

133PSBZ

Požární spolehlivost betonových a zděných konstrukcí

Přednáška A12

ČVUT v Praze, Fakulta stavební
katedra betonových a zděných konstrukcí

Obsah přednášky

Navrhování zděných konstrukcí na účinky požáru

- Úvod
- Materiály
- Vlastnosti zdiva
- Návrhové přístupy

Úvod

- Zdivo = sestava zdicích prvků uložených podle stanoveného uspořádání a spojených maltou.
- Obecně nehořlavý materiál .
- Dle použitých materiálů (zdicích prvků a malty), způsobu provedení atd. - velmi různá požární odolnost.
- Navrhování zděných konstrukcí na účinky požáru se řídí normou **ČSN EN 1996-1-2** ve spojení s normami:
 - ČSN EN 1990 (zásady navrhování konstrukcí)
 - ČSN EN 1991-1-2 (zatížení konstr. vystavených účinkům požáru)
 - ČSN EN 1996-1-1 (zdivo - obecná pravidla pro nevyzt. a vyzt. k.)
 - ČSN EN 1996-2 (zdivo - materiály, konstruování, provádění)
 - ČSN EN 1996-3 (zdivo - metody výpočtu nevyztužených konstr.)

Úvod

Dle ČSN EN 1996-1-2 závisí chování zděné konstrukce při požáru na:

- materiálu, objemové hmotnosti a skupině zdicích prvků
- druhu malty
- poměru skutečného zatížení stěny vůči její únosnosti
- štíhlosti stěny
- excentricitě zatížení
- typu stěny podle funkce
- druhu povrchových úprav

Materiály

Zdicí prvky (ZP)

- pálené ZP
- vápenopískové ZP
- betonové tvárnice s hutným nebo pórovitým kamenivem
- pórobetonové tvárnice
- ZP z umělého kamene
- ZP z opracovaného přírodního kamene

Materiály

Zdicí prvky (ZP)

- Zatřídění do skupin dle:
 - objemu všech otvorů v [%],
 - objemu a průřezové plochy jednotlivých otvorů,
 - součtu tloušťky žeber ve vodorovném směru kolmém na líc stěny zdicího prvku.
- Celkem **5 skupin** - norma ČSN EN 1996-1-1 používá 4 skupiny (**1, 2, 3, 4**), norma ČSN EN 1996-1-2 navíc definuje ještě skupinu **1S**.
- Skupina 1S: otvory (dutiny) tvoří méně než **5 %** objemu ZP (ZP mohou navíc obsahovat prolisy, úchyty nebo drážky následně vyplněné maltou)

Materiály

Zdicí prvky (ZP)

- Skupina ZP obvykle deklarována výrobcem.
- Pórobetonové tvárnice, ZP z umělého kamene a ZP z opracovaného přírodního kamene - bezpečně skupina 1 (< 25 % objemových dutin).
- Ostatní ZP - viz tabulky v normě nebo informace od výrobce.

Materiály

Malty pro zdění

- Platí požadavky uvedené v ČSN EN 1996-1-1.
- Pro účely návrhu na účinky požáru se rozlišují:
 - obyčejné malty (spáry cca 10 mm),
 - malty pro tenké spáry (spáry 1 až 3 mm),
 - lehké malty.

Vlastnosti zdiva

- Mechanické vlastnosti zdiva při 20 °C jsou definovány v ČSN EN 1996-1-1.
- Vlastnosti při zvýšených teplotách lze zjistit ze zkoušek nebo z databáze příslušných údajů.
- Objemovou hmotnost zdiva lze uvažovat shodnou jako při 20 °C.

