



ČVUT
FSv



**sborník 2. studentské
vědecké konference**

Zapálení2019

Fakulta stavební | 30. května 2019
ČVUT v Praze | pozar.fsv.cvut.cz



ČVUT
UCEEB

www.uceeb.cz/pozarni-laborator

POŽÁRNÍ VÝZKUM V UCEEB

Nabízíme studentům spolupráci na požárním výzkumu v rámci zajímavých a přínosných diplomových a doktorských prací.

Naše požární laboratoř umožňuje scénáře požáru velmi blízké skutečným situacím jako exteriérové velkorozměrové zkoušky na modelech objektů (full-scale testing) a interiérové laboratorní zkoušky v požární komoře (room corner test).

Požární komora je unikátní zařízení pro výzkum:

- dynamiky a rozvoje počátečních fází požáru v uzavřeném prostoru (místnost)
- reakce na oheň specifických výrobků pro povrchové úpravy stěn a stropů a jejich přímý vliv na rozvoj požáru a prostorové vzplanutí (flashover)
- hoření předmětů uvnitř i vně požární komory
- chování a degradace stavebních výrobků a konstrukčních prvků při požáru apod.



ČVUT
FSv



POŽÁRNÍ BEZPEČNOST NA STAVEBNÍ FAKULTĚ
<http://pozar.fsv.cvut.cz>

Na Fakultě stavební ČVUT v Praze lze studovat bakalářský a magisterský obor zaměřený na požární ochranu budov. Absolventi se stanou žádanými inženýry se znalostí stavební problematiky a požárního a bezpečnostního inženýrství s širokým uplatněním v komerční sféře, provozu staveb, státní správě či ve vědě a výzkumu.

bakalářský obor **POŽÁRNÍ BEZPEČNOST STAVEB**

- pasivní a aktivní požární ochrana
- projekce požárněbezpečnostního řešení staveb (PBŘ)
- projekce požárněbezpečnostních zařízení (PBZ)
- vývoj, výroba, realizace PBZ
- provoz a kontrola staveb
- vedení dokumentace požární ochrany
- stavební prevence (HZS ČR)

magisterský obor **INTEGRÁLNÍ BEZPEČNOST STAVEB**

- pokročilá řešení v požárního inženýrství
- provozy se zvýšeným požárním rizikem
- analýza rizik budov a provozů
- stavební a požární legislativa
- věda a výzkum požární bezpečnosti





**sborník 2. studentské
vědecké konference**

Zapálení2019

Fakulta stavební | 30. května 2019
ČVUT v Praze | pozar.fsv.cvut.cz

Česká technika – nakladatelství ČVUT upozorňuje na dodržování autorských práv.

Za jazykovou a věcnou správnost obsahu díla odpovídají autoři.

Text neprošel redakční úpravou.

© kolektiv vedoucích předdiplomních prací:

**Pokorný, M., Hejtmánek, P., Wald, F., Štefan, R., Koubková I., Pechová, P.,
Najmanová H., Benýšek, M.**

ISBN 978-80-01-06593-8

PŘEDMLUVA

Druhý ročník konference Zapálení2019 pořádaný dne 30. května na Fakultě stavební ČVUT v Praze je zaměřen na aktuální poznatky v oboru požárního inženýrství a bezpečnosti staveb. Záměrem konference je vytvořit místo pro setkání a diskuzi Zapálených – studentů, pedagogů i praktiků.

Prostor pro aktivní účast na konferenci dostávají naši nejstarší magisterští studenti 5. ročníku oboru (Q) Integrální bezpečnost staveb, kteří budou prezentovat výsledky své před-diplomní přípravy formou přednášky, odborného článku a posterové výstavy včetně soutěže o nejzajímavější poster. Konference je rozdělena do tří odborných sekcí, a to (A) Požární bezpečnost staveb, (B) Navrhování konstrukcí za požáru a (C) Aktivní požární ochrana.

Na konferenci jsou zváni všichni pro požární obor Zapálení! Z řad studentů jsou zváni zejména naši mladší studenti 3. a 4. ročníku bakalářského studijního oboru (Q) Požární bezpečnost staveb, ale i studenti ostatních oborů. Studentům bude dán prostor se vzájemně seznámit a poznat možnosti svého budoucího zaměření na našem magisterském studiu. Z řad pedagogů jsou zváni zejména vedoucí před-diplomních prací a vyučující na oboru (Q), kteří tak budou mít možnost sledovat zadávaná témata jiných kateder a zároveň mít možnost studentům poradit. Z řad praktiků jsou zváni zástupci Hasičského záchranného sboru ČR, absolventi oboru (Q) a firmy z oboru.

Z odborných článků vzniká tištěný sborník, který je dispozici rovněž elektronické podobě na oborových webových stránkách <http://pozar.fsv.cvut.cz/>.

Diskutovaná témata jednotlivých autorů budou v následujícím semestru předmětem diplomových prací, které lze po úspěšné obhajobě dohledat na univerzitních webových stránkách <https://dspace.cvut.cz/>. Studentská vědecká konference Zapálení 2019 vznikla za podpory interního projektu SVK ČVUT v Praze pro 2019. Zapálení tímto srdečně děkuje!

kolektiv vedoucích předdiplomních prací

OBSAH

Předmluva.....	2
Obsah.....	4
Table of Contents	4

SEKCE A | POŽÁRNÍ BEZPEČNOST STAVEB

FÜRST, R. Požární specifika stavebních konstrukcí z textilních betonů.....	9
PITELKOVÁ, D. Požárně nebezpečný prostor rohových oken	13
FABIÁN, M. Samovznícení dřevěných konstrukcí ve vztahu k požární bezpečnosti komínů	17
ŠŤASTNÁ, N. Svislá virtuální pec pro zkoušky požární odolnosti	21
ROSOLOVÁ, T. Akustické signály při vyhlášení požárního poplachu	25

