
- Při vyšší vlhkosti nutno posoudit.
- Posouzení není nutné, pokud se experimentálně prokáže, že odštěpování nemá vliv na únosnost, nebo pokud jsou navržena ověřená ochranná opatření.
- Pro nosníky, desky a tažené prvky - posouzení nosné funkce s ohledem na ztrátu krycí vrstvy jednoho výztužného prutu.

Odštěpování HSC

Opatření pro běžné betony

Explozivní odštěpování

- Pro prvky s dostatečně velkým počtem výztužných prutů - vzhledem k možnosti redistribuce namáhání nemá případné odštěpování betonu vliv na nosnou funkci prvku.

Odpadávání betonu

- Je-li osová vzdálenost výztuže od líce průřezu ≥ 70 mm a není-li zkouškami prokázáno, že k odpadávání betonu nedojde - nutný návrh povrchové výztužné sítě (průměr prutů min. 4 mm, rozteče max. 100 mm).

Odštěpování HSC

Opatření pro HSC

- Pro betony ze skupin 1 a 2 (C55/67 až C80/95), které mají obsah křemičitého úletu $< 6 \%$ hm. cementu, platí pravidla jako pro běžné betony.
- Pokud je obsah křemičitého úletu $\geq 6 \%$ nebo pokud se použije beton skupiny 3 (C90/105), nutno provést alespoň jeden z následujících postupů:
 - 1) Navrhne se povrchová výztužná síť s krytím 15 mm, pruty o průměru min. 2 mm, rozteče v obou směrech max. 50 mm. Krycí vrstva hlavní výztuže ≥ 40 mm.

Odštěpování HSC

Opatření pro HSC

- 2) Použije se beton, pro který prokazatelně (zkoušky nebo místní zkušenosti) při jeho vystavení účinkům požáru k odštěpování nedojde.
- 3) Navrhnou se ochranné vrstvy, které prokazatelně (zkoušky nebo místní zkušenosti) při požáru zamezují odštěpování betonu.
- 4) Do betonové směsi se použijí propylenová vlákna v množství $> 2 \text{ kg m}^{-3}$.

Teplotní a fyzikální vlastnosti HSC

- Lze použít teplotní a fyzikální vlastnosti uvedené pro běžné betony.
- V některých případech může být tepelná vodivost HSC vyšší, než by odpovídalo vztahům uvedeným pro běžné betony.

Návrh konstrukce z HSC

Návrh s využitím tabulkových hodnot

Lze použít tabulky uvedené v normě, pokud se dodrží následující pravidla:

- Tabulkové hodnoty minimálních rozměrů průřezu uvedené v normě pro prvky z běžného betonu je nutné při použití HSC zvětšit vynásobením výrazem:

$$\begin{array}{ll} [(k - 1) a_{\min}] & \text{pro stěny a desky vystavené požáru z jedné strany} \\ [2 (k - 1) a_{\min}] & \text{pro ostatní nosné prvky} \end{array}$$

Návrh konstrukce z HSC

Návrh s využitím tabulkových hodnot

Skupina	Součinitel k
skupina 1	1,1
skupina 2	1,3
skupina 3	není definován*

*) Při použití betonu skupiny 3 se má požární odolnost posoudit zpřesněnými výpočetními metodami.

- Tabulkové hodnoty osové vzdálenosti výztuže od nejbližšího líce průřezu vystaveného požáru uvedené v normě pro prvky z běžného betonu je nutné při použití HSC zvětšit vynásobením součinitelem k .

Návrh konstrukce z HSC

Návrh s využitím zjednodušených výpočetních metod

Sloupy a stěny

- Při použití metody izotermy 500 °C se tloušťka vyloučené zóny stanoví ze vztahu

$$a_z = k a_{500}$$

- Při použití zónové metody se moment únosnosti prvku namáhaného kombinací $M + V$ stanoví s uvážením modulu pružnosti betonu

$$E_{c,fi} = k_{c,\theta}^2 E_c$$

Návrh konstrukce z HSC

Návrh s využitím zjednodušených výpočetních metod

Nosníky a desky

- Při použití metody izotermy 500 °C se výsledný moment únosnosti stanoví ze vztahu

$$M_{Rd,fi} = M_{Rd,fi,500} k_m$$

Prvek	Součinitel k_m	
	Skupina 1	Skupina 2
nosník	0,98	0,95
deska vystavená požáru na tlačené straně	0,98	0,95
deska vystavená požáru na tažené straně, $h_1 \geq 120$ mm*	0,98	0,95
deska vystavená požáru na tažené straně, $h_1 = 50$ mm*	0,95	0,85

*) h_1 je tloušťka betonové desky. Pro mezilehlé hodnoty h_1 lze použít lineární interpolaci.

Návrh konstrukce z HSC

Návrh s využitím zpřesněných výpočetních metod

- Platí obecné zásady uvedené v normě.

A faint, stylized line drawing of a rooster is visible in the background, facing left. The drawing is composed of simple, thick outlines and is centered on the page.

Informace k testu

Informace k testu

- **Termín: čtvrtek 7. 5. 2015, 12:00, C-219 (na přednášce)**
- Test má **30 otázek** (každá za 1 bod).
- Výběr z nabízených možností, může být více správných odpovědí.
- Za správně zodpovězenou otázku se považuje ta, u které jsou označeny všechny správné odpovědi.
- Za chybně zodpovězenou otázku se body neodečítají.
- Pro splnění testu je nutné dosáhnout min **20 bodů** (v případě nesplnění bude možnost jedné opravy formou ústního přezkoušení).
- S sebou k testu - pouze psací potřeby!
- **POUŽITÍ JAKÉKOLI NEPOVOLENÉ POMŮCKY BĚHEM TESTU, OPISOVÁNÍ NEBO JINÉ PODVÁDĚNÍ BUDE MÍT ZA NÁSLEDEK AUTOMATICKÉ NEUDĚLENÍ ZÁPOČTU!**



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] Khoury, G.A. - Anderberg, Y. Fire safety design. Concrete spalling review. Swedish National Road Administration, 2000.
- [4] Procházka, J. - Štefan, R. - Beneš, M. Software pro modelování odštěpování betonu při požáru. Beton TKS, 2011. V tisku.
- [5] Fire damaged concrete tunnel segment [online]. Newkem. [cit. 8. 11. 2011]. URL: http://itscoming.codez.in/newkem/?page_id=678
- [6] Spalling of Reinforced Concrete slabs after severe fire test using catastrophic fire curve [online]. University of Ulster. 2009 [cit. 8. 11. 2011]. URL: <http://www.firesert.ulster.ac.uk/srg.php>
- [7] Zeiml, M. - Lackner, R. - Mang, H.A. Experimental Insight into Spalling Behavior of Concrete Tunnel Linings under Fire Loading. Acta Geotechnica 3 (2008), 295-308.
- [8] Štefan, R. Fire Resistance of Concrete Structures. Presentace při SDZ. 2010.

© Radek Štefan, Jaroslav Procházka 2011-13

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!