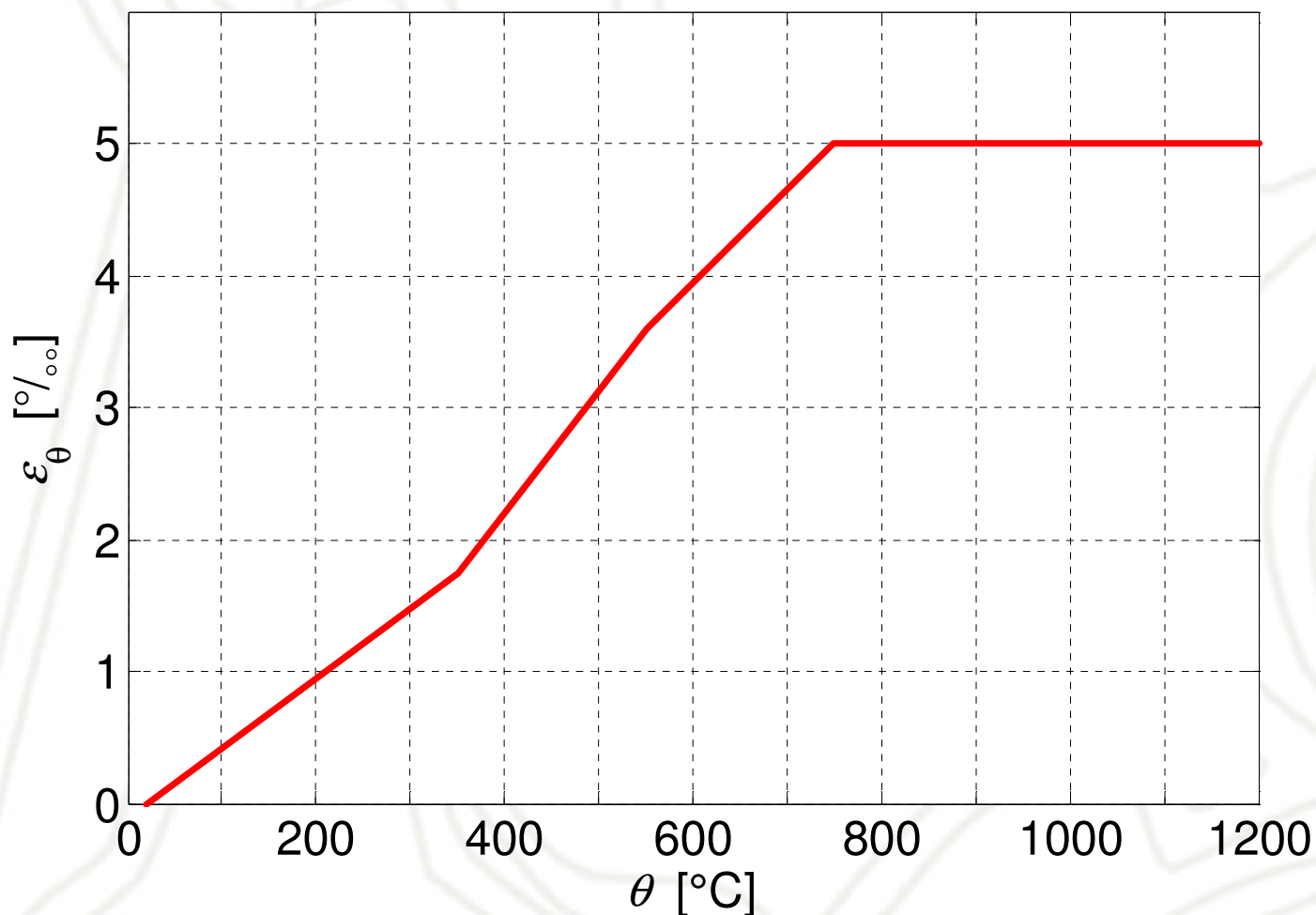
Vlastnosti zdiva

- V normě jsou uvedeny grafy vyjadřující poměrné teplotní přetvoření **zdiva** (ε_θ) v závislosti na teplotě a „relativizované“ pracovní diagramy **zdiva** (křivky $\sigma_{fi}/f_{c,20^\circ\text{C}} - \varepsilon_{fi}$) pro teploty (20, 150, 250, 350, 450, 550, 650, 750) °C pro:
 - pálené zdicí prvky sk. 1 o pevnosti v tlaku 12 až 20 MPa a objemové hmotnosti 900 až 1200 kg m⁻³
 - vápenopískové zdicí prvky o pevnosti v tlaku 12 až 20 MPa a objemové hmotnosti 1600 až 2000 kg m⁻³
 - betonové tvárnice s pórovitým kamenivem o pevnosti v tlaku 4 až 6 MPa a objem. hm. 600 až 1000 kg m⁻³

??? Vztahují se vlastnosti ke zdicímu prvku (EN) nebo zdivu (ČSN) ???

