

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta bezpečnostního inženýrství

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ostrava 2012

Jindřich Kaňa

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta bezpečnostního inženýrství

Katedra požární ochrany a ochrany obyvatelstva

Zděné konstrukce z hlediska požární odolnosti

Student:

Jindřich Kaňa

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tereza Česelská

Studijní obor:

**Požární ochrana a bezpečnost
průmyslu**

Datum zadání bakalářské práce:

13. září 2010

Termín odevzdání bakalářské práce:

20. dubna 2012

Zadání bakalářské práce

Student:

Jindřich Kaňa

Studijní program:

B3908 Požární ochrana a průmyslová bezpečnost

Studijní obor:

3908R006 Technika požární ochrany a bezpečnosti průmyslu

Téma:

Zděné konstrukce z hlediska požární odolnosti
Masonry Constructions from the Point of View of Fire Resistance

Zásady pro vypracování:

Cíl práce:

Cílem bakalářské práce je popis stanovení požární odolnosti zděných konstrukcí dle ČSN EN 1996-1-2 s uvedením názorných příkladů.

Charakteristika práce:

- zdivo jako stavební materiál;
- chování zdiva za zvýšených teplot;
- hodnoty požární odolnosti konstrukcí (velkorozměrová zkouška, tabulkové hodnoty, výpočet);
- princip návrhu zděných konstrukcí dle ČSN 1996-1-2 v návaznosti na ČSN 1996-1-1;
- uvedení konkrétních příkladů návrhu.

Seznam doporučené odborné literatury:

Netopilová, M. Nauka o materiálu. Ostrava. SPBI, 2004. ISBN 80-86634-27-2

Wald, F. a kol. Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí. Praha, ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03157-8

ČSN EN 1991 – 1 – 2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-2: Obecná zatížení - Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru

ČSN EN 1996 – 1 – 2 Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tereza Česelská**

Datum zadání: 15.06.2011

Datum odevzdání: 20.04.2012


Ing. Petr Kučera, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Poledňák, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení

„Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně.“

V Ostravě dne: 20. 4. 2012

Kaňa Jindřich

.....

Poděkování

„Tímto bych rád poděkoval vedoucí mé bakalářské práce Ing. Tereze Česelské za odborné vedení při tvorbě bakalářské práce, za poskytnutí cenných informací, které mi při zpracování pomohly a věcné připomínky, bez kterých by práce nebyla publikovatelná.“

Anotace

KAŇA, Jindřich. *Zděné konstrukce z hlediska požární odolnosti*: Bakalářská práce, Ostrava VŠB – Technická universita Ostrava, fakulta bezpečnostního inženýrství, 2012. 45 s.

Bakalářská práce se zabývá problematikou posuzování chování zdiva za požární situace a návrhu zděných konstrukcí za normální i požární situace. V úvodu práce jsou popsány samotné zdící prvky, jejich charakteristiky a druhy dělení. Dále je popsáno zdivo, jeho druhy, charakteristiky, základní vlastnosti a způsob návrhu jednovrstvé stěny za normální situace. Další kapitola je věnována vlastnostem zdiva, včetně maltovinových pojiv za zvýšených teplot, kde je poukázáno na měnící se fyzikální a chemické vlastnosti. Následující kapitoly se věnují různým druhům postupům návrhu konstrukce na účinky požáru, kde jsou jednotlivé druhy popsány a objasněny, a popisu druhy návrhů zděných konstrukcí na účinky požáru podle Eurokódu. V závěru je uveden příklad návrhu konstrukce, kde je provedeno posouzení únosnosti za normální situace a dále za situace při požáru. To je provedeno různými způsoby.

Klíčová slova:

zdivo, zděné konstrukce, návrh zděných konstrukcí na účinky požáru.

Anotation

KAŇA, Jindřich. *Masonry construction from the fire resistance perspective*: Bachelor thesis, Ostrava VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Safety Engineering 2012. 45 p.

This Bachelor thesis deals with the assessment of the behavior of masonry during the fire situation and design of masonry structures under the normal and the fire situation. The introduction describes the masonry elements, their characteristics and types of division. The following text describes the masonry, its types, characteristics, basic properties and design method for single-layer walls under the normal situation. Next chapter is devoted to attributes of masonry, including mortar binders in case of increase temperature, where it is pointed out to the changing physical and chemical attributes. Another chapters deal with different types of procedures for construction design to the effects of fire, where each types are described and explained, and these chapters deal with the types of the design of masonry structures for the effect of fire according to Eurocode. In the end of this Bachelor work, there is the example of the construction design where the assess of the resistance under the normal situation and the situation during the fire is done. This is done in various ways.

Key words:

masonry, masonry construction, design of masonry structures for the effect of fire

1.	Úvod	1
2.	Rešerše	2
3.	Vlastnosti zdiva a jeho složek	3
3.1.	Zdicí prvky – klasifikace zdicích prvků	3
3.2.	Zdicí prvky – pevnost v tlaku	5
3.3.	Malty	6
3.4.	Zdivo – pevnost v tlaku, pevnost ve smyku, pevnost v ohybu	6
3.4.1.	Pevnost zdiva v tlaku	7
3.4.2.	Pevnost zdiva ve smyku	9
3.4.3.	Pevnost zdiva v ohybu	11
4.	Návrhová únosnost jednovrstvé stěny v tlaku	12
5.	Vlastnosti zděných konstrukcí za vysokých teplot – zdivo, malty	14
5.1.	Vlastnosti pálených keramických prvků	14
5.2.	Chování maltovinových pojiv za zvýšených teplot	15
6.	Požární odolnost zděných konstrukcí	16
7.	Postup návrhu konstrukcí na účinky požáru	17
7.1.	Teplotní analýza požárního úseku	17
7.2.	Teplotní analýza konstrukce	19
7.2.1.	Vedení tepla	19
7.2.2.	Proudění a sálání	19
7.3.	Ověřování požární odolnosti	19
8.	Navrhování zděných konstrukcí na účinky požáru dle EN 1996-1-2	22
8.1.	Všeobecně	22
8.2.	Zkouška požární odolnosti	23
8.3.	Použití tabulkových hodnot	23
8.4.	Výpočet	24
8.4.1.	Zjednodušená výpočetní metoda	25
8.4.2.	Přesnější výpočetní metoda	27
9.	Příklady řešení	29
9.1.	Výpočtem	29
9.1.1.	Únosnost při běžné teplotě	29
9.1.2.	Únosnost za požární situace při nominálním požárním namáháním	30
9.1.3.	Únosnost za požární situace při parametrickém požárním namáháním	33
9.2.	Pomocí tabulkové metody	36

10. Závěr.....	38
11. Použitá literatura	39
12. Seznam příloh.....	41
13. Seznam použitých symbolů.....	41

1. Úvod

Při požáru budov je hlavním nebezpečím pro zasahující hasiče jak kouř a plameny, tak ztráta únosnosti, celistvosti a izolaci konstrukcí. V případě porušení jednoho z těchto faktorů může dojít ke zřícení konstrukce, k rozšíření požáru do dalších prostorů, vyšlehnutí plamenů na zasahující hasiče nacházející se v blízkosti této konstrukce.

Z tohoto důvodů byl vypracován soubor Eurokódu, který se zabývá mimo jiné i zatížením konstrukcí za požární situace. Bakalářská práce je zaměřena na posouzení požární odolnosti zděných konstrukcí, které vychází z požadavků ČSN EN 1996-1-1 a ČSN EN 1996-1-2. V úvodu je uveden popis a charakteristika materiálu. Hlavní část práce představuje metody posouzení požární odolnosti nosných zděných konstrukcí. Teplotní analýza prostor byla provedena podle požadavků ČSN EN 1991-1-2. Práce uvádí konkrétní příklady řešení od základních tabulkových metod po výpočtové metody.

2. Rešerše

Jak posoudit chování zděných konstrukcí za požární situace? Při hledání odpovědi na tuto otázku bylo nutno nastudovat řadu skript a norem. Základním stavebním kamenem informací se mi však stala publikace *Navrhování betonových a zděných konstrukcí na účinky požáru* vydaná nakladatelstvím ČVUT roku 2010 od autorů J. Procházky a J. Vaškové.

Publikace popisuje problematiku navrhování zděných konstrukcí od základních zdících prvků, malt využívaných pro zdění, až po navrhování zděných konstrukcí za požární situace. Nalezneme zde popsány vlastnosti zdiva, jako jsou pevnost zdiva v tlaku, ohybu a ve smyku. Hlavní kapitola je zde věnována návrhovým metodám posouzení zděných konstrukcí. Jednou z možností je posouzení na základě zkoušek, dále je možno provést posouzení užitím tabulkových hodnot, nebo lze využít výpočetních metod jako je zjednodušená či zpřesněná metoda.

Všechny tyto popsané metody vycházejí z norem ČSN EN 1991-1-2 *Obecná zatížení: zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*, která se zabývá tepelnými a mechanickými zatíženími konstrukcí vystavených účinkům požáru, přičemž v přílohách popisuje postup výpočtů zjednodušených modelů požárů, a z normy ČSN EN 1996-1-2 *Obecná pravidla: navrhování konstrukcí na účinky požáru*, v níž nalezneme tabulkové hodnoty požární odolnosti zděných stěn a popis zjednodušené výpočetní metody únosnosti zdiva za požární situace.

V závěru uvedli autoři řešené příklady posouzení odolnosti zděných konstrukcí vystavených účinkům požáru jak tabulkovou, tak zjednodušenou výpočetní metodou.

3. Vlastnosti zdiva a jeho složek

3.1. Zdící prvky - klasifikace zdících prvků

Zdící prvky rozdělujeme především podle druhu materiálu použitého k jejich výrobě a podle způsobu děrování a podílu děrování k celkové průřezové ploše zdícího prvku.

Z hlediska použitého materiálu se dělí zdící prvky do 6 skupin:

- pálené cihly plné a vylehčené
- vápenopískové cihly
- betonové tvárnice s hutným nebo s pórovitým kamenivem
- pórobetonové tvárnice
- umělý kámen
- přírodní opracovaný kámen

Z hlediska geometrických požadavků se dělí zdící prvky do 4 skupin:

- skupina 1: pórobetonové tvárnice, prvky z umělého kamene a prvky z přírodního kamene
- skupina 2,3,4: pálené, vápenopískové a betonové podle objemu dutin v %
- skupina 5: „1S“ pro zdící prvky s obsahem dutin méně než 5%

Při navrhování nosných zděných konstrukcí sledujeme zejména mechanické vlastnosti zdiva a z nich především pevnost v tlaku, hutnost střepu, objemovou hmotnost, nasákavost, mrazuvzdornost a další vlastnosti potřebné při jejich použití (např. odolnost vůči chemikáliím).

Rozhodující sledované vlastnosti se pak obvykle uvádějí v označení zdícího prvku, např. plné cihly klasického formátu s průměrnou pevností v tlaku 20 MPa, které vydrží 25 zmrazovacích cyklů se označí: CP (290/140/65mm), P20, M25.

Podle Eurokódu 6 se pro potřeby navrhování nosného zdiva zdící prvky klasifikují dvěma způsoby, a to podle úrovně kontroly výroby a podle způsobu a relativního objemu děrování.

Podle úrovně kontroly výroby se zdící prvky zařazují do kategorie I nebo kategorie II. Zdící prvky se zařadí do kategorie I, v případě kdy výsledky výrobcem organizované kontroly

výroby prokážou, že průměrná pevnost v tlaku v dodávce nedosáhne předepsané pevnosti v tlaku s pravděpodobností nejvýše 5%. Zdicí prvky, u nichž hodnota uvedené pravděpodobnosti je větší než 5% se řadí do kategorie II. Většina zdicích prvků vyráběných v České republice vyhovuje kritériím kategorie I.

Podle způsobu a poměrného objemu děrování se zdicí prvky zařazují do skupiny 1,2,3 a 4. Základním třídícím znakem zdicích prvků, uváděným výrobcem v katalogích zdicích prvků, je objem všech otvorů v % objemu zdicího prvku.

Tabulka 1. Základní třídící znak – stupeň děrování zdicího prvku [5]

	Skupina 1 (všechny materiály)	Zdicí prvky	Skupina 2	Skupina 3	Skupina 4
			Svislé díry nebo dutiny 1)		Horizontální díry
Objem všech otvorů v % objemu zdicího prvku (podíl děrování)	≤25	Pálené	>25; ≤55	≥25; ≤70	>25; ≤70
		Vápeno-pískové	>25; ≤55	Nepoužívá se	Nepoužívá se
		Betonové	>25; ≤60	≥25; ≤70	≥25; ≤50
Poznámky:					
1) Za otvory se považují průběžné díry nebo neprůběžné dutiny					

Tabulka 2. Příklady jednotlivých zdicích prvků

Zdicí prvek	Skupina	Obrázek
Pálená cihla plná	1	
Pálená cihla porotherm	2	
Vápenopísková cihla	2	
Betonová cihla	1	

Dalšími doplňujícími charakteristikami pro zařazení zdícího prvku jsou podle Eurokódu 6 objem jednotlivého otvoru, průřezová plocha jednotlivého otvoru a součet tloušťek žeber ve vodorovném směru kolmém na líc stěny zdícího prvku.