SEKCE B | NAVRHOVÁNÍ KONSTRUKCÍ ZA POŽÁRU

ŠEJNA, J. Požární ochrana dřevem – validace odhořívání	31
KOŠATA, L. Ocelové konstrukce po požárním zásahu.....	35
PAŘÍZEK, Š. Teplotní analýza střešních pláštů pomocí metody konečných prvků.....	39
KLOIDA, V. Teplotní analýza svařovaného spoje a montážní spáry střešních panelů.....	43
BŮŽEK, T. Analýza rozměrů plamene při posouzení odstupových vzdáleností	47
KOŠŤÁLOVÁ, Š. Numerické simulace požáru – analýza různých výpočetních modelů požáru	51
GAUDYNOVÁ, A. Numerické modelování šíření vnějšího požáru s ohledem na skladbu konstrukcí střešních pláštů.....	55

SEKCE C | AKTIVNÍ POŽÁRNÍ OCHRANA

KUZNETSOV, P. Nasávací hlásiče kouře	61
ŽELEZNÝ, M. Stabilní hasicí zařízení ve skladech.....	65
SOMSEDÍK, A. Stabilné hasiace zariadenia v administratívnych budovách	69
HRUŠKA, V. Srovnání sprinklerového a mlhového stabilního hasicího zařízení	73

TABLE OF CONTENTS

SECTION A | FIRE SAFETY OF BUILDINGS

FÜRST, R. Fire Specifics of Building Structures Made of Textile Concrete	9
PITELKOVÁ, D. Fire Separation Distances of Corner Windows	13
FABIÁN, M. Self-Ignition of Wooden Structures in Relation to Fire Safety of Chimneys.....	17
ŠŤASTNÁ, N. Vertical Virtual Furnace for Fire Resistance Tests.....	21
ROSOLOVÁ, T. Audible Fire Alarm Signals.....	25

SECTION B | STRUCTURAL DESIGN IN FIRE

ŠEJNA, J. Fire Protection by Timber – Validation of Burning Out.....	31
KOŠATA, L. Steel Structures after Fire Intervention	35
PAŘÍZEK, Š. Thermal Analysis of Roofs by Using the Finite Element Method	39
KLOIDA, V. Thermal Analysis of Welded Connection and Assembling Linear Joint of Roof Panels	43
BŮŽEK, T. Analysis of Flame Dimensions in Assessing Separating Distances	47
KOŠŤÁLOVÁ, Š. Numerical Fire Simulations – Analysis of Different Fire Scenarios	51
GAUDYNOVÁ, A. Numerical Modelling of External Fire Spread with regard to the Composition of Roof Structures.....	55

SECTION C | ACTIVE PROTECTION AGAINST FIRE

KUZNETSOV, P. Aspirating Smoke Detectors.....	61
ŽELEZNÝ, M. Fixed Extinguishing System in Warehouses.....	65
SOMSEDÍK, A. Fixed Firefighting Systems in Office Buildings.....	69
HRUŠKA, V. Comparison of Sprinkler and Water Mist Extinguishing System	73

POŽÁRNÍ SPECIFIKA STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ Z TEXTILNÍCH BETONŮ

FIRE SPECIFICS OF BUILDING STRUCTURES MADE OF TEXTILE CONCRETE

Bc. Richard Fürst

Abstract

Currently, there is a much greater requirements for constructions in terms of load-bearing capacity and visual quality. The motivation for this work is to approach the behavior of textile reinforcement concrete (TRC) during a fire situation. There was an indicative test performed, which showed the behaviour of the composite material at elevated temperature. At the end, the behavior is evaluated, and measures are proposed for higher resistance to high temperatures.

Key words: textile concrete; carbon fibre; epoxy resin; composite material; high performance concrete

ÚVOD

Jedním z nejvíce používaných materiálů pro nosné konstrukce je v současné době železobeton. Konstrukce z tohoto materiálu dosahují tlakové pevnosti do 55 MPa. Do budoucna je pravděpodobné, že budou častěji využívány konstrukce z vysokohodnotných betonů (HPC – High Performance Concrete) o pevnostech přesahující pevnosti 55 MPa [1]. Výhodami HPC je použití menšího množství tahové výztuže, a tudíž realizace subtilnějších prvků, nebo zmenšení deformací díky vyššímu modulu pružnosti E_c . Zároveň umožňují efektivnější využití alternativních výztuží, jako jsou například textilní vlákna. Takový prvek je nazýván textilním betonem (TRC – Textile Reinforcement Concrete).

TRC se rozumí konstrukční prvek skládající se z textilní výztuže (TF – Textile Fibre) a matrice (nejčastěji na bázi pryskyřic) zajišťující tzv. adhezní můstek mezi TF a HPC [2]. Problematika TRC je založena na schopnosti TF odolávat korozivním účinkům prostředí, a proto lze navrhovat konstrukce s minimální krycí vrstvou, která reflektuje hlavně mechanické spolupůsobení obou materiálů, díky čemuž lze realizovat výrazně subtilnější konstrukce.

V současné době jsou textilní betony používány pro nenosné konstrukce, a to zejména pro fasádní panely, designové prvky a další. Díky použitým materiálům má za běžných teplot konstrukce vysoký potenciál v nosných prutových konstrukcích [3]. V tomto případě je ale nezbytnou součástí posouzení prvku na účinky teplot při požáru, kde se za rizikovou oblast považují matrice z epoxidové pryskyřice.

MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI

Hlavní složkou TRC je směs HPC, jež byla vyvinuta na Fakultě stavební ČVUT v Praze [4]. Jde o betonovou směs dosahující mechanických vlastností za běžné teploty (tab. 1). Mimo zmíněných vlastností tento HPC zamezuje po vyzrání prostupu vodních par.

Tab. 1 Mechanické charakteristiky vyzrálého betonu

Tab. 1 Mechanical characteristics of hydrated concrete

Veličina	Jednotka	Hodnota
Pevnost v prostém tlaku	[MPa]	140,0
Pevnost v tahu za ohybu	[MPa]	19,3
Modul pružnosti	[GPa]	49,5

U HPC lze uvažovat tepelně technické vlastnosti definované v [5] za předpokladu, že je posuzovaný prvek zatížen nominální normovou teplotní křivkou ISO 834. Obecně jsou HPC méně odolné proti zvýšeným teplotám především kvůli malému vodnímu součiniteli ($w < 0,25$), absenci pórů, které by mohly odvádět páry vzniklé při odpařování vody, a výše zmíněné parotěsnosti. Lepšího chování za zvýšené

teploty lze docílit například přidáním vláken z polypropylenů do betonové směsi. Tato vlákna při nízkých teplotách tají, umožní tak odvod vzniklých par a zmenšení rizika odštěpování. Toto chování je pro konstrukce TRC stěžejní, neboť při tloušťkách krycích vrstev okolo 8 mm by ztráta této vrstvy výrazně zasáhla do celkové únosnosti prvku.

Tahovou výztuž v TRC reprezentují textilie z uhlíkového, skleněného, čedičového vlákna a dalších. Porovnání nejběžněji používaných vláken je shrnuto v tab. 2. Kritérium vystihující nejvyšší odolnost vláken proti zvýšené teplotě je teplota tání. Tuto hodnotu má uhlíkové vlákno přibližně 5× vyšší než skelné vlákno a při předpokladu dosažených teplot při požáru by pravděpodobně byla překročena teplota tání skelného vlákna. Zároveň je u uhlíkových vláken vyšší chemická odolnost proti korozi.

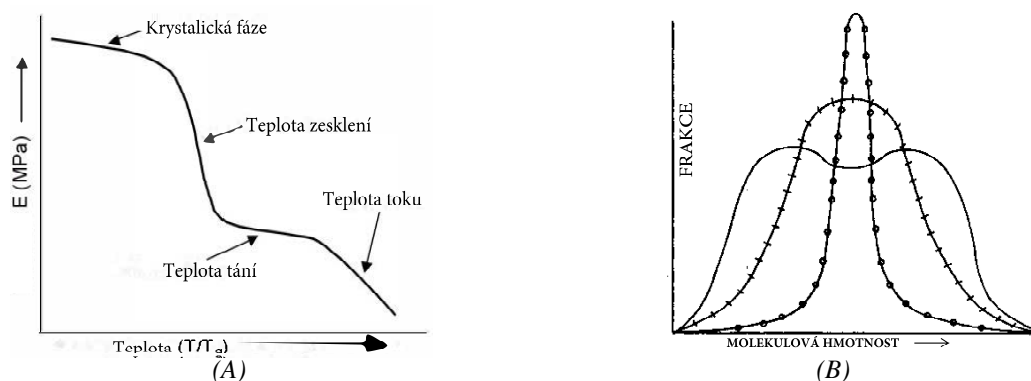
Tab. 2 Vlastnosti vybraných textilií

Tab. 2 Properties of selected textiles

Typ vlákna	Jednotky	Uhlíková vlákna [6]	Skleněná vlákna [7]
Hustota	[kg·m ⁻³]	~ 2000	2500
Teplota tání	[°C]	3650	700
Pevnost v tahu	[GPa]	2,92	3,5
Modul pružnosti	[GPa]	240	77,5
Průměr	[μm]	7-10	12-20

Mechanické vlastnosti HPC a TF jsou samy odděleně vyhovující, nicméně je nutné zajistit jejich spolupůsobení. K tomu slouží tzv. matrice, tvořící adhezni můstek mezi HPC a TF. Hlavní funkcí matrice je distribuce napětí do všech vláken ve svazku (nutné plné prosycení celého svazku pryskyřicí) a ochrana vláken před poškozením a mechanickým obrušováním. V současné době se pro matrice TF využívají syntetické pryskyřice dosahující za běžných teplot vysokých pevností.

Nevýhodou matric ze syntetických pryskyřic je jejich nízká odolnost vůči zvýšeným teplotám. Nejdůležitější fází při zahřívání pryskyřic je tzv. teplota zeskení (obr. 1A), při které dochází k výraznému nárůstu deformací a ztrátě schopnosti pryskyřice přenášet napětí mezi HPC a TF. Na tuto teplotu má vliv především molekulová hmotnost a její distribuce¹ v polymeru (obr. 1B) [8].



Obr. 1 (A) Fáze pryskyřice při zvýšené teplotě; (B) Distribuční křivka polymeru
Fig. 1 (A) Resin phase at elevated temperature; (B) Polymer distribution curve

Z výše uvedeného je zřejmé, že nevhodnějšími materiály pro tvorbu TRC je HPC s přidáním polypropylenovými vlákny, které zamezí explozivnímu odštěpování v kombinaci s uhlíkovou výztuží s matricí ze syntetických pryskyřic o co nejvyšší molekulové hmotnosti, čímž bude docíleno maximální stability při zvýšených teplotách.