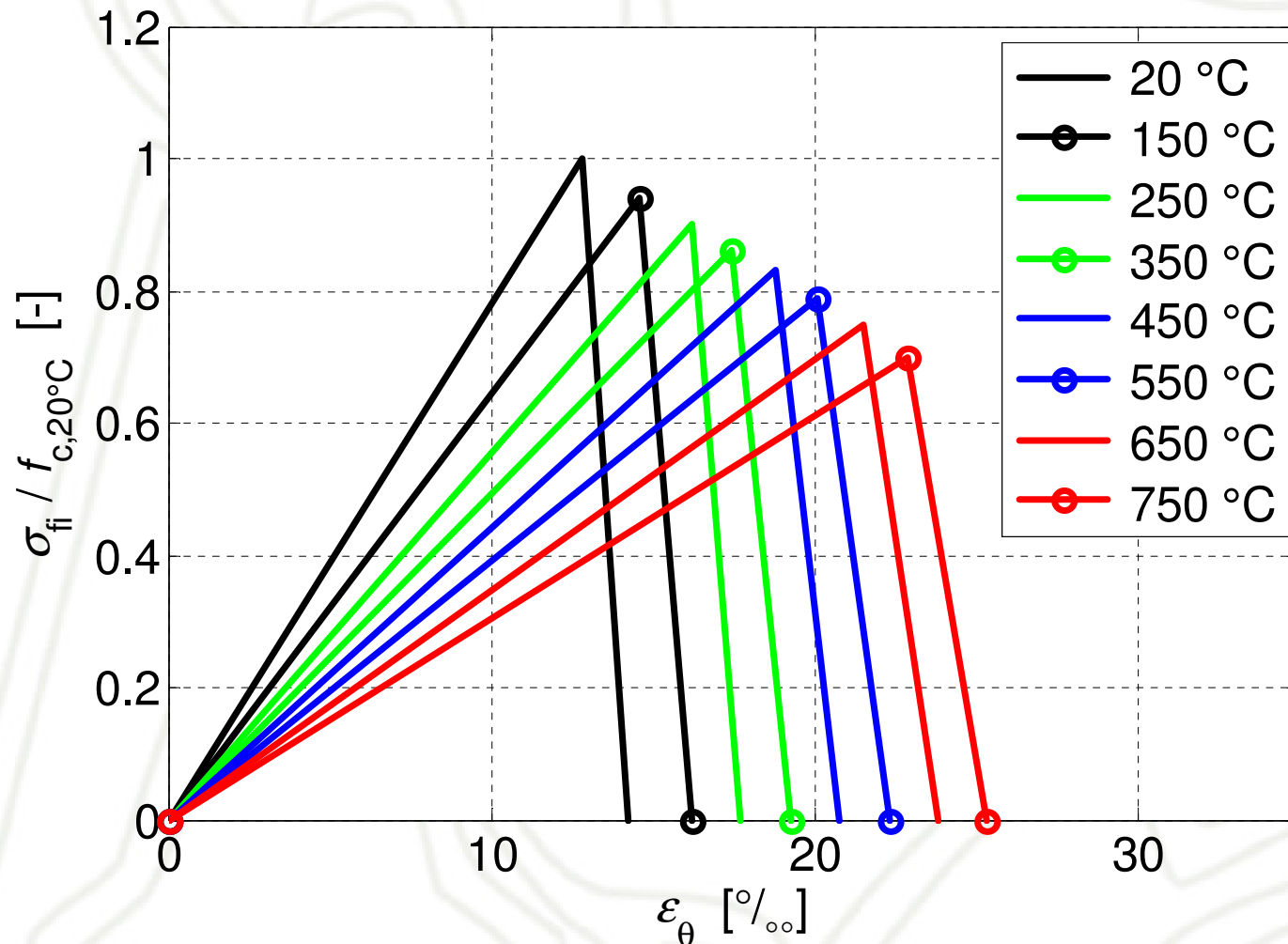
Vlastnosti zdiva

Teplotní poměrné přetvoření ε_θ pálených zdicích prvků (sk. 1) o pevnosti v tlaku 12 až 20 MPa a objemové hmotnosti 900 až 1200 kg m⁻³ [2]



Vlastnosti zdiva

Pracovní diagramy pálených zdicích prvků (sk. 1) o pevnosti v tlaku 12 až 20 MPa a objemové hmotnosti 900 až 1200 kg m⁻³ [2]