3.2. Zdicí prvky – pevnost v tlaku

Výchozí pevností zdicích prvků v tlaku je průměrná pevnost v tlaku f_u , která se určuje pevnostními zkouškami celých zdicích prvků dle ČSN EN 772-1. Pro potřeby navrhování se průměrná pevnost v tlaku f_u musí přepočítat na normalizovanou pevnost zdicího prvku v tlaku f_b . Hodnota průměrné pevnosti se nejprve přepočítá na pevnost v tlaku ve stavu přirozené vlhkosti tak, že se vynásobí jedním z následujících součinitelů η :

- u zdicích prvků kondicionovaných na vzduchu nebo kondicionovaných pro dosažení 6% obsahu vlhkosti součinitelem $\eta=1,0$
- u zdicích prvků kondicionovaných pro dosažení vysušeného stavu součinitelem $\eta=0,8$
- u zdicích prvků kondicionovaných pod vodou součinitelem $\eta=1,2$

Přičemž kondicionováním se obecně rozumí přizpůsobování materiálů podmínkám dalšího technologického zpracování. V tomto případě se jedná o vlhkostní stav, v němž se prvek vyskytuje. Takto upravená hodnota průměrné pevnosti zdicího prvku v tlaku $\eta \cdot f_u$ ve stavu přirozené vlhkosti se přepočítá na normalizovanou pevnost zdicího prvku v tlaku f_b tak, že se vynásobí součinitel vlivu tvaru zdicího prvku δ podle tabulky č.:3 v závislosti na šířce a výšce zdicího prvku. Pro normalizovanou pevnost zdicího prvku tedy platí výsledný vztah:

$$f_b = \delta \cdot \eta \cdot f_u \quad (3.1)$$

Tabulka 3. Hodnoty součinitele tvaru δ vyjadřující vliv šířky a výšky zdicího prvku [5]

Šířka [mm] Výška [mm]	50	100	150	200	≥ 250
40	0,80	0,70	-	-	-
50	0,85	0,75	0,70	-	-
65	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65
100	1,15	1,00	0,90	0,80	0,75
150	1,30	1,20	1,10	1,00	0,95
200	1,45	1,35	1,25	1,15	1,10
≥ 250	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

3.3. Malty

Je směs jednoho nebo více anorganických pojiv, plniva a vody, a někdy příměsí a/nebo přísad (jestliže se vyžadují). Jako plnivo se pro obyčejné malty obvykle používá přírodní křemičitý písek, pro lehké malty pak plnivo uměle vyrobené. Podle použitého pojiva rozeznáváme malty hliněné, vápenné, vápenné nastavované cementem, malty cementové a malty speciální, kde se dosahuje požadovaných vlastností chemickými přísadami. Pojiva podle způsobu jejich působení rozdělujeme na mechanická, chemická a tato pak na vzdušná a hydraulická. Se zvyšováním obsahu cementu se zvyšuje pevnost malty v tlaku i v tahu, ale klesá schopnost plastického přetváření zatvrdlé malty ve zdivu při působení dlouhodobého zatížení.

Pro potřeby navrhování zděných prvků podle Eurokódu 6 se malty pro zdění podle svého složení rozdělují na:

- *obyčejná malta* – malta pro zdění ve spárách tloušťky větší než 3 mm, pro níž nejsou předepsány speciální vlastnosti.
- *navrhová malta pro zdění* (podle výrobce) – malta, jejíž složení a výrobní postup jsou zvoleny tak, aby zajistily požadované vlastnosti (záměr užitné hodnoty).
- *předpisová malta pro zdění* (podle receptury) – malta, která je vyráběna ve stanoveném poměru složek, jejíž vlastnosti se předpokládají podle použitého poměru složek (záměr receptury).
- *malta pro tenké spáry* – malta pro zdění ve spárách tloušťky menší než 3 mm, s největší zrnitostí kameniva rovné nebo menší než předepsaná hodnota.

3.4. Zdivo – pevnost v tlaku, pevnost ve smyku, pevnost v ohybu

Zdivo je definováno jako seskupení zdících prvků uložených podle stanoveného uspořádání a spojených maltou. Rozlišujeme:

- *vyztužené zdivo* – zdivo, v němž jsou pruty, spony nebo sítě, obvykle ocelové, uloženy v maltě nebo betonu tak, aby všechny materiály spolupůsobily.
- *předpjaté zdivo* – zdivo, do kterého byla vnesena vnitřní napětí v tlaku.
- *sevřené zdivo* – zdivo, které je ve své rovině podél všech čtyř okrajů sevřeno prvky (sloupy a nosníky) ze železobetonu nebo vyztuženého zdiva; tyto prvky ale nevytvářejí rámovou konstrukci, která přenáší ohyb. Momenty ve styčnicích.

Zdivo je vzhledem k velkému množství druhů a tvarů zdících prvků velmi různorodý stavební materiál s rozdílnými užitnými vlastnostmi, který má téměř univerzální použití. Vyznačuje

se velkou odolností vůči atmosférickým vlivům i požáru, má poměrně dobré tepelně i zvukově izolační schopnosti a je velmi dobře tvarovatelné při použití tradičních starých technik bez potřeby náročné mechanizace. Je dobře recyklovatelné. Z mechanických vlastností se vyznačuje dobrou pevností v tlaku, avšak malou odolností vůči tahovým namáháním. Všechny uvedené vlastnosti ovšem záleží na typu zdiva a jejich konkrétní hodnoty mohou být velmi proměnné.

Z hlediska navrhování zděných konstrukcí je nejdůležitější sledovanou vlastností zdiva jako stavebního materiálu jeho pevnost v tlaku. Pevnost zdiva v tahu je jen zlomkem jeho pevnosti v tlaku a je ve většině případů limitována pevností malty v tahu, respektive její soudržností se zdícím prvkem. Z hlediska trvanlivosti zděné konstrukce a zamezení vzniku nežádoucích trhlin ve zdivu je třeba věnovat pozornost i přetvárným vlastnostem zdiva a jeho objemovým změnám, vyvolaným změnami teploty a vlhkosti okolního prostředí. Trvanlivost zdiva je též ovlivněna povrchovými úpravami zdiva (obkladem, omítkou nebo jen vyspárováním).

3.4.1. Pevnost zdiva v tlaku

Pro navrhování potřebujeme znát návrhovou pevnost zdiva f_d , kterou získáme z charakteristické pevnosti f_k podělením součinitele spolehlivosti materiálu γ_M .

Charakteristická pevnost v tlaku f_k nevyztuženého zdiva při působení tlaku kolmo na ložné spáry se staví buď pevnostními zkouškami zděných těles dle ČSN EN 1052-1 nebo ze vzorců podle ustanovení obsažených v Eurokódu 6 nejsou-li k dispozici charakteristické pevnosti zdiva ze zkoušek. Postup výpočtu se liší podle druhů zdiva a použité malty:

- a) charakteristická pevnost v tlaku f_k nevyztuženého zdiva s obyčejnou maltou anebo maltou s pórovitým kamenivem (lehkou maltou) se podle Eurokódu 6 vypočte ze vztahu:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,3} \quad (3.2)$$

V němž hodnota f_b se neuvažuje větší než 75 MPa a hodnota f_m se neuvažuje větší než menší ze dvou hodnot, buď 20 Mpa nebo $2 \cdot f_b$, tloušťka zdiva je rovna šířce nebo délce zdícího prvku, takže se v celé délce stěny nebo její části nevyskytuje podélná styčná spára a variační koeficient pevnosti v tlaku zdícího prvku není větší než 25%. Součinitel K se uvažuje podle tabulky č.: 4.

Tabulka 4. Součinitele K při užití obyčejné malty, malty pro tenké spáry a lehké malty [5]

Zdicí prvek		Obyčejná malta	Malta pro tenké spáry (0,5-3 mm)	Lehká malta o hmotnosti	
				600-800 [kg/m ³]	800-1300 [kg/m ³]
Pálené cihly	Skupina 1	0,55	0,75	0,30	0,40
	Skupina 2	0,45	0,70	0,25	0,30
	Skupina 3	0,35	0,50	0,20	0,25
	Skupina 4	0,35	0,35	0,20	0,25
Vápenopískové cihly	Skupina 1	0,55	0,80	x)	x)
	Skupina 2	0,45	0,65	x)	x)
Betonové tvárnice	Skupina 1	0,55	0,80	0,45	0,45
	Skupina 2	0,45	0,65	0,45	0,45
	Skupina 3	0,40	0,50	x)	x)
	Skupina 4	0,35	x)	x)	x)
Pórobetonové tvárnice	Skupina 1	0,55	0,80	0,45	0,45
Umělý kámen	Skupina 1	0,45	0,75	x)	x)
Čistě opracovaný přírodní kámen	Skupina 1	0,45	x)	x)	x)

x) Kombinace malty/zdicí prvek se nepoužívá, hodnoty nejsou dány

- b) pro zdivo vyzdžené na obyčejnou maltu, ve které se bude vyskytovat v celé délce stěny nebo její části podélná styčná spára, např. tedy pro stěny a pilíře z klasických cihel (290/140/65mm), z cihel metrického formátu (240/115/71 mm) a dalších se hodnota součinitele K vynásobí součinitelem 0,8.
- c) charakteristická pevnost v tlaku f_k nevyztuženého zdiva s maltou pro tenké spáry tloušťky 0,5 až 3 mm z pálených cihel skupiny 1 a 4, vápenopískových cihel, betonových tvárnic a přesných pískových pórobetonových tvárnic skupiny 1 se vypočte ze vztahu:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,85} \quad (3.3)$$

za předpokladu, že:

- rozměrové tolerance zdících prvků umožňují vyzdívat tyto prvky na malty pro tenké spáry,
- normalizovaná pevnost v tlaku zdících prvků f_b se uvažuje nevyšší 50 MPa,
- pevnost v tlaku malty pro tenké spáry není větší než 10 Mpa,

- tloušťka stěny se rovná šířce nebo délce zdících prvků a v celé délce nebo části délky stěny nebo pilíře není podélná maltová spára.

d) charakteristická pevnost v tlaku f_k nevyztuženého zdiva s maltou pro tenké spáry tloušťky 0,5 až 3 mm z pálených cihel skupiny 2 a 3 se vypočte ze vztahu:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,75} \quad (3.4)$$

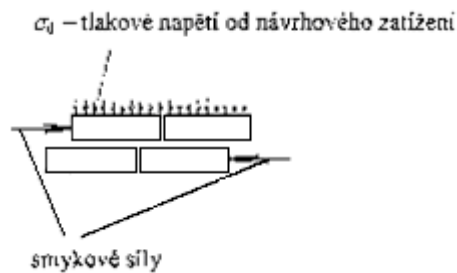
Hodnoty dílčích součinitelů materiálu γ_M se uvažují podle doporučení uvedeného v Eurokódu 6 v závislosti na kategorii provádění, daných úrovní a kontrolou stavebních prací a na kategorii kontroly výroby zdících prvků. Hodnoty dílčích součinitelů uvádí tabulka č.: 5. Kategorie provádění zděných konstrukcí se specifikuje do tříd 1 až 5, přičemž v ČR se předpokládá použití tříd 3 a 4.

Tabulka 5. Dílčí součinitelé spolehlivosti materiálů γ_M [5]

Materiál		γ_M				
		Kategorie provádění				
		1	2	3	4	5
	Zdivo vyzdžené ze:					
A	zdících prvků kat. I na návrhovou maltu	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5
B	zdících prvků kat. I na předpisovou maltu	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7
C	zdících prvků kat. II	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0
D	Odolnost v kotvení výztužných vložek	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7
E	Betonářská a předpínací výztuž	1,15				
F	Pomocné výrobky pro zděné konstrukcí	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7
G	Překlady podle EN 845-2	1,5 až 2,5				

3.4.2. Pevnost zdiva ve smyku

Pevnost zdiva ve smyku je závislá na pevnosti malty v tahu, soudržnosti malty se zdícím prvkem, na pevnosti zdícího prvku ve smyku, na pevnosti zdícího prvku v tlaku ve směru působící smykové síly a velikosti tlakového napětí od zatížení působícího kolmo ke smykové ploše jak ukazuje obrázek č.: 1



Obr. 1 – Vnitřní síly při smykovém namáhání [5]

Charakteristická pevnost ve smyku nevyztuženého zdiva se stanoví buď pevnostními zkouškami zděných těles podle ČSN EN 1052-3 a ČSN EN 1052-4, nebo se pro zdivo na obyčejnou maltu určí podle tabulky č.: 6 přílohy A, přičemž se přihlíží k tomu, zda ve vyšetřovaném průřezu působí normálové napětí v tlaku.