¹ Molekulovou distribucí rozumíme statistické určení střední (průměrné) molekulové hmotnosti. Distribuci molekulových hmotností lze vyjádřit tzv. distribuční křivkou, ve které je znázorněna závislost hmotnosti polymeru o velikosti makromolekuly (frakce) a její délce makromolekulárního řetězce viz (obr. 1B) [8].

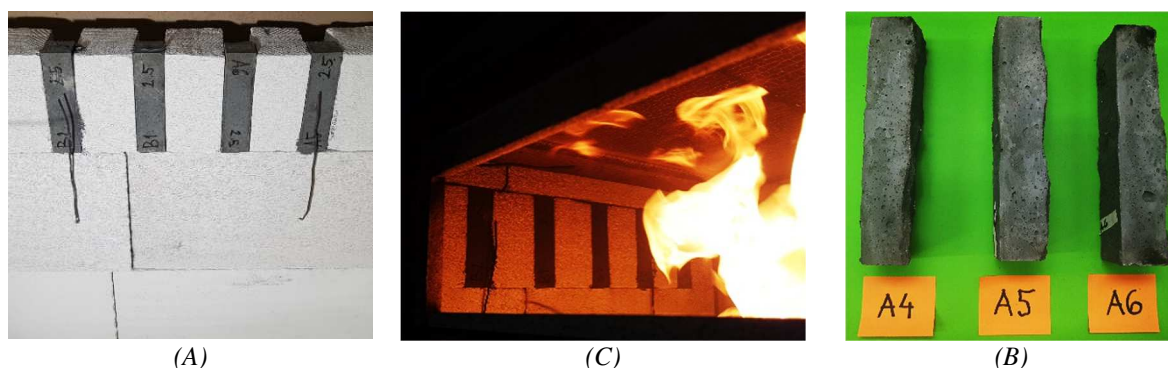
MALOROZMĚROVÁ INDIKATIVNÍ ZKOUŠKA POŽÁRNÍ ODOLNOSTI TRC

V návaznosti na provedenou rešerši problematiky TRC byla navržena malorozměrová požární zkouška v požární laboratoři na UCEEB ČVUT v Praze. Cílem zkoušky je posouzení chování materiálu při zatěžování podle nominální normové teplotní křivky ISO 834, s následným porovnáním mechanických vlastností vzorků nevystavených a vystavených vysokým teplotám (obr. 3).

Pro požární zkoušku bylo vytvořeno celkem 12 vzorků o velikosti 40×160×40 mm a 100×360×18 mm. Během betonáže byl do středu vzorku umístěn diskový kabelový termočlánek typu K s průměrem 0,5 mm pro sledování průběhu teplot. Termočlánek se nachází na ose v hloubce 30 mm, respektive 8 mm od neohřívané strany. Tato hloubka reprezentuje krycí vrstvu o tloušťce 10 mm, která by se teoreticky mohla vyskytovat u nosných konstrukcí. Další stejné termočlánek byly umístěny na neohřívané straně vzorku. Celkem byly vytvořeny čtyři varianty vzorků, a to:

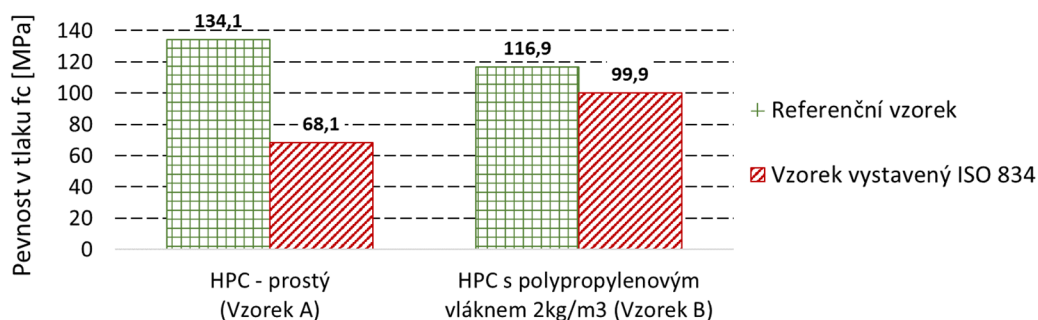
- vzorek A: trámeček 40×160×40 mm; HPC bez TF a polypropylenových vláken,
- vzorek B: trámeček 40×160×40 mm; HPC bez TF s přidanými polypropylenovými vlákny,
- vzorek C: deska 100×360×18 mm; TRC bez přidaného polypropylenového vlákna,
- vzorek D: deska 100×360×18 mm; TRC s přidaným polypropylenovým vláknem

Provedeny byly 2 požární zkoušky. V první zkoušce byly zatěžovány 3 vzorky A, 3 vzorky B a 2 vzorky C. V druhé zkoušce pak 1 vzorek C a 3 vzorky D. Vzorky byly osazeny do obou čelních stěn zkušební pece (obr. 2).



Obr. 2 (A) Umístění vzorků; (B) Spalovací prostor pece; (C) Vzorky z HPC po požární zkoušce
Fig. 2 (A) Sample placement; (B) Furnace combustion chamber; (C) HPC samples after fire test

Posouzení pevnosti vzorků A a B z HPC v tlaku byla stanovena v souladu s ČSN EN 12390-3. Cílem této části je porovnání mechanických vlastností vzorků, které byly vystaveny zvýšené teplotě a porovnat je s hodnotami naměřenými za běžné teploty. Mimo dvanáct vzorků, které byly vystaveny zvýšeným teplotám bylo vytvořeno dalších 6 referenčních vzorků totožných jako vzorky A a B, které byly odzkoušeny na jejich mechanické vlastnosti za běžné teploty. Srovnání mechanických vlastností na obr. 3. Všechny vzorky byly odzkoušeny v požární laboratoři v rámci UCEEB ČVUT v Praze.