Vlastnosti zdiva

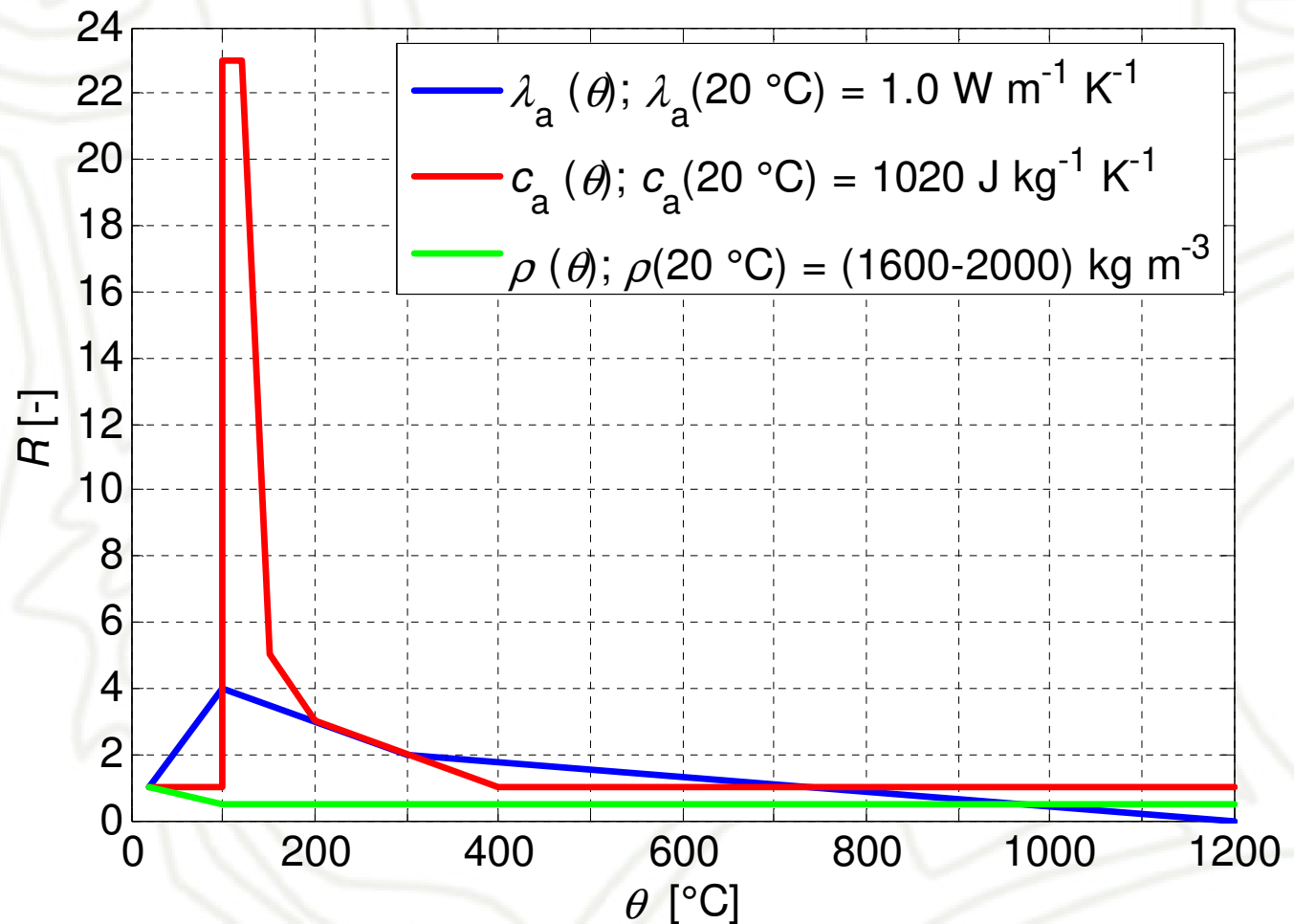
- Dále jsou v normě uvedeny grafy znázorňující teplotní závislost měrné tepelné kapacity c_a , tepelné vodivosti λ_a a objemové hmotnosti ρ ve vztahu k hodnotám při 20 °C pro:
 - pálené zdicí prvky o objem. hm. 900 až 1200 kg m⁻³
 - vápenopískové ZP o objem. hm. 1600 až 2000 kg m⁻³
 - betonové tvárnice s pórovitým kamenivem o objem. hm. 600 až 1000 kg m⁻³
 - pórobetonové tvárnice o objem. hm. 400 až 600 kg m⁻³

??? Vztahují se vlastnosti ke zdicímu prvku (EN) nebo zdivu (ČSN) ???

Vlastnosti zdiva

Tepelná vodivost, měrná tepelná kapacita a objemová hmotnost zdiva (vápenopískové zdicí prvky) dle ČSN EN 1996-1-2 [2,3]

R ... poměr hodnoty vlastnosti při teplotě θ k hodnotě při teplotě 20 °C



Návrhové přístupy

Návrh a posouzení je možné provést:

- na základě zkoušek (zejména v případě použití zdicích prvků s neznámou požární odolností)
- pomocí tabulkových hodnot uvedených v příloze **B** normy
- výpočtem:
 - prvek **x** část konstrukce **x** celá konstrukce
 - zjednodušená metoda **x** zpřesněná metoda
(viz 4. přednáška)

Návrhové přístupy

Zvláštní pozornost je třeba věnovat konstrukčním detailům

- **nesmí snižovat požární odolnost konstrukce!!!**

- spáry a spoje (včetně dilatací)
- instalace, kabely, potrubí

Příklady konstrukčních detailů - viz příloha **E** normy.

Návrhové přístupy

Tabulky

- definují **min. tloušťky** stěn, resp. **min. délky** stěn kratších než 1 m (pilíře) nutné pro splnění příslušné požární odolnosti
- požadované rozměry jsou dány ve dvou řádcích
 - 1 rozměr bez uvažování povrchové úpravy
 - (2) rozměr včetně povrchové úpravy (v závorkách)
- povrchová úprava: omítka tl. min **10 mm** na obou stranách jednovrstvé stěny, v případě dutinové stěny na straně vystavené požáru

Návrhové přístupy

Tabulky

- pokud jsou uvedeny dvě hodnoty oddělené lomítkem, je tím dán rozsah doporučených rozměrů (např. 100/140), podle národní přílohy ČR lze v těchto případech použít nižší z obou hodnot (tj. v uvedeném případě 100 mm)

Návrhové přístupy

Tabulky

Výběr tabulky

- dle použitých zdicích prvků (1 až 5)
- dle typu (funkce) stěny (1 až 6)

Označení tabulek

např.