Vycházíme-li z hodnot uvedených v tabulce č.: 6 přílohy A, a všechny spáry ve zdivu jsou vyplněny maltou, charakteristická pevnost ve smyku zdiva na obyčejnou maltu se uvažuje rovna nejmenší hodnotě z následujících tří:

$$a) \quad f_{vk} = f_{vko} + 0,4 \cdot \sigma_d \quad (3.5)$$

$$b) \quad f_{vk} = 0,065 \cdot f_b, \text{ ale ne méně než } f_{vko} \quad (3.6)$$

$$c) \quad f_{vlt}$$

Přičemž f_{vko} je počáteční charakteristická pevnost ve smyku při normálovém napětí rovném 0 podle tabulky č.: 6 přílohy A., σ_d návrhové napětí v tlaku působící kolmo na průřez, v němž působí napětí ve smyku, f_b normalizovaná pevnost v tlaku zdicích prvků pro směr tlaku působícího kolmo na ložnou plochu zdicého prvku, f_{vlt} omezující hodnota charakteristické smykové pevnosti f_{vk} .

Jestliže však ve zdivu nejsou vyplněny příčné styčné spáry maltou a boční plochy zdicích prvků v těchto spárách těsně přiléhají, charakteristická pevnost ve smyku zdiva na obyčejnou maltu se uvažuje rovna nejmenší hodnotě z následujících tří:

$$a) \quad f_{vk} = 0,5 \cdot f_{vko} + 0,4 \cdot \sigma_d \quad (3.7)$$

$$b) \quad f_{vk} = 0,045 \cdot f_b, \text{ ale ne méně než } f_{vko} \quad (3.8)$$

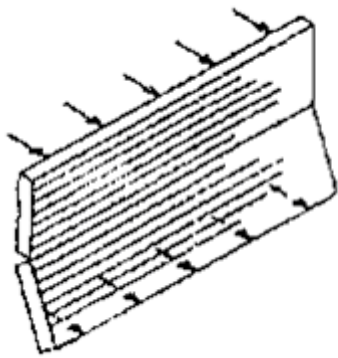
$$c) \quad f_{vlt}$$

Únosnost ve smyku ve svislém směru v průřezu, který je veden stykem dvou stěn, lze pro určitý projekt stavět z vhodných zatěžovacích zkoušek. Jestliže nejsou žádné výsledky zkoušek k dispozici, lze za charakteristickou hodnotu pevnosti ve smyku považovat hodnotu f_{vk0} , kde hodnota f_{vk0} je pevností ve smyku bez přetížení podle tabulky č.: 6 přílohy A. za předpokladu, že spojení stěn je provedeno podle konstrukčních zásad vazbou zdiva, nebo pomocí spon či procházející výztuže.

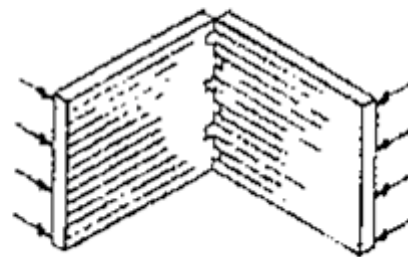
3.4.3. Pevnost zdiva v ohybu

Rozlišuje se charakteristická pevnost zdiva v ohybu f_{xk1} v rovině porušení rovnoběžné s ložnými spárami a charakteristická pevnost zdiva v ohybu f_{xk2} v rovině porušení kolmé k ložným spárám.

Pevnost zdiva v ohybu f_{xk1} se používá pouze pro výpočet stěn namáhaných dominantním nahodilým zatížením (např. zatížení větrem) působícím kolmo na jejich povrch. Ve výpočtu nelze s pevností zdiva v ohybu uvažovat v případech, kde by porušení stěny vedlo k rozsáhlejšímu zřícení nebo úplné ztrátě stability celé konstrukce, ani ve výpočtu zděných prvků namáhaných seismickým zatížením.



Obr. 2 Rovina porušení rovnoběžná s ložnými spárami, kdy rozhoduje o porušení pevnosti f_{xk1} [5]



Obr. 3 Rovina porušení kolmá k ložným spárám, kdy rozhoduje o porušení pevnosti f_{xk2} [5]

Charakteristické pevnosti v ohybu nevyztuženého zdiva se stanoví pevnostními zkouškami zděných těles podle ČSN EN 1052-2.

V případě, že nejsou k dispozici hodnoty pevnosti v tahu za ohybu zdiva s obyčejnou maltou, s maltou pro tenké spáry a s lehkou maltou stanovené zkouškou, lze příslušné hodnoty převzít z tabulek č.: 8 a 9 přílohy A za předpokladu, že se použije malta pro tenké spáry, malta lehká třídy M 5 nebo pevnější.

Pro zdivo z pórobetonových tvárnic a malty pro tenké spáry platí hodnoty f_{xk1} a f_{xk2} vychází z tabulky č.:8 a tabulky č.:9 přílohy A, nebo lze hodnoty získat na základě uvedených vztahů:

$$a) \quad f_{xk1} = 0,035 \cdot f_b \quad \text{pro zdivo s maltou ve svislých spárách nebo bez ní} \quad (3.9)$$

$$b) \quad f_{xk2} = 0,035 \cdot f_b \quad \text{pro zdivo s maltou ve svislých spárách nebo} \quad (3.10)$$

$$c) \quad f_{xk2} = 0,025 \cdot f_b \quad \text{pro zdivo bez malty ve svislých spárách} \quad (3.11)$$

4. Návrhová únosnost jednovrstvé stěny v tlaku

Při výpočtu se vychází z předpokladu o zachování rovinnosti průřezů a dále z předpokladů, že pevnost zdiva v tahu ve směru kolmém na ložné spáry se zanedbává.

Při určování návrhové únosnosti průřezu zděného prvku se používá zjednodušený předpoklad průběhu napětí v tlačené oblasti průřezu, a to konstantní napětí rovné návrhové hodnotě pevnosti zdiva v tlaku f_d v oblasti, jejíž těžiště je totožné s výslednicí působícího zatížení.

V mezním stavu únosnosti musí být splněna podmínka:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} \quad (4.1)$$

N_{Ed} návrhová hodnota svislé normálové síly

N_{Rd} návrhová únosnost jednovrstvé stěny v tlaku

Návrhová únosnost stěny z nevyztuženého zdiva v tlaku N_{Rd} je přímo úměrná průřezové ploše pilíře a pevnosti zdiva a klesá se zvětšující se štíhlosti stěny a se zvětšující se výstředností normálové síly. Překročí-li výstřednost normálové síly u obdélníkového průřezu stěny přibližně třetinu tloušťky stěny, pevnost prvku začíná výrazně klesat. Průběh výstřednosti normálové síly se po výšce stěny mění v závislosti na průběhu momentů.

Návrhová únosnost pilíře nebo jednovrstvé stěny v tlaku, působícím ve svislém směru, je dán vztahem:

$$N_{Rd} = \Phi_{i,m} \cdot b \cdot t_s \cdot f_d \quad (4.2)$$

Kde $\Phi_{i,m}$ představuje zmenšující součinitel vyjadřující vliv výstřednosti zatížení a štíhlosti stěny, f_d návrhovou pevnost zdiva v tlaku, b šířku průřezu stěny, t_s skutečnou tloušťku stěny. Ověřujeme-li únosnost nosného prvku s celkovou průřezovou plochou $A < 0,1 \text{ m}^2$, vynásobí se pevnost zdiva v tlaku součinitelem $(0,7 + 3 \cdot A)$ do něhož se hodnota A dosazuje v m^2 .

Hodnota zmenšujícího součinitele Φ_i je dána vztahem:

$$\Phi_i = 1 - 2 \cdot \frac{e_i}{t_s} \quad (4.3)$$

e_i výstřednost normálové síly v hlavě nebo patě stěny, vypočtená ze vztahu:

$$e_i = e_{fi} + e_{hi} + e_{init} \geq 0,05 \cdot t_s \quad (4.4)$$

$$e_{fi} = \frac{M_{fi}}{N_i} \text{ výstřednost v hlavě nebo patě stěny od svislého zatížení} \quad (4.5)$$

$$e_{hi} = \frac{M_{hi}}{N_i} \text{ výstřednost v hlavě nebo patě stěny od vodorovného zatížení} \quad (4.6)$$

$$M_{fi} \wedge M_{hi} \text{ návrhový ohybový moment v průřezu v hlavě nebo patě stěny, vyvolaný} \quad (4.7)$$

svislým či vodorovným zatížením.

$$N_i \text{ návrhová hodnota normálové síly v průřezu, v hlavě nebo patě stěny}$$

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} \text{ počáteční výstřednost, zavádějící do výpočtu vliv imperfekcí a odvozená} \quad (4.8)$$

z účinné výšky stěny h_{ef}

Zmenšujícím součinitelem Φ_m se zavádí do výpočtu únosnosti průřezu vliv výstřednosti svislého i vodorovného zatížení, vliv štíhlosti stěny, včetně vlivu dotvarování, a vliv imperfekcí. Jeho hodnotu lze odečíst v závislosti na poměrné výstřednosti e_{mk} / t_s a štíhlosti h_{ef} / t_{ef} z experimentálně odvozených grafů, nebo výpočtu, či s pomocí tabulek normy ČSN EN 1996-1-1.

Účinná výška stěny h_{ef} se musí stanovit s přihlédnutím k poměrným tuhostem částí konstrukce spojených se stěnou a s ohledem na účinnost spojů. Při určování účinné výšky

stěny se rozlišují stěny, které jsou podepřeny nebo ztuženy podél dvou, tří nebo čtyř okrajů, a volně stojící stěny. Účinná výška stěny h_{ef} je dána vztahem:

$$h_{ef} = \rho_n \cdot h \quad (4.9)$$

Příčemž h je světlá výška podlaží, ρ_n zmenšující součinitel a index n 2,3, nebo 4 závisí na podepření okraje stěny nebo jejím ztužení.

5. Vlastnosti zděných konstrukcí za vysokých teplot – zdivo, malty

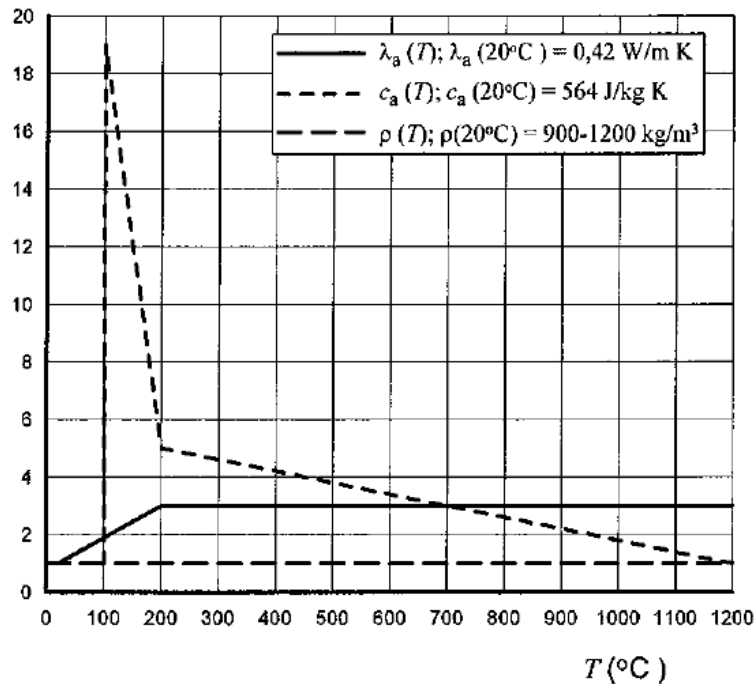
5.1. Vlastnosti pálených keramických prvků

Keramické materiály, na které při výrobě působily teploty téměř 1000°C, se v podmínkách zahřívání chovají podstatně lépe než materiály přírodní. Společné jim však je odlupování. Keramické materiály se vyznačují menší tepelnou vodivostí – nastává u nich prudší tepelný spád, což při jednostranném zahřívání má za následek značná vnitřní pnutí projevující se tvarově charakteristickým odlupováním povrchových vrstev.

Při odlupování cihel mají narušené vrstvy delší konce ve styčných spárách, které zabraňují jejich okamžitému odpadávání. Při destrukci povrchové vrstvy toto ze zdiva nevypadává, pouze se poněkud uvolní a vytvoří malou vzduchovou mezeru, působící jako tepelně izolační vrstva, částečně chránící zbytek cihelného zdiva před dalším prostupem tepla a dalším odlupováním. Při hasebním zásahu je žádoucí vyvarovat se smáčení narušené cihelné stěny přímým proudem vody. Tím je omezeno vyplavování a uvolňování narušených vrstev. U děrovaných a dutinových cihlářských výrobků se odlupují od svislých stojin celé jejich vnější části.

K narušení celistvosti keramických pálených materiálů dochází tehdy, jestliže jejich vnitřní napětí, vyvolané tepelnou zátěží, převyší napětí vnesené do tohoto prvku při jeho výrobě výpalem a následným chlazením.

Při zvýšených teplotách se mění některé vlastnosti zdiva jako je měrné teplo c_a a tepelná vodivost λ_a . Změnu jednotlivých vlastností zjistíme na základě provedených zkoušek. Pro zdivo z pálených zdících prvků o objemové hmotnosti v rozmezí 900 $kg \cdot m^{-3}$ až 1200 $kg \cdot m^{-3}$ uvádí norma ČSN EN 1996-1-2 graf teplotně závislých materiálových vlastností.