Obr. 3 Porovnání pevnosti v tlaku referenčních vzorků a vzorků vystavených zvýšené teplotě
Fig. 3 Comparison of compressive strength of reference samples and samples exposed to temperature

ZÁVĚR

Ze syntetických pryskyřic mají největší shodu s požadovanými vlastnostmi epoxidové pryskyřice. Mají schopnost dobře přenášet tahová napětí, během vytvrzování se tolik nesmršťují a mají dobrou chemickou odolnost. Spolu s použitím uhlíkových vláken poskytují nejlepší variantu výztuže pro nosné konstrukce.

Z požární zkoušky je zřejmé, že vzorky vystavené vysokým teplotám trpí značným úbytkem pevnosti, pravděpodobně kvůli absenci pórů oproti běžným betonům. V případě vzorků bez polypropylenových vláken došlo k značnému odštěpení betonu a výraznému poklesu únosnosti. Pokles pevnosti v tlaku vzorků bez syntetických vláken oproti referenčním vzorkům je cca 49 %. Vzorky se syntetickými vlákny sice nedosahují takových pevností, avšak jejich pokles pevnosti po vystavení vysokým teplotám je cca 15 %. Přidáním syntetických vláken se osvědčilo jako vhodné řešení, jak zvýšit odolnost prvků z TRC proti vysokým teplotám za požáru.

Další výzkum je vhodné směřovat k vyšetření chování syntetických pryskyřic za zvýšené teploty, podrobněji popsat hodnoty teploty zasklení, například metodou diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC), a zároveň tak zjistit přesnou hodnotu varu použitých pryskyřic. Obecně mají pryskyřice teplotu varu nízkou oproti teplotám dosaženým při požáru, a proto by mohlo v kombinaci s parotěsností betonového prvku docházet k dodatečnému zatížení tlaky, vzniklých z odpařené pryskyřice a přispět například odprýskávání betonu. Popsáním těchto fází pryskyřic by vedlo k přesnějším návrhům na účinky požáru nosných konstrukcí z TRC.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek byl vytvořen za podpory projektu TAČR Zéta, PID: TJ02000119 zpracovaném na UCEEB ČVUT v Praze.

LITERATURA

- [1] AÏTCIN, Pierre-Claude, ČKAIT a ČBS. Vysokohodnotný beton. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) a Českou betonářskou společnost vydalo Informační centrum ČKAIT, 2005. ISBN 978-80-86769-39-4.
- [2] KOŘÍNEK, Zdeněk. Kompozity – matrice. [online]. Dostupné z: https://drive.google.com/file/d/0B8vQSuH1vI_vckxkMGhoMjYtbWs/view
- [3] VLACH, T. at. al. Comparison of Different Methods for Determination of Modulus of Elasticity of Composite Reinforcement Produced from Roving. Advanced Materials Research [online]. 2014, 1054, 104–109. ISSN 1662-8985. Dostupné z: doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.1054.104
- [4] VLACH, Tomáš. Soudržnost uhlíkové a čedičové kompozitní výztuže s UHPC. Praha, 2013. Diplomová práce. ČVUT v Praze.
- [5] ČSN EN 1992-1-2 - Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinek požáru. listopad 2006
- [6] BHAT, Gajanan. Structure and properties of high-performance fibers. Place of publication not identified: Woodhead, 2016. Woodhead Publishing series in textiles, number 187. ISBN 978-0-08-100550-7.
- [7] JANČÁŘ, Josef. Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta chemická, 2003. ISBN 978-80-214-2443-2.
- [8] CARRAHER, Charles E. a Raymond B. SEYMOUR. Seymour/Carraher's polymer chemistry. 6th ed., rev. and expanded. New York: M. Dekker, 2003. Undergraduate chemistry, 16. ISBN 978-0-8247-0806-1.

POŽÁRNĚ NEBEZPEČNÝ PROSTOR ROHOVÝCH OKEN

FIRE SEPARATION DISTANCES OF CORNER WINDOWS

Bc. Daniela Pitelková

Abstract

This article contains a solution for determining the fire separation distances of corner windows or glass areas. It shortly presented a background of calculation and possibilities, how to deal with fire hazard areas. It offers a summary of the methods, and consequentially presents an assessment of the interaction of individual parts of the corner window or glass area. The result of the article is a recommendation on how to establish a fire hazard area of these windows/glass areas.

Key words: fire separation; radiative heat transfer; emissivity; configuration factor; Stefan-Boltzmann law

ÚVOD

Odstupové vzdálenosti jsou nyní v České republice řešeny primárně 2 způsoby. Prvním je řešení odstupových vzdáleností tabulkově dle českých technických norem zabývajících se požární bezpečností staveb (ČSN 73 0802 [1], ČSN 73 0804 [2]). Druhým způsobem je podrobný výpočet odstupových vzdáleností z hlediska sálání tepla dle ČSN 73 0802, resp. ČSN 73 0804 a ČSN EN 1991-1-2 Eurokód 1 [3].

Dále je možné využít požárně inženýrský přístup a odstupové vzdálenosti stanovit výpočetními softwary – například CFD modely, které řeší dynamickou analýzu plynů. Tento postup ovšem v praxi není příliš rozšířený. Výpočetní modely bývají velmi složité z hlediska vstupních hodnot a výpočetního času, a proto se projektanti přiklánějí spíše k normovému či podrobnému výpočtu z hlediska sálání tepla.