N.B. 1.2

↑ zdicí prvek

↑ typ stěny

Návrhové přístupy

Tabulky

- dle použitých zdicích prvků (ZP)
 - 1 zdivo z pálených ZP
 - 2 zdivo z vápenopískových ZP
 - 3 zdivo z betonových tvárnic s hutným nebo pórovitým kamenivem
 - 4 zdivo z pórobetonových tvárnic
 - 5 zdivo ze ZP z umělého kamene

Návrhové přístupy

Tabulky

- dle typu (funkce) stěny tabulky udávají
 - 1 min. tloušťky nenosných dělicích stěn (EI)
 - 2 min. tloušťky dělicích nosných jednovrstvých stěn (REI)
 - 3 min. tl. nedělicích nosných jednovrstvých stěn délky $\geq 1,0$ m (R)
 - 4 min. délky nedělicích nosných jednovrst. stěn délky $< 1,0$ m (R)
 - 5 min. tloušťky dělicích nosných a nenosných jednovrstvých i zdvojených požárních stěn (REI-M a EI-M)
 - 6 min. tloušťky dělicích nosných vrstvených (dutinových) stěn s jednou zatíženou dílčí stěnou (REI)

Návrhové přístupy

Tabulky

Parametry, na základě kterých se v příslušné tabulce určí požadovaný rozměr

- požadovaná požární odolnost (vztažená k normové křivce)
- malta (obyčejná, pro tenké spáry, lehká)
- skupina ZP, pevnost ZP f_b [MPa]
- objemová hmotnost ρ [kg m^{-3}]
- součtová tloušťka ct [%]
- v případě 4 také tloušťka stěny (resp. pilíře)
- u nosných stěn (R - 2, 3, 4, 5, 6) parametr α - poměr skutečného zatížení a návrhové únosnosti stěny

Zdivo z pálených zdicích prvků - nejmenší tloušťka dělicích nosných jednovrstvých stěn (kritéria REI) [1,2 - N.B.1.2]

Číslo řádku	Materiál. vlastnosti: Pevnost zdicího prvku f_b [MPa] Objemová hmotnost ρ [kg m ⁻³] Součtová tloušťka ct [% tl. stěny]	Nejmenší tloušťka stěny t_F [mm] pro klasifikaci REI po dobu $t_{fi,d}$ [min]						
		30	45	60	90	120	180	240
1S	Skupina 1S							
1S.1	5 ≤ f_b ≤ 75, obyčejná malta 5 ≤ f_b ≤ 50, malta pro tenké spáry 1000 ≤ ρ ≤ 2400							
1S.1.1	$\alpha \leq 1,0$	90	90	90	100	100/140	170/190	170/190
1S.1.2		(70/90)	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(90/140)	(110/140)	(170/190)
1S.1.3	$\alpha \leq 0,6$	90	90	90	100	100/140	170	170
1S.1.4		(70/90)	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(100/140)	(110/140)	(140/170)
1	Skupina 1							
1.1	Malta: obyčejná a pro tenké spáry 5 ≤ f_b ≤ 75 800 ≤ ρ ≤ 2400							
1.1.1	$\alpha \leq 1,0$	90/100	90/100	90/100	100/170	140/170	170/190	190/210
1.1.2		(70/90)	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(100/140)	(110/170)	(170/190)
1.1.3	$\alpha \leq 0,6$	90/100	90/100	90/100	100/140	140/170	140/170	190/200
1.1.4		(70/90)	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(100/140)	(110/170)	(170/190)

Zdivo z pálených zdicích prvků - nejmenší délka nedělicích nosných jednovrstvých stěn o délce < 1,0 m (kritérium R) [1,2 - N.B.1.4]

Číslo řádku	Materiál. vlastnosti: Pevnost zdicího prvku f_b [MPa] Objemová hmotnost ρ [kg m ⁻³] Součtová tloušťka c_t [% tl. stěny]	Tloušťka stěny [mm]	Nejmenší tloušťka stěny t_F [mm] pro klasifikaci R po dobu $t_{fi,d}$ [min]						
			30	45	60	90	120	180	240
1S	Skupina 1S								
1S.1	5 ≤ f_b ≤ 75, obyčejná malta 5 ≤ f_b ≤ 50, malta pro tenké spáry 1000 ≤ ρ ≤ 2400								
1S.1.1	$\alpha \leq 1,0$	nvg	nvg	nvg	nvg	nvg	nvg	nvg	nvg
1S.1.2									
1S.1.3	$\alpha \leq 0,6$	nvg	nvg	nvg	nvg	nvg	nvg	nvg	nvg
1S.1.4									
1	Skupina 1								
1.1	Malta: obyčejná a pro tenké spáry 5 ≤ f_b ≤ 75 800 ≤ ρ ≤ 2400								
1.1.1	$\alpha \leq 1,0$	100	990	990	990	nvg	nvg	nvg	nvg
1.1.2			(490)	(600)	(600)	(730)			
1.1.3		170	600	730	730	990	nvg	nvg	nvg
1.1.4			(240)	(240)	(240)	(365)	(365)	nvg	nvg
1.1.5		240	365	490	490	600	nvg	nvg	nvg

Návrhové přístupy

Výpočet

- zjednodušená výpočetní metoda - příloha C
- zpřesněná výpočetní metod - příloha D
 - norma definuje pouze obecné zásady