Obr.4 – Hodnoty teplotně závislých materiálových vlastností zdiva z pálených zdících prvků [4]

5.2. Chování maltovinových pojiv za zvýšených teplot

Vápno

Ke značnému snížení pevnosti vápenné malty dochází při teplotách 500-600°C. Ohřevem na teplotu 900°C a více, zatvrdlá malta zcela ztrácí svou pevnost. Při zahřívání vznikají v maltě trhliny a vápenná omítka odpadáva od podkladu.

Sádra

Při zahřívání zatvrdlé sádry začíná proces dehydratace již při teplotě 70°C a je doprovázen narušováním struktury, vedoucí k postupné ztrátě pevnosti sádry. Při teplotě cca 400°C je pevnost rovna 39%. Při zahřívání nad 700°C se pevnost snižuje téměř na nulu.

Cement

Při zvýšení teploty na cca 100°C dochází k částečnému zvýšení pevnosti. Do teploty 150-160°C se u cementového kamene projevuje rozpínání. Při zahřátí na 200-300°C se pevnost při zatížení zvyšuje současně se zpevněním struktury. Zahřátí na 400°C vede k postupnému snižování pevnosti vlivem dehydratace hlinitanů vápenatých. Při dalším

zvyšování teploty nad 550°C probíhá dehydratace hydroxidu vápenatého za vzniku CaO s doprovodným narušením struktury a postupnou ztrátou pevnosti. Markantnější narušování struktury a pokles pevnosti je zřejmý při teplotě cca 800-90°C.

6. Požární odolnost zděných konstrukcí

Důležitou součástí požárně bezpečnostní řešení budovy je zhodnocení navržených stavebních konstrukcí z hlediska jejich požární odolnosti. Každá konstrukce musí být navržena a provedena tak, aby její skutečná požární odolnost nebyla menší, než je pro danou konstrukci požadováno.

Požární odolnost konstrukce je definována jako doba, po kterou je konstrukce schopna odolávat teplotám vznikajícím při požáru, aniž by došlo k prošení její funkce. Označení požární odolnosti se skládá z písmenné značky vyjadřující funkci konstrukce, ke které se hodnota odolnosti vztahuje, a číselné hodnoty udávající dobu požární odolnosti v minutách. Během této doby nesmí dojít ke ztrátě příslušné funkce konstrukce (například R 60, které vyjadřuje schopnost příslušné konstrukce zachovat si nosnou funkci při vystavení požáru po dobu 60 minut). Toto označení se dle ČSN 73 0802 dále doplňuje označením druhu konstrukce z hlediska použitých materiálů (konstrukce DP1, DP2, DP3, dle přispívání k intenzitě požáru a jejich reakce na oheň).

Písmenné značky používané pro označení požární odolnosti vycházejí z mezinárodní terminologie. Mezi základní značky používané pro požární odolnost betonových a zděných konstrukcí patří:

- R kritérium únosnosti
- E kritérium celistvosti
- I kritérium izolační schopnosti
- M kritérium mechanické odolnosti

Požadavek na požární odolnosti konstrukce se stanoví v závislosti na stupni požární bezpečnosti požárního úseku, ve kterém se konstrukce nachází. Pro nevýrobní objekty se požadovaný stupeň požární bezpečnosti příslušného požárního úseku určí z:

- výpočtového požárního zatížení požárního úseku
- druhu konstrukčního systému budovy (nehořlavý, smíšený, hořlavý)
- požární výšky objektu, ve kterém se požární úsek nachází

7. Postup návrhu konstrukcí na účinky požáru

- 1) Teplotní analýza požárního úseku
- 2) Teplotní analýza konstrukce
- 3) Návrh konstrukce na účinky požáru

7.1. Teplotní analýza požárního úseku

Rozvoj požáru v požárním úseku se pro účely návrhu uvažuje podle návrhového požárního scénáře a příslušného návrhového požáru, který se stanoví na základě vyhodnocení požární rizika příslušného požární úseku. Průběh požáru se obvykle popisuje časovou závislostí teploty plynu v požárním úseku tzv. teplotní křivkou.

Podle normy ČSN EN 1991-1-2 lze vývoj požáru modelovat na různých úrovních přesnosti a obtížnosti. Nejjednodušším přístupem je použití tzv. nominálních teplotních křivek, které definují teplotu plynů v požárním úseku pouze jako funkci času trvání požáru. Tyto křivky popisují fázi plně rozvinutého požáru. Mezi tyto křivky se řadí:

- **normová teplotní křivka:** slouží pro stanovení požární odolnosti stavebních prvků, má empirický základ, neodrážející proměnné, které ovlivňují prostředí po celkovém vzplanutí. Je užitečná v případě, kdy je nutno uskutečnit porovnání s experimentálně stanoveným chováním stavební konstrukce za požáru.

$$\Theta_g = 20 + 345 \cdot \log_{10} \cdot (8 \cdot t + 1) \quad (7.1)$$

Kde Θ_g je teplota plynů v požárním úseku v °C, t je čas v minutách

- **křivka vnějšího požáru:** se používá při posuzování tepelného zatížení konstrukčních prvků vyskytujících se vně objektu. Tato teplotní křivka koresponduje s křivkou normovou až do dosažení teploty vnější konstrukce přibližně 660°C, kdy již zůstává teplota konstantní.

$$\Theta_g = 20 + 660 \cdot (1 - 0,687 \cdot e^{-0,32 \cdot t} - 0,313 \cdot e^{-0,38 \cdot t}) \quad (7.2)$$

- **uhlovodíková křivka:** umožňuje simulaci požárů s rychlým nárůstem intenzity. Touto křivkou mohou být reprezentovány plně rozvinuté požáry hořlavých kapalin.

$$\Theta_g = 20 + 1080 \cdot (1 - 0,325 \cdot e^{-0,167 \cdot t} - 0,675 \cdot e^{-2,5 \cdot t}) \quad (7.3)$$

Pro reálnější předpověď průběhu požáru lze místo nominálních teplotních křivek využít tzv. přirozené modely požáru. Norma ČSN EN 1991-1-2 rozlišuje zjednodušené modely požáru, kde patří:

- **parametrická teplotní křivka:** je křivka požáru řízeného odvětráním pro různé součinitele odvětrání, různé hustoty požárního zatížení a odlišné fyzikální vlastnosti konstrukcí ohraničujících požární úsek.

Parametrická teplotní křivka uvedená v Eurokódu 1 (Příloha A ČSN EN 1991-1-2) je platná pouze pro požáry s požárním zatížením celulosového typu a pro relativně malé požární úseky (s velikostí do 500 m² podlahové plochy s maximální světlou výškou 4 m). Nelze je rovněž aplikovat u požárních úseků s otvory v podlahách nebo stropěch .

Křivka je rozdělená na dvě části. První část popisuje exponenciální fázi rozvoje požáru a druhá část lineární fázi ochlazování. Předěl mezi těmito fázemi tvoří maximální dosažená teplota, což je důležitý údaj pro zjištění chování stavební konstrukce při požáru.

- **lokální požár:** popisuje požár ve fázi rozvoje, kde se požáru účastní pouze omezená část požárního zatížení v určité části požárního úseku, při čemž se předpokládá nerovnoměrné rozdělení teplot v prostoru

Mezi zpřesněné modely požáru řadíme:

- **jednozónové modely:** platí pro podmínky po celkovém vzplanutí. V požárním úseku se předpokládá stejnoměrná teplota, hustota, vnitřní energie a tlak plynu.
- **dvouzónové modely:** vychází z předpokladu hromadění produktů hoření ve vrstvě pod stropem, s vodorovným rozhraním. Rozděluje tedy místnosti při požáru na dvě homogenní zóny, kde každá vrstva má stejnoměrnou hustotu, teplotu a koncentraci plynů.
- **výpočetní dynamické modely kapalin a plynů:** tyto modely lze použít pro numerické řešení parciálních diferenciálních rovnic pro termodynamické a aerodynamické proměnné ve všech bodech požárního úseku.

7.2. Teplotní analýza konstrukce

Pro stanovení rozložení teploty v konstrukci je třeba znalosti sdílení tepla.

Sdílení tepla je přenos energie ve formě tepla, který probíhá třemi základními způsoby:

- vedením (kondukcí)
- prouděním (konvekcí)
- sáláním (radiací)

7.2.1. Vedení tepla

Při vedení tepla předávají částice látky s vyšší kinetickou energií část této energie částicím s nižší energií. Rovnici jednorozměrného neustálého vedení tepla lze zapsat:

$$\rho \cdot c_p \cdot \frac{\delta \Theta}{\delta t} - \frac{\delta \Theta}{\delta x} \cdot \left(\lambda \frac{\delta \Theta}{\delta x} \right) = Q \quad \text{pro } x \in \Omega \quad (7.4)$$

Kde Θ je teplota (neznámá veličina), ρ je objemová hmotnost materiálu, c_p je měrná tepelná kapacita materiálu, λ je součinitel tepelné vodivosti materiálu, Q je vnitřní zdroj tepla, x je polohová proměnná a Ω označuje řešenou oblast. Materiálové vlastnosti ρ, c_p, λ je obvykle nutné uvažovat závislé na teplotě materiálu.

7.2.2. Proudění a sálání

Proudění je sdílení tepla pohybem plynných nebo kapalných látek. Sálání je sdílení tepla prostřednictvím elektromagnetických vln, při kterém není nutná přítomnost látkového prostředí.

Okrajové podmínky jsou v normě ČSN EN 1991-1-2 definovány pomocí čistého tepelného toku h_{net} dopadajícího na hranici řešené oblasti.

Na hranici vystavené požáru se čistý tepelný tok stanoví jako:

$$h_{net} = h_{net,c} + h_{net,r} \quad (7.5)$$

Kde $h_{net,c}$ je složka čistého tepelného toku od proudění a $h_{net,r}$ je složka čistého sálavého tepelného toku.

7.3. Ověřování požární odolnosti stavebních konstrukcí

Ověřování požární odolnosti může být provedeno v podmínkách spolehlivosti z hlediska:

1) podle času:

- je tradičním postupem, při němž se většinou porovnává hodnota požadované požární odolnosti stanovená dle projektových norem ČSN 73 0802 či ČSN 73 0804, se skutečnou hodnotou požární odolnosti uvedenou ve zkušebním protokolu, normě ČSN 73 0821 či v Eurokódech.

$$t_{d,fi} \geq t_{fi,req} \quad (7.6)$$

Kde $t_{d,fi}$ je návrhová doba požární odolnosti, $t_{fi,req}$ je požadovaná doba požární odolnosti.

2) podle teploty:

- vychází z obecné podmínky spolehlivosti, kde hodnota požární odolnosti je ve většině případů dosažena v okamžiku, kdy teplota posuzovaného prvku je rovna kritické teplotě tohoto prvku. Tento způsob návrhu požární odolnosti se zvláště uplatnil u jednotlivých nechráněných i chráněných ocelových prvků zjednodušenými výpočtovými postupy, které vycházejí ze znalosti rozvoje teplot při požáru.

$$\Theta_d \geq \Theta_{d,cr} \quad (7.7)$$

Kde Θ_d je návrhová hodnota teploty materiálu, $\Theta_{d,cr}$ je návrhová hodnota kritické teploty materiálu.

3) podle únosnosti:

- tento způsob návrhu požární odolnosti pracuje s návrhovými hodnotami únosnosti R_d a účinků zatížení E_d při pokojových teplotách, které se upravují na návrhové hodnoty při požáru ($R_{d,fi}$ a $E_{d,fi}$). Obě tyto návrhové hodnoty jsou upraveny dílčími součiniteli bezpečnosti. Vzniká tak rovnice z hlediska únosnosti v čase t :

$$R_{d,fi,t} \geq E_{d,fi,t} \quad (7.8)$$

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

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

- od přímého zatížení účinku požáru, projevujícího se vzrůstem teploty hořících plynů, se odlišuje nepřímé zatížení požárem, které se projevuje teplotním přetvořením, tepelným přetvořením nebo nerovnoměrným rozdělením teploty po průřezu prvku. Účinky nepřímých teplotních zatížení mohou být

v odůvodněných případech zanedbány, zejména pokud působí na spolehlivost prvku příznivě.

- má-li se získat návrhová hodnota odpovídající účinku zatížení za požáru podle podmínky spolehlivosti, musí se pro mimořádné návrhové situace kombinovat mechanická návrhová zatížení:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ nebo } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (7.9)$$

Kde $G_{k,j}$ je charakteristická hodnota stálého zatížení j , P je reprezentativní hodnota zatížení od předpětí, A_d je návrhová hodnota mimořádného zatížení, $Q_{k,1}$ je charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení, $Q_{k,i}$ je charakteristické hodnoty vedlejších proměnných zatížení i , $\psi_{1,1}, \psi_{2,1}, \psi_{2,i}$ je kombinační součinitele nahodilých zatížení dle ČSN EN 1990, ukázka hodnot viz tabulka č.: 10.