Uvedené normové způsoby se ale zabývají pouze přímými konstrukcemi. Interakcí rohových ploch se žádný z výše uvedených normových způsobů nezabývá. Projektanti si sami volí, jak k této problematice přistupovat a jejich přístup nemusí být vždy optimální. S ohledem na umístění posuzované stavby můžou volit „tu lepší variantu“, kdy požárně nebezpečný prostor nezasahuje na sousední pozemek či sousední stavby, ovšem reálně by mohlo dojít k závažnému podcenění.

STANOVENÍ POŽÁRNÍCH ODSUPOVÝCH VZDÁLENOSTÍ

V dnešní době neexistuje mezinárodně unifikovaná metoda určení odstupových vzdáleností. Každý stát má svoje způsoby a kritické hodnoty určující hranici požárně nebezpečného prostoru. Postupy ovšem vycházejí z fyzikálních zákonů, které jsou shodné všude [3–6].

Obecně dochází k výměně tepla třemi způsoby – kondukcí, konvekcí a radiací. Každý způsob je odlišný a vychází z jiných fyzikálních zákonů. Při požáru dochází k šíření tepla především konvekcí a radiací. Konvekcí přechází teplo prouděním z plamene a horkých plynů do ohraničujících konstrukcí a požárně otevřenými plochami odchází ven z místnosti. Nejnebezpečnější způsob sdílení tepla z hlediska horizontálního šíření požáru do okolí objektu je radiace, neboť není závislá na proudění vnějšího vzduchu. Protože se jedná o přenos energie elektromagnetickými vlnami o různé vlnové délce, není na rozdíl od konduktce a konvekce potřeba hmotného prostředí – nastává i ve vakuu a může procházet přes pevné látky či kapaliny. Radiace je popsána Stefan-Boltzmannovým zákonem. V požární praxi je tento zákon vyjadřován následující rovnicí hustoty tepelného toku sáláním:

$$I = \sigma \cdot \varepsilon \cdot \phi \cdot [(T_N + 273)^4 - (T_0 + 273)^4] \quad (1)$$

kde:

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}]$... Stefan-Boltzmannova konstanta

ε ... emisivita [-]

ϕ ... polohový faktor [-]

T_N ... teplota hořících plynů [$^{\circ}C$]

T_0 ... počáteční teplota [$^{\circ}C$]

Velikost požárně nebezpečného prostoru určuje výše zmíněná hustota tepelného toku, jejíž kritická hodnota je v různých zemích různě limitována. Odstupové vzdálenosti jsou přímo závislé na velikosti požárně otevřených či částečně požárně otevřených ploch, na velikosti požární zátěži uvnitř objektu, na užití hořlavých výrobků v konstrukčním systému objektu či na výšce umístění hořlavých prvků.

Hranice požárně nebezpečného prostoru je přímo závislá na polohovém faktoru, jenž vychází z Lambertova zákona. Vyjadřuje množství hustoty tepelného toku v různých směrech (v určitých úhlech). Hodnota tohoto faktoru závisí na velikosti sálavé plochy a na vzdálenosti přijímací plochy od zdroje sálání. Důležitá je vzájemná orientace vysílací a přijímací plochy. Se zvětšujícím se úhlem, jenž svírají oba povrchy, klesá intenzita sálavého tepla. Dopadající intenzita sálavého tepla na přijímací povrch klesá také s rostoucí vzdáleností mezi přijímací a vysílací plochou.

Obecná rovnice pro výpočet polohového faktoru vypadá takto:

$$\begin{aligned} \Phi = \frac{1}{2\pi} \cdot \left[\tan^{-1}(a) - \frac{(1 - b \cos\theta)}{(1 + b^2 - 2b \cos\theta)^{0,5}} \right] \quad (2) \\ \cdot \tan^{-1} \left(\frac{a}{(1 + b^2 - 2b \cos\theta)^{0,5}} \right) + \frac{a \cos\theta}{(a^2 + \sin^2\theta)^{0,5}} \\ \left[\tan^{-1} \left(\frac{(b - \cos\theta)}{(a^2 + \sin^2\theta)^{0,5}} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{\cos\theta}{(a^2 + \sin^2\theta)^{0,5}} \right) \right] \end{aligned}$$

kde:

$a = h/s$

$b = w/s$

s ... vzdálenost mezi přijímacím a vysílacím povrchem [m]

h ... výška oblasti sálajícího povrchu [m]

w ... šířka oblasti sálajícího povrchu [m]

θ ... úhel, jenž svírá přijímací a sálavý povrch

Metod pro stanovení odstupových vzdáleností je mnoho a každý stát má své národní normy pro posuzování požární bezpečnosti staveb. Mezi obecně známé metody patří metoda uzavřených obdélníků (Enclosing Rectangles), souhrnných teoretických oblastí (Aggregate Notional Areas), Petera Colliera, C.R. Bernetta, Williams-Leir, J. H. McGuire a NFPA 80A [4]. Některé z výše uvedených metod zohledňují postavení oken v členité fasádě. Zavádí například tzv. referenční rovinu, do které se okenní otvory promítnou přes kolmici k této rovině, rohové okno však není popsáno nikde.

Téma rohových oken je poměrně rozsáhlé, a proto je řešeno omezeně. Lze se zabývat například různými poměry oken v obvodových stěnách – změnou výšky či délky částí oken, dále změnou vnitřního úhlu, jež svírají obvodové stěny atd. Řešení požárně nebezpečného prostoru v okolí těchto objektů není stanoveno. Projektant může tyto plochy „narovnat“ do přímky, a být tímto řešením na straně bezpečnosti. Odstupové vzdálenosti mohou být ale tak velké, že se reálnému sálání nebudou podobat.