Návrhové přístupy

Výpočet

Zjednodušená výpočetní metoda

- výpočet únosnosti zbytkového průřezu v závislosti na teplotě, porovnání z účinky zatížení při požáru
- lze použít pro zdivo s následujícími parametry (případně i pro jiné materiály, pro které jsou k dispozici ověřené výsledky)

Návrhové přístupy

Výpočet

Zjednodušená výpočetní metoda

[1,2]

Materiál	Skupina	Pevnost f_b [MPa]	Objemová hmotnost [kg m ⁻³]	Malta
zdivo z pálených zdicích prvků	1S, 1	10-40	1000-2000	obyčejná
zdivo z vápenopískových zdicích prvků	1S, 1	10-40	1500-2000	pro tenké spáry
betonové tvárnice s hutným kamenivem	1	10-40	1500-2000	obyčejná
betonové tvárnice s pórovitým kamenivem	1S, 1	4-8	600-1000	lehká
pórobetonové tvárnice	1	2-6	400-700	obyčejná nebo pro tenké spáry

Návrhové přístupy

Výpočet

Zjednodušená výpočetní metoda

- podmínka spolehlivosti

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

$N_{Ed,fi}$... návrhová hodnota normálové síly od svislého zatížení při požární situaci

$N_{Rd,fi}$... návrhová hodnota únosnosti zbytkového průřezu při požární situaci

Návrhové přístupy

Výpočet

Zjednodušená výpočetní metoda

- únosnost zbytkového průřezu

$$N_{Rd,fi} = \Phi \cdot (f_{d,\theta_1} \cdot A_{\theta_1} + f_{d,\theta_2} \cdot A_{\theta_2})$$

A_{θ_1} ... plocha zdiva až k izotermě θ_1 (s teplotou $\theta \leq \theta_1$)

A_{θ_2} ... plocha zdiva mezi izotermami θ_1 a θ_2

θ_1 ... teplota, do které je možné použít pevnost zdiva při 20 °C

θ_2 ... teplota, nad kterou materiál nemá žádnou zbytkovou pevnost

f_{d,θ_1} ... návrhová pevnost v tlaku zdiva při teplotě $\leq \theta_1$

f_{d,θ_2} ... návrhová pevnost v tlaku zdiva mezi teplotami θ_1 a θ_2
vyjádřená jako $c \cdot f_{d,\theta_1}$