- není-li výslovně třeba počítat s účinky nepřímých zatížení požárem, je dovoleno stavit účinky zatížení pro kombinaci zatížení v okamžiku vzniku požáru při $t = 0$ a tyto účinky lze považovat za neměnné po celou dobu působení požáru. Další zjednodušení představuje přípustné odvození návrhové hodnoty účinku zatížení při požáru $E_{d,fi,t}$ z návrhového účinku zatížení E_d pro základní kombinaci zatížení při pokojové teplotě dle ČSN EN 1991-1-2:

$$E_{d,fi,t} = E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d \quad (7.10)$$

Kde E_d je návrhová hodnota příslušných účinků zatížení při pokojové teplotě $E_{d,fi}$ je konstantní návrhová hodnota účinků zatížení při požáru nezávislá na čase, η_{fi} je redukční součinitel, který vyjadřuje poměr mezi hlavními, nahodilými a stálými zatíženími, jimž je konstrukce vystavena. Pro zjednodušení $\eta_{fi} = 0,65$ s výjimkou prostor pro skladování a průmyslovou činnost $\eta_{fi} = 0,7$.

- pro stanovenou hodnotu redukčního součinitele únosnosti konstrukce $\eta_{fi,t}$ v čase t je návrhová hodnota únosnosti konstrukce při požáru dána vztahem:

$$R_{d,fi,t} = \eta_{fi,t} \cdot R_d \quad (7.11)$$

Kde R_d je návrhová únosnost prvku při pokojové teplotě stanovená dle ČSN EN 1992-1-2 až ČN EN 1996-1-2 a ČSN EN 1999-1-2, $\eta_{f,t}$ je úroveň zatížení pro návrhový požár.

Tabulka 10. Výběr doporučených hodnot součinitelů $\psi_{1,1}, \psi_{2,1}$ [9]

Kategorie užitných zatížení pro pozemní stavby	$\psi_{1,1}$ (-)	$\psi_{2,1}$ (-)
Kategorie A: obytné plochy	0,5	0,3
Kategorie B: kancelářské plochy	0,5	0,3
Kategorie C: shromažďovací plochy	0,7	0,6
Kategorie D: obchodní plochy	0,7	0,6
Kategorie E: skladovací plochy	0,9	0,8

8. Navrhování zděných konstrukcí na účinky požáru dle normy EN 1996-1-2

8.1. Obecné zásady

Norma se zabývá pouze pasivními metodami požární ochrany.

Zděná konstrukce musí při namáhání požárem splňovat určité funkce, jako jsou:

- zabránit předčasnému zřícení konstrukce (nosná funkce)
- zamezit šíření požáru mimo navržené prostory

Při požárním namáhání musí stavební prvky splňovat kritéria nosnosti R, celistvosti E, izolace I, mechanické odolnosti M a to následovně:

- pouze nosnost kritérium R
- pouze dělicí funkce kritéria EI
- nosnost a dělicí funkce kritéria REI
- nosnost, dělicí funkce a mechanická odolnost kritéria REI-M
- dělicí funkce a mechanická odolnost kritéria EI-M

Při parametrickém požárním namáhání musí stavební konstrukce splňovat kritérium nosnosti R a izolace I.

Postupy navrhování:

- 1) normativní pravidla (tepelné zatížení dáno nominálním požárem)
 - analýza prvku
 - analýza části konstrukce
 - analýza celé konstrukce

- 2) přístup založený na vlastnostech (tepelné zatížení dáno fyzikálně)
 - analýza prvku
 - analýza části konstrukce
 - analýza celé konstrukce

Návrhové postupy:

- zkouška požární odolnosti
- použití tabulkových hodnot
- výpočet

8.2. Zkouška požární odolnosti

Požární odolnost všech typů zděných stěn je možné stanovit zkouškami, provedenými podle příslušných norem (EN1363-1-2, EN 1364-1, EN 1365-1, EN).

Zkoušky zděných stěn se mají provádět zejména tehdy, jestliže dosud není známa požární odolnost prvků, kterých má být použito (zdící prvky, procento objemu otvorů, objemová hmotnost, rozměry), typ malty, nebo kombinace zdících prvků a malty.

Výsledkem požárních zkoušek je protokol, popřípadě firemní katalog.

8.3. Použití tabulkových hodnot

Tloušťku zděné stěny potřebnou pro dobu požární odolnosti je možné pro odpovídající zděné prvky a zatížení převzít z tabulek B1 až B6 normativní přílohy této normy.

Tabulky jsou platné pouze pro stěny, odpovídající EN 1996-1-1, EN 1996-2, EN 1996-3, a stěny odpovídajícího typu a funkce (například nenosné).

Tloušťky uvedené v jednotlivých tabulkách představují tloušťku samotné zděné stěny bez případných povrchových úprav. První z dvojice řádků stanoví hodnoty pro stěny bez povrchové úpravy, v druhém z dvojice řádků, platí pro stěny s provedenou povrchovou úpravou sádrové omítky nebo omítky, jež vyhovují požadavkům normy ČSN EN 998-1

s nejmenší tloušťkou 10 mm na obou stranách jednovrstvé stěny nebo na té straně dutinové stěny, která je vystavena působením požáru.

(cementová omítka nezvyšuje hodnotu požární odolnosti zděné stěny stanovenou ve druhém z dvojice řádků tabulky).

Jestliže jsou v tabulkách uvedeny vedle sebe dvě tloušťky stěny, oddělné šikmým lomítkem, je tím stanoven rozsah doporučených tlouštěk (např. 170/190). Dle národní přílohy ČR lze v těchto případech použít nižší z obou hodnot (tj. v uvedeném případě 170 mm).

Nejmenší tloušťka stěny uvedené v tabulkách zaručuje pouze požadovanou požární odolnost. Nejsou v ní zahrnuty požadavky na případné větší rozměry potřebné z jiných důvodů, např.: statických nebo vzhledem k zajištění odpovídajících akustických parametrů.

Tloušťky uvedené v tabulkách pro nenosné stěny jsou platné pouze pro stěny, jejichž poměr výšky k tloušťce je menší než 40.

Tabulka 11. Zdivo z pálených zdících prvků – nejmenší tloušťka dělicích nosných jednovrstvých stěn (kritéria REI) pro posouzení požární odolnosti [4]

Číslo řádku	Materiálové vlastnosti: Pevnost zdícího prvku f_b [N/mm ²] Objemová hmotnost ρ [kg/m ³] Součtová tloušťka $c t$ % tloušťky stěny	Nejmenší tloušťka stěny (mm) t_F pro klasifikaci REI po dobu (v minutách) $t_{R,d}$						
		30	45	60	90	120	180	240
1S	Skupina 1S							
1S.1	$5 \leq f_b \leq 75$ obyčejná malta $5 \leq f_b \leq 50$ malta pro tenké spáry $1\ 000 \leq \rho \leq 2\ 400$							
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)

8.4. Výpočet

Požární odolnost zděných stěn může být posouzena výpočtem, přičemž se vezmou v úvahu předpokládané způsoby porušení při požárním namáhání, vlastnosti materiálů v závislosti na teplotě, štíhlostní poměr a vlivy teplotního roztažení a přetvoření.

Cílem je prokázat, že po celou dobu požárního namáhání je návrhová hodnota příslušných účinků zatížení při požární situaci, včetně účinků plynoucích z teplotního roztažení a deformace, menší než návrhová hodnota únosnosti prvku při požární situaci v čase t .

Jako výpočetní metodu je možné použít:

- posouzení jednotlivých stavebních prvků
- posouzení celé konstrukce, které simuluje chování stavebních prvků, části konstrukce nebo celou konstrukci

Platnost výpočetních metod je nutné ověřit srovnáním vypočtené požární odolnosti s výsledky zkoušek.

Výpočetní postupy:

- zjednodušená výpočetní metoda (v informativní příloze C této normy)
- přesnější výpočetní metoda (v informativní příloze D této normy)

8.4.1. Zjednodušená výpočetní metoda

Ve zjednodušené výpočetní metodě je únosnost zdiva stanovena okrajovými podmínkami zbytkového příčného průřezu zdiva (s vyloučením části průřezu, kde je dosaženo teploty, nad kterou materiál nemá již žádnou únosnost, a s redukcí pevnosti zdiva v pásmu mezi izotermami Θ_1 a Θ_2), při zvolené době trvání požáru a se zatížením použitým při běžné teplotě zdiva.

Zjednodušená metoda se vztahuje, při normovém požárním namáhání, na zděné stěny a sloupy, které jsou provedeny z kombinací stanovené touto normou.

V mezním stavu požární situace má být návrhová hodnota svislého zatížení stěny nebo sloupu menší nebo rovna návrhové hodnotě svislé únosnosti stěny nebo sloupu:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,fi(\Theta_i)} \quad (8.1)$$

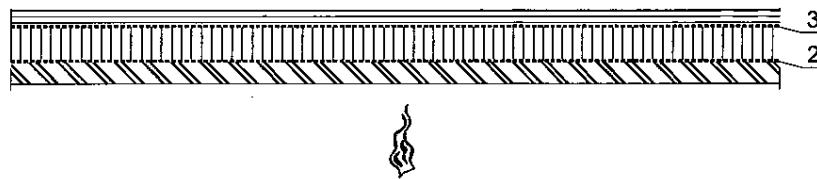
Návrhová hodnota svislé únosnosti stěny nebo sloupu je dána vztahem:

$$N_{Rd,fi(\Theta_i)} = \Phi(f_{d\Theta_1} \cdot A_{\Theta_1} + f_{d\Theta_2} \cdot A_{\Theta_2}) \quad (8.2)$$

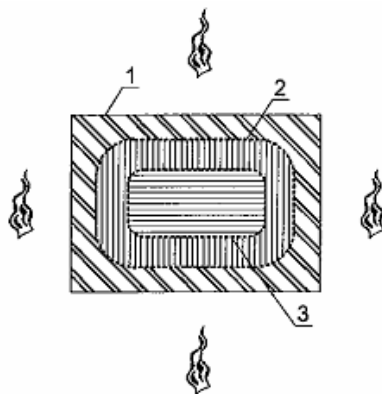
Kde A je celková plocha (průřezu) zdiva, A_{Θ_1} je plocha zdiva až k izotermě Θ_1 , A_{Θ_2} je plocha zdiva mezi izotermami Θ_1 a Θ_2 , N_{Ed} je návrhová hodnota svislého zatížení, $N_{Rd,fi(\Theta_i)}$ je návrhová hodnota únosnosti při požární situaci. Θ_1 představuje teplotu, do které

je možné použít pevnost zdiva při běžných teplotách, Θ_2 teplotu, nad kterou materiál nemá žádnou zbytkovou pevnost, $f_{d\Theta_1}$ návrhovou pevnost v tlaku zdiva při teplotě menší nebo rovné Θ_1 , $f_{d\Theta_2}$ návrhovou pevnost v tlaku zdiva mezi teplotami Θ_1 a Θ_2 °C, vyjádřená jako $c f_{d\Theta_1}$. c je konstanta určená ze zkušebních křivek závislosti napětí-přetvoření při zvýšených teplotách (s dolními indexy), Φ je redukční součinitel pro zohlednění štíhlosti a excentricity ve střední části výšky stěny, určený podle 6.1.2.2 EN 1996-1-1, navíc zohledňující excentricitu $e_{\Delta\Theta}$ a $e_{\Delta\Theta}$ je excentricita vyvolána změnou teploty napříč zdivem.

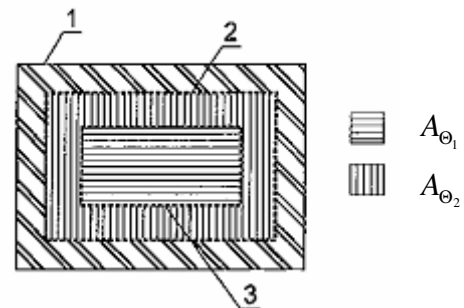
Rozložení teplot napříč průřezem zděné konstrukce a teplotou, při které již zděná konstrukce nevykazuje žádnou únosnost, je možné získat z výsledků zkoušek, nebo z databáze zkušebních výsledků, a to v závislosti na čase požárního namáhání. Jestliže takové zkušební výsledky nebo databáze nejsou k dispozici, je možné použít diagramy uvedené v příloze C této normy.



Obr. 5 - Příčný průřez dělicí stěnou [4]



Obr. 6 Příčný průřez požárně namáhaného sloupu s reálnými izotermami [4]



Obr. 7 Příčný průřez požárně namáhaného sloupu s izotermami upravenými pro potřeby zjednodušeného výpočtu [4]

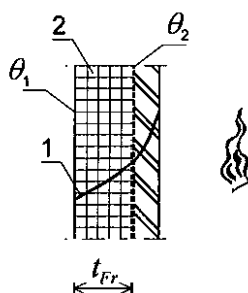
Legenda:

1 – hranice původního průřezu, 2 – izoterma pro $\Theta = \Theta_2$, 3 – izoterma pro $\Theta = \Theta_1$

Excetricitu $e_{\Delta\Theta}$, vyvolanou požárním namáháním, je možné pro potřeby jednoduchého výpočetního modelu určit z výsledků zkoušek nebo ze vztahu:

$$e_{\Delta\Theta} = \frac{1}{8} \cdot h_{ef}^2 \cdot \frac{\alpha_1 \cdot (\theta_2 - 20)}{t_{Fr}} \leq h_{ef} / 20 \quad (8.3)$$

Kde h_{ef} je účinná výška stěny, α_1 součinitel teplotní roztažnosti zdiva, 20°C je teplota předpokládaná na straně požáru a t_{Fr} je tloušťka příčného průřezu, jehož teplota nepřekročí Θ_2 .