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

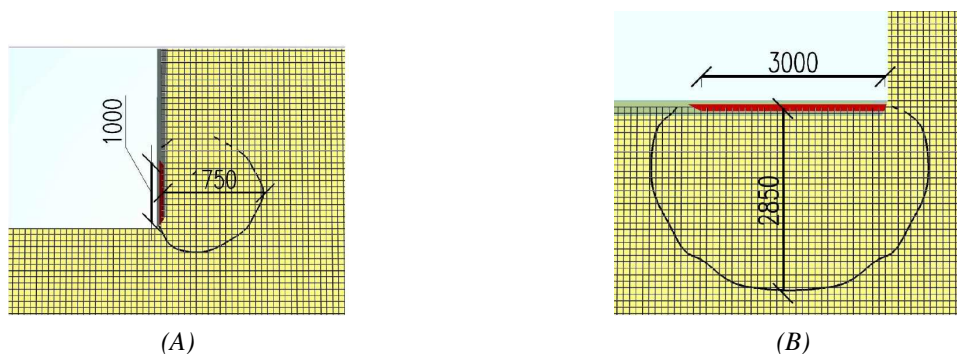
Řešeným příkladem je místnost o půdorysných rozměrech $5,0 \times 5,0$ m a světlou výškou 2,8 m, která je uzavřena nehořlavými konstrukcemi. V části obvodových stěn se nachází rohové okno o rozměrech $1,0 \times 1,5$ m (okno č. 1) a $3,0 \times 1,5$ m (okno č. 2). Místnost je užívána jako pobytová místnost či kancelář.

Z hlediska požární bezpečnosti staveb mají tyto prostory velmi podobné výpočtové požární zatížení $p_v = 40\text{--}42 \text{ kg/m}^2$ (při uvažování $p_s \leq 5 \text{ kg/m}^2$) – příloha B [1]. Pro porovnání výsledků je hodnota p_v navýšena na 45 kg/m^2 .

Model je vytvořený v programu FDS. Je uvažováno s plně rozvinutým požárem, při kterém jsou odstupové vzdálenosti největší a teplo sálá ze 100 % požárně otevřené plochy. Pro řešení odstupových vzdáleností od rohových oken je použita normová teplotní křivka ISO 834, která je závislá pouze na čase. V rovnici popisující tuto křivku lze zaměnit čas t s výpočtovým požárním zatížením ekvivalentní dobou trvání požáru. V modelu jsou plochy oken jsou upraveny tak, že představují zdroj hoření, jenž sálá teplo dle zmíněné křivky v čase $t = 2700 \text{ s}$. V tomto čase je teplota rovna $902 \text{ }^\circ\text{C}$ a je do modelu zavedena příkazem `TMP_FRONT=902`.

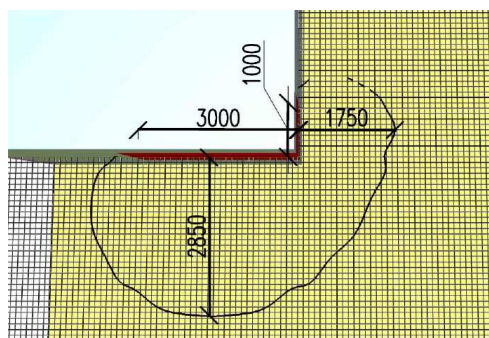
Výpočetní prostor je rozdělen na buňky o rozměrech $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$, a tvoří tak prostorovou síť. Protože je nutné zjistit velikost hustoty tepelného toku v rovině x-y uprostřed výšky požárně otevřené plochy, je ve výšce $2,05 \text{ m}$ vytvořený řez prostorovou sítí.

Výsledkem řešeného příkladu je zjištění, zda se hranice požárně nebezpečného prostoru zvětšuje či nezměňuje vlivem interakce oken. V rámci posuzování byly vytvořeny 3 modely v měřítku 1:1. Nejprve model s oknem č. 1 ($1,0 \times 1,5 \text{ m}$, obr. 1 (A)), dále model s oknem č. 2 ($3,0 \times 1,5 \text{ m}$, obr. 1 (B)) a následně model s rohovým oknem o rozměrech $1,0 \times 1,5 \text{ m}$ a $3,0 \times 1,5 \text{ m}$ (obr. 2).



Obr. 1 Hranice požárně nebezpečného prostoru pro: (A) okno č. 1; (B) okno č. 2 ($I_{crit} = 18,5 \text{ kW/m}^2$)
 Fig. 1 Fire separation of: (A) window No. 1; (B) window No. 2 ($I_{crit} = 18,5 \text{ kW/m}^2$)

Odstupové vzdálenosti vychází větší než normové nebo dle podrobného výpočtu z hlediska sálání tepla. Normově vychází odstupová vzdálenost $1,50 \text{ m}$ pro okno č. 1 a $2,56 \text{ m}$ pro okno č. 2. Rozdíl výpočetního modelu a normových hodnot je 9 %. Tento malý rozdíl může být způsoben odlišným způsobem výpočtu. Závěrem není vytvořit model, který bude vykazovat shodné hodnoty. Zkoumaným předmětem je tvar hranice požárně nebezpečného prostoru a porovnání její vzdálenosti od sálavé plochy při hustotě tepelného toku $18,5 \text{ kW/m}^2$.