Návrhové přístupy

Výpočet

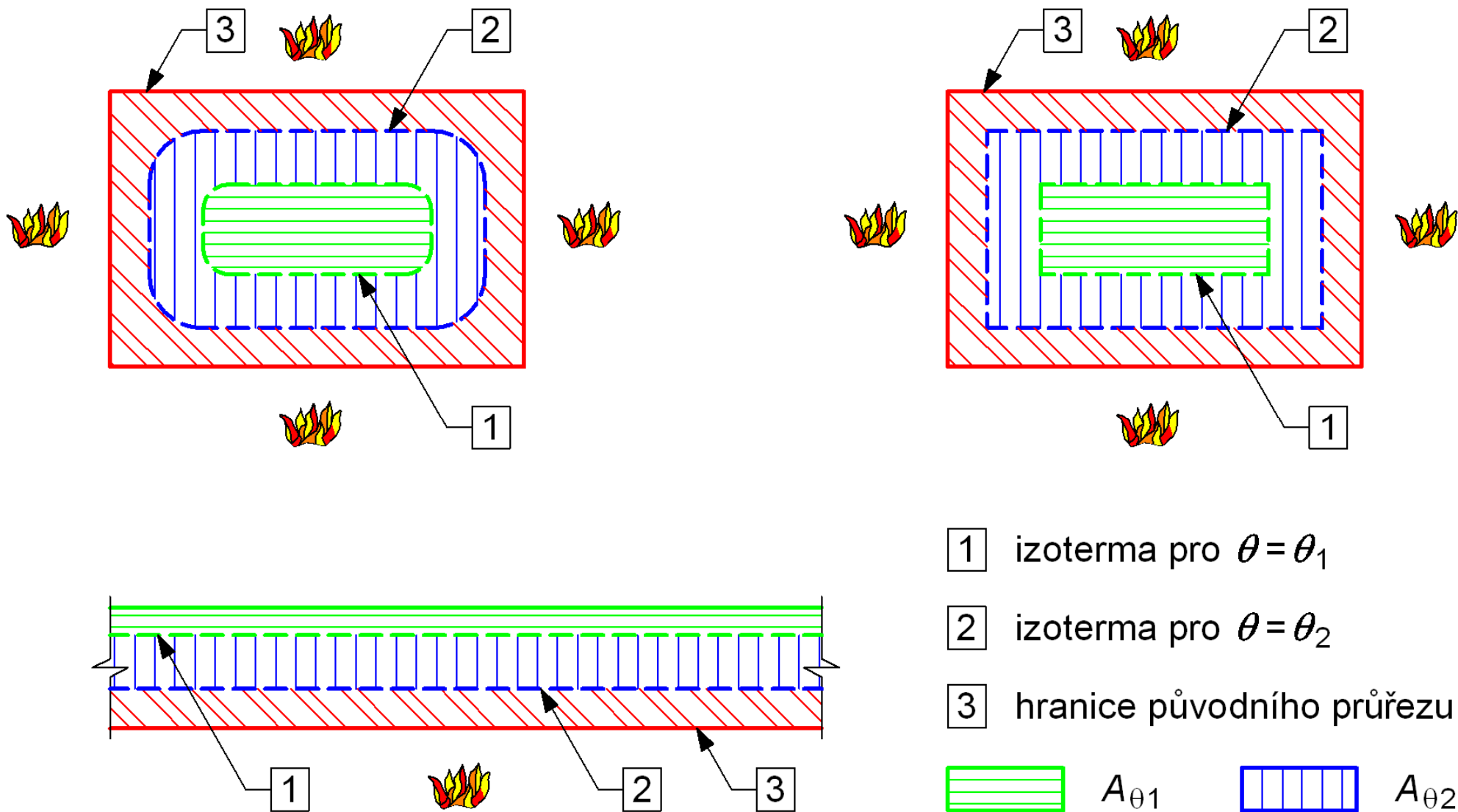
Zjednodušená výpočetní metoda

- únosnost zbytkového průřezu

$$N_{Rd,fi} = \Phi \cdot (f_{d,\theta 1} \cdot A_{\theta 1} + f_{d,\theta 2} \cdot A_{\theta 2})$$

- c ... konstanta určená z pracovních diagramů při zvýšených teplotách, jejíž hodnoty mohou být uvedeny v národní příloze normy - v NA ČR **nejsou hodnoty uvedeny**
- Φ ... redukční součinitel vyjadřující vliv štíhlosti a excentricity podle ČSN EN 1996-1-1 a zohledňující navíc excentricitu $e_{\Delta\theta}$ vyvolanou změnou teploty napříč zdivem

Zjednodušená výpočetní metoda [1,2]



Návrhové přístupy

Výpočet

Zjednodušená výpočetní metoda

- extencititu $e_{\Delta\theta}$ lze určit pomocí zkoušek nebo ze vztahu

$$e_{\Delta\theta} = \frac{1}{8} \cdot h_{\text{eff}}^2 \cdot \frac{\alpha_{\theta} \cdot (\theta_2 - 20)}{t_{\text{Fr}}} \quad \text{s omezením } e_{\Delta\theta} \leq \frac{h_{\text{eff}}}{20}$$

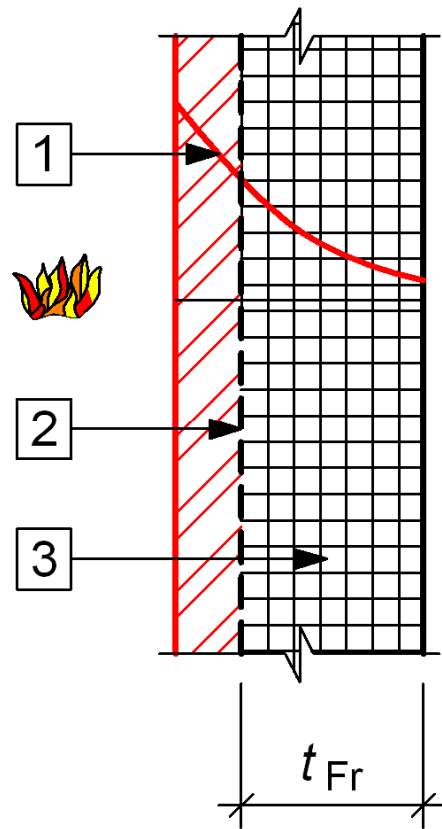
h_{eff} ... účinná výška stěny

α_{θ} ... součinitel teplotní roztažnosti zdiva

t_{Fr} ... tloušťka příčného průřezu, jehož teplota nepřekročí θ_2

- při působení požáru ze všech stran se uvažuje $e_{\Delta\theta} = 0$

Zjednodušená výpočetní metoda [1,2]



- 1 průběh teplot
- 2 izoterma pro $\theta = \theta_2$
- 3 zbytková plocha příčného průřezu s předpokládanou únosností ($A_{\theta_1} + A_{\theta_2}$)