Obr. 8 – Svislý řez zděnou stěnou [4]

Legenda:

- 1 – průběh teplot podle obrázku č.: 8
- 2 – zbytková plocha příčného průřezu s předpokládanou únosností $A_{\Theta_1} + A_{\Theta_2}$

Tabulka 12. Hodnoty konstant c a teplota Θ_1 a Θ_2 pro různé materiály zdiva [4]

Zdicí prvky a malty (neomítané povrchy stěn) podle 1.1 (2)	Hodnoty konstanty c	Teplota $^\circ\text{C}$	
		θ_2	θ_1
Cihly s obyčejnou maltou	c_{cl}	600	100
Vápenopískové zdicí prvky s maltou pro tenké spáry	c_{cs}	500	100
Zdicí prvky z betonových tvárnic s pórovitým kamenivem s obyčejnou maltou	c_{ta}	400	100
Zdicí prvky z betonových tvárnic s hutným kamenivem s obyčejnou maltou	c_{da}	500	100
Zdicí prvky z pórobetonových tvárnic s maltou pro tenké spáry	c_{aac}	400	200

8.4.2. Přesnější výpočetní metoda

Přesnější výpočetní metody mají na základě obecných fyzikálních zákonitostí spolehlivě vyjádřit předpokládané chování konstrukčních prvků v podmínkách požáru.

Přesnější výpočetní metody mají obsahovat výpočetní modely pro stanovení:

- průběhu a rozložení teplot ve stavebním prvku (model tepelného posouzení)
- mechanického chování nosné konstrukce nebo jejich částí (model mechanického posouzení)

Přesnější výpočetní metody lze použít ve spojení se všemi známými teplotními křivkami požáru za předpokladu, že jsou známy vlastnosti materiálu pro příslušný rozsah teplot a dynamika zahřívání.

Tepelné posouzení:

Vychází z uznávaných pravidel teorie sdílení tepla. V modelu tepelného posouzení se uvažují:

- příslušné tepelné účinky stanovené v ČSN EN 1991-1-2
- vlastnosti materiálu v závislosti na teplotě

Mechanická odezva:

Vychází ze všeobecně uznávaných pravidel a předpokladů teorie stavební mechaniky, při zohlednění změn mechanických vlastností v závislosti na teplotě. Mají posoudit účinky teplotních přetvoření a napětí. Deformace v mezním stavu únosnosti, uvažované ve výpočetní metodě, je nutné omezit tak, aby se zajistila souvislost mezi všemi částmi nosné konstrukce. Při posouzení jednotlivých částí nebo podsestav stavební konstrukce se mají překontrolovat a vymezit okrajové podmínky tak, aby se zamezilo porušení konstrukce v důsledku ztráty odpovídajícího podepření prvků.

Podmínka spolehlivosti:

$$E_{f_i,d}(t) \leq R_{f_i,t,d} \quad (8.4)$$

Kde $E_{f_i,d}$ je konstantní návrhová hodnota příslušných účinků zatížení při požární situaci, stanovená podle EN 1991-1-2, včetně vlivů, plynoucích z tepelných deformací, $R_{f_i,t,d}$ je návrhová hodnota únosnosti prvku při požární situaci v požadovaném čase a t je návrhová doba trvání požáru.

Při posouzení nosných konstrukcí výpočtem se musí posoudit mechanismy selhání při požárním namáhání, vlastnosti materiálů v závislosti na teplotě, včetně tuhosti jakož i efekty, plynoucích z teplotních roztažností a deformací (nepřímé účinky požáru).

9. Příklady řešení

Popis objektu:

Kancelářské prostory v nevýrobním objektu o rozměrech 6,7x17,6x3 m ($l/w/h$). Obvodové zdivo z pálených zdících prvků Porotherm 24 AKU P20, kategorie I, rozměrů 115/240/113, skupiny 1 (Podíl děrování 14%) na obyčejnou maltu M5, strop a podlaha z lehkého betonu. Tloušťka stěny je 240 mm. Objemová hmotnost zdiva je cca 1520Kgm⁻³. Dostředný tlak $M_{ed} = 0$, normálová síla $N_{ed} = 210$ kN.

Bezpečná evakuace osob včetně odvodu kouře z únikové cesty zajištěna. Prostory vybavené přenosnými hasícími prostředky a elektrickou požární signalizací. V obvodových stěnách je umístěno celkem pět oken o rozměru 2x1,5m (l_v / w_v).

Požadovaná doba požární odolnosti je 90 min (kritérium R 90).

9.1. Výpočet

9.1.1. Únosnost při běžné teplotě

Normalizovaná pevnost zdiva v tlaku:

$$f_b = \delta \cdot \eta \cdot f_u = 1,022 \cdot 1 \cdot 20 = 20,44 \text{ MPa}$$

Charakteristická pevnost v tlaku nevyztuženého zdiva s obyčejnou maltou:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,3} = 0,55 \cdot 20,44^{0,7} \cdot 5^{0,3} = 7,369 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$$

Návrhová pevnost zdiva v tlaku (třída provádění 3):

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} = \frac{7,369}{2,2} = 3,35 \text{ MPa}$$

Vzpěrná výška stěny:

$$h_{ef} = \rho_2 \cdot h = 0,75 \cdot 3 = 2,25 \text{ m}$$

Účinná tloušťka stěny:

$$t_{ef} = 0,24 \text{ m}$$

Štíhlost stěny:

$$\frac{h_{ef}}{t_{ef}} = \frac{2,25}{0,24} = 9,375 < 27 \Rightarrow \text{Štíhlostní poměr vyhovuje kritériu pro mezní štíhlost}$$

Zatížení v patě a záhlaví stěny:

$$\text{- excentricita } \Phi_i = 1 - 2 \cdot \frac{e_i}{t_s} = 1 - 2 \cdot \frac{0,05 \cdot t_s}{t_s} = 1 - 2 \cdot 0,05 = 0,9$$

$$N_{Rd,i} = \Phi_i \cdot b \cdot t_s \cdot f_d \cdot 10^3 = 0,9 \cdot 1 \cdot 0,24 \cdot 3,35 \cdot 10^3 = 723,6 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,i} = N_{Ed} + \gamma_G \cdot (b \cdot t_s \cdot h \cdot \rho) = 210 + 1,35 \cdot (1 \cdot 0,24 \cdot 3 \cdot 15,2) = 224,78 \text{ kN}$$

Zatížení ve střední části stěny:

- excentricita $\Phi_m = 0,846 \Rightarrow$ určeno z tabulky A.1 normy ČSN EN 1996-1-1 přílohy A za předpokladu, že součinitel $K_E = 1000$ a kde:

$$\frac{h_{ef}}{t_{ef}} = 9,375; \quad \frac{e_{mk}}{t_s} = \frac{0,012}{0,24} = 0,05$$

$$e_{mk} = e_m + e_k \geq 0,05 \cdot t_s \Rightarrow e_{mk} = \frac{h_{ef}}{450} + 0 \geq 0,05 \cdot 0,24 \Rightarrow e_{mk} = 0,005 \geq 0,012$$

$$\Rightarrow e_{mk} = 0,12$$

$$N_{Rd,m} = \Phi_m \cdot b \cdot t_s \cdot f_d \cdot 10^3 = 0,846 \cdot 1 \cdot 0,24 \cdot 3,35 \cdot 10^3 = 680 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,m} = N_{Ed} + \gamma_G \cdot (b \cdot t_s \cdot h \cdot \rho) = 210 + 1,35 \cdot \left(1 \cdot 0,24 \cdot \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 15,2 \right) = 217,39 \text{ kN}$$

Musí platit:

$$N_{Rd,i} > N_{Ed,i} \Rightarrow 723,6 \text{ kN} > 224,78 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,m} > N_{Ed,m} \Rightarrow 680 \text{ kN} > 217,39 \text{ kN}$$

\Rightarrow stěna pro běžné teploty vyhoví

9.1.2. Únosnost za požární situace při nominálním požárním namáhání

Podmínka spolehlivosti:

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

Návrhová hodnota svislého zatížení je pro $\eta_{fi} = 0,65$:

$$N_{Ed,fi,i} = \eta_{fi} \cdot N_{Ed,i} = 0,65 \cdot 224,78 = 146,1 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,fi,m} = \eta_{fi} \cdot N_{Ed,m} = 0,65 \cdot 217,39 = 141,3 \text{ kN}$$

Návrhová hodnota svislé únosnosti:

$$N_{Rd,fi,\Theta_i} = \Phi \cdot (f_{d,\Theta_1} \cdot A_{\Theta_1} + f_{d,\Theta_2} \cdot A_{\Theta_2})$$

Tabulka normy ČSN EN 1996-1-2 přílohy C stanovuje teploty izoterm:

$$\Theta_1 = 100 \text{ }^\circ\text{C} ; \Theta_2 = 600 \text{ }^\circ\text{C}$$

Z grafu č.: C.3 (a) normy ČSN EN 1996-1-2 přílohy C, určíme tloušťky zdiva ve kterých je v době 90 minut dosaženo teplot $\Theta_1 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Theta_2 = 600 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$t_{100^\circ\text{C},90} \cong 100 \text{ mm} ; t_{600^\circ\text{C},90} \cong 30 \text{ mm}$$

Návrhové pevnosti zdiva za požární situace:

$$f_{d\Theta_1} = \frac{f_k}{\gamma_{Mfi}} = \frac{7,369}{1} = 7,369 \text{ MPa}$$

$$f_{d\Theta_2} = f_{d\Theta_1} \cdot c = 7,369 \cdot 0 = 0 \text{ MPa}$$

Plocha zdiva k izotermě Θ_1 :

$$A_{\Theta_1} = (t_s - 0,1) \cdot b = (0,24 - 0,1) \cdot 1 = 0,14 \text{ m}^2$$

Pro redukční součinitel Φ je uvažovaná tloušťka v polovině oblasti mezi izotermami:

$$\Theta_1 \text{ a } \Theta_2 \Rightarrow t_s = 0,24 - 0,065 = 0,175 \text{ mm}$$

V patě a záhlaví stěny:

$$\text{- excentricita } \Phi_i = 1 - 2 \cdot \frac{e_i}{t_s} = 1 - 2 \cdot \frac{0,05 \cdot t_s}{t_s} = 1 - 2 \cdot 0,05 = 0,9$$

Ve střední části stěny:

- excentricita $\Phi_m = 0,792 \Rightarrow$ určeno z tabulky A. 1 normy ČSN EN 1996-1-1 přílohy A za předpokladu, že součinitel $K_E = 1000$ a kde:

$$\frac{h_{ef}}{t_{ef}} = \frac{2,25}{0,175} = 12,8 \leq 27 \Rightarrow \text{Štíhlostní poměr vyhovuje kritériu pro mezní štíhlost}$$

$$\frac{e_{mk}}{t_s} = \frac{0,009}{0,175} = 0,05$$

$$e_{mk} = e_m + e_k \geq 0,05 \cdot t_s \Rightarrow e_{mk} = \frac{h_{ef}}{450} + 0 \geq 0,05 \cdot 0,175 \Rightarrow e_{mk} = 0,005 \geq 0,009$$

$$\Rightarrow e_{mk} = 0,009$$

Excentricita $e_{\Delta\Theta}$ vyvolána změnou teploty:

$$e_{\Delta\Theta} = \frac{1}{8} \cdot h_{ef}^2 \cdot \frac{\alpha_t \cdot (\Theta_2 - 20)}{t_{Fr}} \leq \frac{h_{ef}}{20} = \frac{1}{8} \cdot 2,25^2 \cdot \frac{9 \cdot 10^{-6} (600 - 20)}{0,24 - 0,03} \leq \frac{2,25}{20} = 0,016 \leq 0,113$$

$$e_{mk} = \frac{h_{ef}}{450} + e_{\Delta\Theta} = \frac{2,25}{450} + 0,016 = 0,021$$

Zohlednění excentricity $e_{\Delta\Theta}$:

- excentricita $\Phi_m = 0,684 \Rightarrow$ určeno z tabulky A. 1 normy ČSN EN 1996-1-1

přílohy A za předpokladu, že součinitel $K_E = 1000$ a kde:

$$\frac{h_{ef}}{t_{ef}} = \frac{2,25}{0,175} = 12,8 \leq 27 \Rightarrow \text{Štíhlostní poměr vyhovuje kritériu pro mezní štíhlost}$$

$$\frac{e_{mk}}{t_s} = \frac{0,021}{0,175} = 0,12$$

Zatížení v patě a záhlaví stěny:

$$N_{Rd,fi,\Theta,i} = \Phi_i \cdot b \cdot t_s \cdot f_{d\Theta 1} \cdot 10^3 = 0,9 \cdot 1 \cdot 0,14 \cdot 7,369 \cdot 10^3 = 928,5 \text{ kN}$$

Zatížení ve střední části stěny:

$$N_{Rd,fi,\Theta,m} = \Phi_m \cdot b \cdot t_s \cdot f_{d\Theta 1} \cdot 10^3 = 0,684 \cdot 1 \cdot 0,14 \cdot 7,369 \cdot 10^3 = 705,7 \text{ kN}$$

Musí platit:

$$N_{Rd,fi,\Theta,i} > N_{Ed,fi,i} \Rightarrow 928,5 \text{ kN} > 224,78 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,fi,\Theta,m} > N_{Ed,fi,m} \Rightarrow 705,7 \text{ kN} > 217,39 \text{ kN}$$

=> únosnost stěny vyhoví za požární situace po dobu 90 minut při působení požáru z jedné strany.

9.1.3. Únosnost za požární situace při parametrickém požárním namáhání

Určení základních parametrů:

Plocha požárního úseku:

$$A_f = l \cdot w = 6,7 \cdot 17,6 = 117,92 \text{ m}^2$$

Celková plocha svislých otvorů:

$$A_v = 5 \cdot l_v \cdot w_v = 5 \cdot 2 \cdot 1,5 = 15 \text{ m}^2$$

Celková plocha konstrukcí ohraničujících požární úsek včetně otvorů:

$$A_t = 2 \cdot A_f + 2 \cdot l \cdot h + 2 \cdot w \cdot h = 2 \cdot 117,92 + 2 \cdot 6,7 \cdot 3 + 22 \cdot 17,6 \cdot 3 = 381,64 \text{ m}^2$$

Koeficient povrchů pro konstrukce ohraničující požární úsek:

- podlaha a strop z lehkého betonu

$$b_p = \sqrt{(\rho \cdot c \cdot \lambda)} = \sqrt{(1600 \cdot 840 \cdot 0,8)} = 1037 \quad J \cdot m^{-2} \cdot s^{-0,5} \cdot K^{-1}$$

- stěny lehčené

$$b_p = \sqrt{(\rho \cdot c \cdot \lambda)} = \sqrt{(1600 \cdot 840 \cdot 0,7)} = 980 \quad J \cdot m^{-2} \cdot s^{-0,5} \cdot K^{-1}$$

- celkový součinitel b

$$b_p = \frac{\sum (b_j \cdot A_j)}{A_t - A_v} = \frac{1037 \cdot 2 \cdot 117,92 + 970 \cdot (2 \cdot (6,7 + 17,6) \cdot 3 - 15)}{381,64 - 15}$$

$$b_p = 1013 \quad J \cdot m^{-2} \cdot s^{-0,5} \cdot K^{-1}$$

Podmínka: $100 \leq b \leq 2200 \quad J \cdot m^{-2} \cdot s^{-0,5} \cdot K^{-1} \quad \Rightarrow$ vyhovuje

Koeficient otvorů:

$$O = \frac{A_v \cdot \sqrt{h_{eq}}}{A_t} = \frac{15 \cdot \sqrt{1,5}}{381,64} = 0,048 \text{ m}^{0,5}$$

Podmínka: $0,02 \leq O \leq 0,20 \text{ m}^{0,5} \quad \Rightarrow$ vyhovuje

Pomocný součinitel:

$$\Gamma = \frac{(O/b_p)^2}{(0,04/1160)^2} = \frac{(0,048/1013)^2}{(0,04/1160)^2} = 1,888$$

Hustota požárního zatížení vztažená k podlahové ploše:

- charakteristická hustota požárního zatížení $q_{f,k} = 511 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$
- součinitel hoření $m = 0,8$
- součinitel nebezpečí vzniku požáru v závislosti na velikostí požárního úseku po lineární interpolaci $\delta_{q1} = 1,27$
- součinitel nebezpečí vzniku požáru v závislosti na druhu provozu $\delta_{q2} = 1$
- součinitel aktivní protipožární ochrany $\delta_n = 0,73$

Návrhová hustota požárního zatížení:

$$q_{f,d} = m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \cdot q_{f,k} = 0,8 \cdot 1,27 \cdot 1 \cdot 0,73 \cdot 511 = 379 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$$

Hustota požárního zatížení vztažená k ploše povrchu požárního úseku:

$$q_{fd} = q_{fd} \cdot A_f / A_t = 379 \cdot 117,92 / 381,64 = 117,1 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\text{Podmínka:} \quad 50 \leq q_{fd} \leq 1000 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \quad \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Maximální dosažená teplota:

Nejprve je třeba zjistit dobu, kdy bude dosaženo nejvyšší teploty, při požáru řízeném palivem, která je pro administrativní prostory udávána $t_{\text{lim}} = 20 \text{ min} = 0,33 \text{ hodin}$.

Poté určíme dobu t_{max} , ve které je dosaženo maximální teploty:

$$t_{\text{max}} = \max \left[t_{\text{lim}}; \left(0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{fd} / O \right) \right]$$

$$t_{\text{max}} = \max \left[0,333; \left(0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 117,1 / 0,048 \right) \right] = 0,488 \text{ hodin} \cong 29 \text{ min}$$

Náhradní čas t_{max}^* při které je dosaženo maximální teploty:

$$t_{\text{max}}^* = t_{\text{max}} \cdot \Gamma = 0,488 \cdot 1,888 = 0,92 \text{ hodin}$$

Maximální teplota:

$$\Theta_{\max} = 20 + 1325 \cdot \left(1 - 0,324e^{-0,2t_{\max}^*} - 0,204e^{-1,7t_{\max}^*} - 0,472e^{-19t_{\max}^*}\right)$$
$$\Theta_{\max} = 20 + 1325 \cdot \left(1 - 0,324e^{-0,2 \cdot 0,92} - 0,204e^{-1,7 \cdot 0,92} - 0,472e^{-19 \cdot 0,92}\right) = 931,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Fáze rozvoje požáru:

Teplotní křivka ve fázi rozvoje je dána vztahem:

$$\Theta_g = 20 + 1325 \cdot \left(1 - 0,324e^{-0,2t^*} - 0,204e^{-1,7t^*} - 0,472e^{-19t^*}\right)$$

Kde náhradní čas t^* je dán vztahem:

$$t^* = t \cdot \Gamma$$

Fáze chladnutí:

Teplotní křivka je dána rovnicí za podmínky $0,5 \leq t_{\max}^* < 2 \Rightarrow 0,5 \leq 0,91 < 2$:

$$\Theta_g = \Theta_{\max} - 250 \cdot (3 - t_{\max}^*) \cdot (t^* - t_{\max}^* \cdot x)$$

Celkový průběh parametrické teplotní křivky znázorněn graficky i tabulkově nalezneme v příloze B.

Numerickou metodou konečných rozdílů určíme průběh teplotního pole v čase 29 min, kdy teplota v prostoru dosáhne svého maxima. Poté určíme tloušťky zdiva, ve kterých je v této době dosaženo teplot $\Theta_1 = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_2 = 600 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Pro zjednodušení můžeme použít volně dostupného programu *TempAnalysis Computer Program* [27], pomocí něž stanovíme požadované tloušťky zdiva k izotermám Θ_1, Θ_2 .

$$t_{100^\circ\text{C},29} \cong 66 \text{ mm}; \quad t_{600^\circ\text{C},29} \cong 16 \text{ mm}$$

Další výpočet únosnosti zdiva za požární situace určený pomocí parametrické teplotní křivky je zcela zbytečný, jelikož vidíme, že průřezová plocha zdiva k izotermám Θ_1, Θ_2 , je menší než při výpočtu pomocí normové teplotní křivky.

Teplota izoterm	Normová teplotní křivka	Parametrická teplotní křivka
$\Theta_1 = 100\text{ }^\circ\text{C}$	100 mm	66 mm
$\Theta_2 = 600\text{ }^\circ\text{C}$	30 mm	16 mm

9.2. Pomocí tabulkové metody

Tabulka 14. Zdivo z pálených zdících prvků – nejmenší tloušťka dělicích nenosných stěn (kritéria EI) pro posouzení požární odolnosti [4]

Číslo řádku	Materiálové vlastnosti: Objemová hmotnost ρ [kg/m ³]	Nejmenší tloušťka stěny (mm) t_F pro klasifikaci EI po dobu (v minutách) $t_{i,d}$						
		30	45	60	90	120	180	240
1.	Skupina 1S, 1, 2, 3 a 4							
1.1	Malta: obyčejná, pro tenké spáry, lehká $500 \leq \rho \leq 2\ 400$							
1.1.1		60/100	90/100	90/100	100/140	100/170	160/190	190/210
1.1.2		(50/70)	(50/70)	(60/70)	(70/100)	(90/140)	(110/140)	(170)

=> Požární odolnost 240 minut bez povrchové úpravy či s omítkou.

Tabulka 15. Zdivo z pálených zdících prvků – nejmenší tloušťka dělicích nosných jednovrstvých stěn (kritéria REI) pro posouzení požární odolnosti [4]

Číslo řádku	Materiálové vlastnosti: Pevnost zdícího prvku f_b [N/mm ²] Objemová hmotnost ρ [kg/m ³] Součtová tloušťka $c t$ % tloušťky stěny	Nejmenší tloušťka stěny (mm) t_F pro klasifikaci REI po dobu (v minutách) $t_{i,d}$						
		30	45	60	90	120	180	240
1	Skupina 1 Malta: obyčejná, pro tenké spáry							
1..2	$5 \leq f_b \leq 75$ $800 < \rho \leq 2\ 400$							
1.2.1		90/100	90/100	90/100	100/170	140/170	170/190	190/210
1.2.2	$\alpha \leq 1,0$	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(100/140)	(110/170)	(170/190)
1.2.3		90/100	90/100	90/100	100/140	140/170	140/170	190/200
1.2.4	$\alpha \leq 0,6$	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(100/140)	(110/170)	(170/190)

=> Požární odolnost 240 minut bez povrchové úpravy či s omítkou.

Tabulka 16. Zdivo z pálených zdících prvků – nejmenší tloušťka nedělicích nosných jednovrstvých stěn o délce $\geq 1,0$ m (kritéria R) pro posouzení požární odolnosti [4]

Číslo řádku	Materiálové vlastnosti: Pevnost zdícího prvku f_b [N/mm ²] Objemová hmotnost ρ [kg/m ³] Součtová tloušťka αt -v % tloušťky stěny	Nejmenší tloušťka nebo délka stěny (mm) t_f pro klasifikaci R po dobu (v minutách) $t_{f,d}$						
		30	45	60	90	120	180	240
1	Skupina 1							
1.1	Malta: obyčejná, pro tenké spáry $5 \leq f_b \leq 75$ $800 \leq \rho \leq 2\,400$							
1.1.1	$\alpha \leq 1,0$	100	100	100	240	365	490	nvg
1.1.2		(100)	(100)	(100)	(100)	(170)	(240)	
1.1.3	$\alpha \leq 0,6$	100	100	100	170	240	300	nvg
1.1.4		(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(200)	

=> Požární odolnost za předpokladu plného využití únosnosti (pro $\alpha \leq 1$):

- bez povrchové úpravy 90 minut
- s oboustrannou omítkou 180 minut

Další možností, jak si urychlit práci při stanovení požární odolnosti zděných konstrukcí pomocí tabulek je přenést tabulkové hodnoty do programu vytvořeného v Microsoft Office Excel jak ukazuje příloha C.

10. Závěr

Při návrhu konstrukcí je nutno pamatovat i na mimořádné situace jako je zemětřesení, požár a jiné jevy, které nepříznivě působí na statiku objektu. Za požární situace je stěžejní zajistit dostatečnou únosnost stavebních konstrukcí, které brání zřícení celého objektu, nebo jeho části a dostatečnou celistvost a tepelnou izolaci v případě požárně dělících konstrukcí, které brání rychlému šíření požáru v objektu.

Hlavní cílem této práce bylo vysvětlit a stanovit požární odolnost zděných konstrukcí. Nejprve bylo nutno stanovit únosnost konstrukce za běžné teploty a poté za požární situace. Eurokód 6 počítá s oslabením zdiva za požární situace o část, která již nemá žádnou únosnost a část která má sníženou únosnost. Jednotlivé části jsou děleny teplotními izotermami. Takto upravená konstrukce je posuzována znova z hlediska únosnosti, ale již za podmínek vystaveným požáru.

Ve své práci se snažím kompletizovat problematiku, které se v praxi věnují zvláště stavební inženýři a zvláště požární specialisté, ve zjednodušené formě. V běžné praxi se zděné konstrukce posuzují z hlediska požární bezpečnosti ve většině případů za pomocí tabulek, které uvádí Eurokód 6. Posouzení konstrukcí zkušebními metodami se děje ve specializovaných zkušebnách a to pouze v případech, kdy se jedná o specifické zdivo, jež není uvedeno v tabulkách. Při hledání pomoci se stanovením požární odolnosti zděných konstrukcí výpočetní metodou jsem nenarazil na nikoho z praxe, kdo by zděné konstrukce takto posuzoval.