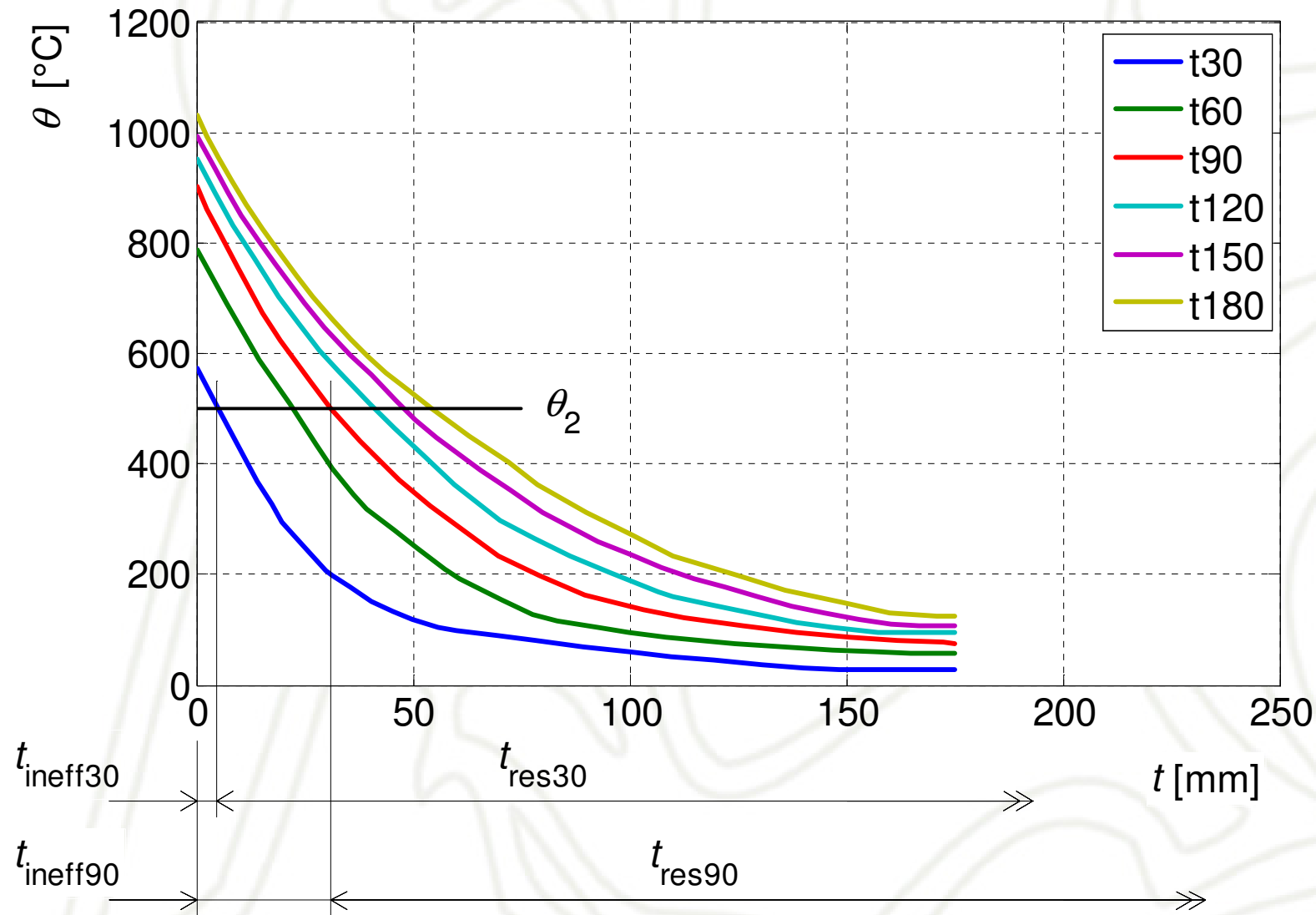
Návrhové přístupy

Výpočet

Zjednodušená výpočetní metoda

- rozložení teploty lze stanovit pomocí teplotních profilů uvedených v příloze **C** normy ČSN EN 1996-1-2
- **ALE** - existují pochybnosti
 - Pro jaké tloušťky stěn lze profily použít?
 - Jak byly profily stanoveny?
 - Jaké byly v případě výpočtu uvažovány vlastnosti (zdivo x ZP)?
 - V některých případech nesoulad s MKP výpočtem.
 - Podrobněji viz [3].

Příklad teplotního profilu - zdivo z vápenopískových zdicích prvků,
objemová hmotnost 1500 až 2000 kg m⁻³ [2,3]



Návrhové přístupy

Výpočet

Zjednodušená výpočetní metoda

[1,2]

Zdicí prvky a malty (neomítané povrchy stěn)	Teplota [$^{\circ}\text{C}$]		α_{θ} [$10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$]
	θ_2	θ_1	
pálené zdicí prvky s obyčejnou maltou	600	100	4-8
vápenopískové zdicí prvky s maltou pro tenké spáry	500	100	7-11
zdicí prvky z betonových tvárnic s pórovitým kamenivem s obyčejnou maltou	400	100	6-12
zdicí prvky z betonových tvárnic s hutným kamenivem s obyčejnou maltou	500	100	6-12
zdicí prvky z pórobetonových tvárnic s maltou pro tenké spáry	700	200	7-9



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 1996-1-2. Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru. Praha: ČNI, 2006.
- [3] Štefan, R. - Procházka, J. Temperature Analysis of Masonry Structural Members Subjected to Fire. In Proceedings of the International Conference on Modelling and Simulation 2010 [CD-ROM]. Prague: CTU in Prague and AMSE, 2010.

© Radek Štefan, Jitka Vašková 2011-2015

Poslední úprava: 14.12.2016

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!