11. Použitá literatura

- [1] ČSN EN 1990. *Zásady navrhování konstrukcí*. [s.l.]: Český normalizační institut, 2003. 71 s.
- [2] ČSN EN 1991-1-1. *Obecná zatížení: objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. [s.l.]: Český normalizační institut, 2003. 39 s.
- [3] ČSN EN 1991-1-2. *Obecná zatížení: zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*. [s.l.]: Český normalizační institut, 2004. 56 s.
- [4] ČSN EN 1996-1-1. *Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce*. [s.l.]: Český normalizační institut, 2007. 106 s.
- [5] ČSN EN 1996-1-2. *Obecná pravidla: navrhování konstrukcí na účinky požáru*. [s.l.]: Český normalizační institut, 2006. 84 s.
- [6] ČSN EN 1996-1-3. *Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí – Část 3: Zjednodušené metody výpočtu nevyztužených zděných konstrukcí*. [s.l.]: Český normalizační institut, 2007. 44 s.
- [7] ČSN 73 0802. *Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty*. [s.l.]: Český normalizační institut, 2009. 122 s.
- [8] ČSN 73 0804. *Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty*. [s.l.]: Český normalizační institut, 2010. 156 s.
- [9] ČSN 73 0821. *Požární bezpečnost staveb. Požární odolnost stavebních konstrukcí*. [s.l.]: Český normalizační institut, 1974. 48 s.
- [10] 998-1. *Specifikace malt pro zdivo – Část 1: Malty pro vnitřní a vnější omítky*. [s.l.]: Český normalizační institut, 2003. 24 s.
- [11] ČSN EN 1052-1, (EN 772-1). *Zkušební metody pro zdící prvky – Část 1: stanovení pevnosti v tlaku*. [s.l.]: Český normalizační institut, 2001. 16.
- [12] ČSN EN 1052-2. *Zkušební metody pro zdivo - Část 2: stanovení pevnosti v tahu za ohybu*. [s.l.]: Český normalizační institut, 2000. 12 s.
- [13] ČSN EN 1052-3. *Zkušební metody pro zdivo – Část 3: stanovení počáteční pevnosti ve smyku*. [s.l.]: Český normalizační institut, 2003. 16 s.
- [14] ČSN EN 1052-4. *Zkušební metody pro zdivo – Část 4: Stanovení pevnosti ve smyku zdiva s hydroizolací*. [s.l.]: Český normalizační institut, 2001. 12 s.

- [15] ČSN EN 1363-1. *Zkoušení požární odolnosti – Část 1: Základní požadavky*. [s.l.]: Český normalizační institut, 2000. 44 s.
- [16] ČSN EN 1364-1. *Zkoušení požární odolnosti nenosných prvků – Část 1: Stěny*. Český normalizační institut, 2000. 32 s.
- [17] ČSN EN 1365-1. *Zkoušení požární odolnosti nosných prvků – Část 1: Stěny*. Český normalizační institut, 2000. 28 s.
- [18] KOŠATA, Pavel; LORENZ, Karel. *Zděné konstrukce 1*. Vydání první. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. 145s. ISBN 80-01-03463-1.
- [19] NETOPILOVÁ, Miroslava. *Materiály: stavební materiály*. Vydání první. Ostrava: Edice SPBI Spektrum, 2004. 123 s. ISBN: 80-86634-27-2.
- [20] WALD, František. *Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí*. Vydání první. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2005. 336 s. ISBN: 80-01-03157-8.
- [21] BRADÁČOVÁ, Isabela. *Požární bezpečnost staveb: nevýrobní objekty*. Vydání první. Ostrava SPBI Spektrum, 2007. 225 s. ISBN: 978-80-7385-023-4.
- [22] KUČERA, Petr; ČESELKÁ, Tereza; MATEČKOVÁ, Pavlína. *Požární odolnost stavebních konstrukcí*. Vydání první. Ostrava SPBI Spektrum, 2010. 175 s. ISBN: 978-80-7385-094-4. + CD.
- [23] PROCHÁZKA, Jaroslav; VAŠKOVÁ, Jitka. *Navrhování betonových a zděných konstrukcí na účinky požáru*. Vydání první. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2010. 185 s. ISBN: 978-80-01-04613-5.
- [24] KOŠATA, Pavel; BROUKALOVÁ, Iva. *Navrhování zděných konstrukcí: příručka k ČSN EN 1996-1-1*. Vydání první. Nakladatelství IC ČKAIT, s.r.o., 2010. 140 s. ISBN: 978-80-87438-02-2.
- [25] KADLEC, Zdeněk. *Průvodce sdílením tepla pro požární specialisty*. Vydání první. Ostrava: Edice SPBI Spektrum, 2009. 78 s. ISBN: 978-80-7385-061-6.
- [26] KOŠATA, Pavel. *Příklady navrhování zděných konstrukcí 1*. Vydání první. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2008. 116 s. ISBN: 978-80-01-04210-6.
- [27] Radek Štefan — Výzkum [online]. 2012 [cit. 2012-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.concrete.fsv.cvut.cz/~stefan/>>.
- [28] Wienerberger cihlářský průmysl [online]. 2012 [cit. 2012-02-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.wienerberger.cz/zdivo>>.
- [29] Vápenopískové prvky pro svislé konstrukce [online]. 2000 [cit. 2012-02-15]. Dostupné z WWW:< <http://www.estav.cz/katalog/listy/K2516500.pdf>>.

- [30] *Výrobky Cihelny Štěrboholy* [online]. 2010 [cit. 2012-02-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.stavite.cz/vyrobky.html>>.
- [31] *Betonová cihla* [online]. 2008 [cit. 2012-02-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.katalog.betonsver.cz/beton-hronek>>.
- [32] Zásady dimenzování podle mezních stavů. In: *Zděné konstrukce* [online]. 2007 [cit. 2012-03-10]. Dostupné z WWW: <http://www.fce.vutbr.cz/BZK/simunek.p/AO01/AO01_zdene_konstrukce.pdf>.

12. Seznam příloh

Příloha A – Tabulky hodnot pevnosti zdiva ve smyku a v ohybu

Příloha B – Průběh parametrické teplotní křivky

Příloha C – Stanovení hodnot požární odolnosti zděné konstrukce vypracovaného příkladu pomocí programu vytvořeného v Microsoft Office Excel.

13. Seznam použitých symbolů

Velká písmena latinské abecedy:

A	celková plocha (průřezu) zdiva
A_d	návrhová hodnota mimořádného zatížení
A_f	plocha požárního úseku
A_t	celková plocha konstrukcí ohraničujících požární úsek včetně otvorů
A_v	celková plocha svislých otvorů
A_{Θ_1}	plocha zdiva k izotermě Θ_1
A_{Θ_2}	plocha zdiva mezi izotermami Θ_1 a Θ_2
E	kritérium celistvosti
E_d	návrhová hodnota účinku zatížení
$E_{d,fi,t}$	návrhová hodnota příslušných účinků zatížení při požární situaci v čase t
$G_{k,j}$	charakteristická hodnota stálého zatížení j

I	kritérium izolační schopnosti
K	konstanta ve vztazích pro výpočet charakteristické pevnosti zdiva v tlaku
K_E	modul pružnosti
M	kritérium mechanické odolnosti
M_i	ohybový moment v hlavě M_{fi} nebo patě stěny M_{hi} od výstředného zatížení
N_{Ed}	návrhová hodnota svislého zatížení
N_i	návrhová hodnota normálové síly v průřezu, v hlavě nebo patě stěny
N_{Rd}	návrhová únosnost jednovrstvé stěny v tlaku
$N_{Rd,fi,(Θi)}$	návrhová hodnota únosnosti při požární situaci
O	koeficient otvorů
P	reprezentativní hodnota zatížení od předpětí
Q	vnitřní zdroj tepla
$Q_{k,i}$	charakteristické hodnoty vedlejších proměnných zatížení
$Q_{k,1}$	charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení
R	kritérium únosnosti
R_d	návrhová hodnota únosnosti
$R_{d,fi,t}$	návrhová hodnota únosnosti prvku při požární situaci v čase t

Malá písmena latinské abecedy:

b	šířka průřezu stěny
b_p	koeficient povrchů pro konstrukce ohraničující požární úsek
c	konstanta určená ze zkušebních křivek závislosti napětí-přetvoření při zvýšených teplotách
c_a	měrné teplo
c_p	měrná tepelná kapacita materiálu
e_{fi}	výstřednost v hlavě nebo patě stěny od svislého zatížení
e_{hi}	výstřednost v hlavě nebo patě stěny od vodorovného zatížení
e_i	výstřednost normálové síly
e_{init}	počáteční výstřednost

e_{mk}	výsledná výstřednost ve střední části stěny
$e_{\Delta\Theta}$	excentricita vyvolána změnou teploty napříč zdívkou
f_b	normalizovaná pevnost zdiva v tlaku
f_d	návrhová pevnost zdiva v tlaku
$f_{d\Theta_1}$	návrhová pevnost v tlaku zdiva při teplotě menší nebo rovné Θ_1
$f_{d\Theta_2}$	návrhová pevnost v tlaku zdiva mezi teplotami Θ_1 a Θ_2 °C, vyjádřená jako $cf_{d\Theta_1}$
f_k	charakteristická pevnost zdiva
f_m	průměrná pevnost malty v tlaku
f_u	průměrná pevnost zdícího prvku v tlaku
f_{vk}	charakteristická pevnost zdiva ve smyku
f_{vko}	počáteční charakteristická pevnost zdiva ve smyku
f_{vlt}	omezující hodnota charakteristické smykové pevnosti f_{vk}
f_{xk1}	charakteristická pevnost zdiva v ohybu příslušející rovině porušení rovnoběžné s ložnými spárami
f_{xk2}	charakteristická pevnost zdiva v ohybu příslušející rovině porušení kolmé k ložným spárám
h	světla výška podlaží
h_{ef}	účinná výška stěny
h_{net}	čistý tepelný tok
$h_{net,c}$	složka čistého tepelného toku od proudění
$h_{net,r}$	složka čistého sálavého tepelného toku
m	součinitel hoření
$q_{f,d}$	návrhová hustota požárního zatížení
$q_{f,k}$	charakteristická hustota požárního zatížení
q_{td}	hustota požárního zatížení vztažená k ploše povrchu požárního úseku
t	je čas v minutách
$t_{d,fi}$	návrhová doba požární odolnosti

t_{ef}	účinná tloušťka stěny
$t_{fi,req}$	požadovaná doba požární odolnosti
t_{Fr}	tloušťka příčného průřezu, jehož teplota nepřekročí Θ_2
$t_{ineff 30}$	tloušťka stěny, která po 30 minutách již nevykazuje žádnou požární odolnost
$t_{ineff 90}$	tloušťka stěny, která po 90 minutách již nevykazuje žádnou požární odolnost
t_{max}	maximální teplota
t_s	tloušťka stěny
t^*	náhradní čas
t^*_{max}	náhradní čas při, kterém je dosaženo maximální teploty
x	numerický součinitel

Velká písmena řecké abecedy:

Γ	pomocný součinitel
Θ_g	teplota plynů v požárním úseku
Θ	teplota [$^{\circ}\text{C}$]
Θ_d	návrhová hodnota teploty materiálu
$\Theta_{d,cr}$	návrhová hodnota kritické teploty materiálu
Θ_{max}	maximální teplota
Θ_1	teplota, do které je možné použít pevnost zdiva při běžných teplotách
Θ_2	teplota, nad kterou materiál nemá žádnou zbytkovou pevnost
Φ	redukční součinitel pro zohlednění štíhlosti a excentricity ve střední části výšky stěny, určený podle 6.1.2.2 EN 1996-1-1, navíc zohledňující excentricitu $e_{\Delta\Theta}$
$\Phi_{i,m}$	zmenšující součinitel vyjadřující vliv výstřednosti zatížení a štíhlosti stěny
Φ_m	zmenšující součinitel
Ω	označuje řešenou oblast $(A_f q_{f,d}) / (A_v A_t)^{1/2}$

Malá písmena řecké abecedy:

α_1	součinitel teplotní roztažnosti zdiva
γ_M	součinitel spolehlivosti materiálu

δ	součinitel vlivu tvaru zdicího prvku
δ_n	součinitel aktivní protipožární ochrany
δ_{q1}	součinitel nebezpečí vzniku požáru v závislosti na velikostí požárního úseku
δ_{q2}	součinitel nebezpečí vzniku požáru v závislosti na druhu provozu
η	součinitel vlivu vlhkosti
η_{fi}	redukční součinitel vyjadřující poměr mezi hlavními, nahodilými a stálými zatíženími
$\eta_{fi,t}$	úroveň zatížení pro návrhový požár
λ	součinitel tepelné vodivosti materiálu
λ_a	tepelná vodivost
ρ	objemová hmotnost materiálu
ρ_n	zmenšující součinitel závislý na podepření okraje stěny nebo jejím ztužení
σ_d	návrhové napětí v tlaku
$\psi_{1,1}, \psi_{2,1}, \psi_{2,i}$	kombinační součinitele nahodilých zatížení