Obr. 2 Hranice požárně nebezpečného prostoru pro rohové okno, model 1:1 zobrazený programem Smokeview včetně rozložení hustoty tepelného toku I ($I_{crit} = 18,5 \text{ kW/m}^2$)
 Fig. 2 Fire separation of corner window, model 1:1 displayed in the Smokeview with emitted radiation I ($I_{crit} = 18,5 \text{ kW/m}^2$)

ZÁVĚR

Při porovnání obr. 1 a obr. 2 je jasné vidět, že ke zvětšení požárně nebezpečného prostoru ve směru kolmo na okenní otvory nedochází. Zvětšení není možné vlivem Lambertova zákona, který zohledňuje směrovou orientaci působící energie. Při úhlu 0° je hustota sálání tepla minimální, a proto při vnitřním úhlu 90° , jenž svírají obvodové stěny, nedojde k ovlivnění hustoty tepelného toku druhé části okna z první. Ke zvětšení dochází pouze v oblasti, kde se „obláčky“ požárně nebezpečného prostoru jednotlivých oken překrývají. Dochází zde ke vzájemnému ohřívání okolního vzduchu a požárně nebezpečný prostor se zvětší maximálně na vzdálenost, jenž je vytyčena rovnoběžně s ostěním většího okna.

Při stanovení odstupových vzdáleností od rohových oken s vnitřním úhlem 90° není nutné uvažovat se zvětšením požárně nebezpečného prostoru vlivem vzájemného umístění jednotlivých oken. Tento závěr lze uvažovat za platný i v případě ostatních ostrých vnitřních úhlů.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty (2009) + Z1 (2013), Z2 (2015). B.m.: Praha: ÚNMZ
- [2] ČSN 73 0804 Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty (2010) + Z1 (2013), Z2 (2015). B.m.: Praha: ÚNMZ
- [3] ČSN EN 1991-1-2. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-2: Obecná zatížení - Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru. B.m.: Český normalizační institut. 2004
- [4] CARLSSON, Emil. *External Fire Spread to Adjoining Buildings - A review of fire safety design guidance and related research*. Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, 1999.
- [5] KUČERA, Petr. *Požární inženýrství: dynamika požáru*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2009. ISBN 978-80-7385-074-6.
- [6] BLAHOŽ, Vladimír a Zdeněk KADLEC. *Základy sdílení tepla*. 2. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1996. ISBN 978-80-902001-1-1.

SAMOVZNÍCENÍ DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ VE VZTAHU K POŽÁRNÍ BEZPEČNOSTI KOMÍNŮ

SELF-IGNITION OF WOODEN STRUCTURES IN RELATION TO FIRE SAFETY OF CHIMNEYS

Bc. Michal Fabián

Abstract

The aim of this article is the issue of long-term thermal stress of a chimney body or another heat source on wooden parts placed in the ceiling or roof structures. Between wooden elements and the chimney body there is a structural gap (a cavity) filled with the non-flammable material or the thermal insulation, which accumulate the heat. Subsequent thermal degradation of the surface of the wooden elements occur in the long-term effect and can possibly lead to self-ignition. This work will focus on the degradation of the wooden structures and experimental verification of the theory of the ignition per measuring the heat release rate and the temperature of the ignition in the conical calorimeter.

Key words: wood; self-ignition temperature; thermal degradation; fire; chimney

ÚVOD

Komínový systém dnes často bývá nedílnou součástí stavby. V poslední době dochází k situaci, kdy je již více než 15 % veškerých dokončovaných staveb na bázi dřeva a současně mají během letošního roku vstoupit v platnost nové stavební předpisy v oblasti minimalizace energetické náročnosti a v oblasti konstrukčních zásad [1]. Prostup komínové tělesa obálkou budovy z hlediska požární bezpečnosti představuje riziko i v případě, kdy se jedná o certifikovaný komín. Při prostupu komína je potřeba splnit a dodržet vzdálenosti komínu od hořlavých (především dřevěných) prvků dané evropskými či národními předpisy. Tyto předpisy například stanovují požární odolnost z vnitřku ven (Gxx), což představuje minimální vzdálenost povrchu komínu od dřevěného prvku pro případ vyhoření sazí v komíně, případně zvnějšku ven (šíření požáru z jednoho požárního úseku do druhého přes komín). Při odolnosti z vnitřku ven se určí bezpečná vzdálenost hořlavých materiálů od komínu. Tuto vzdálenost normy nechávají na výrobcích systémových komínů, aby oni, na základě vlastních zkoušek, dle zvláštních právních předpisů, deklarovali bezpečnou vzdálenost dřevěných prvků od komínového tělesa. Ovšem tato vzdálenost platí pouze v dutině mezi komínem a dřevěným prvkem, která je provětrávaná, nikoli utěsněna nehořlavou izolací [2].

Zde nastává stěžejní problém, neboť právě utěsnění dutiny mezi komínovým tělesem a dřevěným prvkem nehořlavou tepelnou izolací může způsobit, že sálavé teplo od povrchu komínového tělesa se dlouhodobě kumuluje v tepelné izolaci [2], ze které vlivem utěsnění dutiny izolací, nemá kam unikat. Tímto stavem dlouhodobého tepelného namáhání dochází k odstranění vlhkosti a vysušování prvku, které může po letech vyústit do samovznícení dřevěné konstrukce a vážnému požáru části nebo i celého objektu.

Tento článek se zaměřuje na tepelnou degradaci dřevěného vzorku sálavým teplem. V experimentu bude jako tepelný zdroj použita žárovka, která bude umístěna v blízkosti dřevěného vzorku a bude na něj cyklicky působit sálavým teplem po určitou dobu. Žárovka bude představovat zdroj tepla, který cyklicky (protože ani v komíně se netopí neustále a dochází také vlivem netopení ke chladnutí) degraduje/vysušuje povrch dřevěného prvku. Experiment bude demonstrovat, co může takovýto obyčejný zdroj tepla způsobit po pár měsících či letech se dřevěným prvkem.

SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉHO PROBLÉMU

Z hlediska požární odolnosti proti vyhoření sazí (odolnost z vnitřku ven) norma ČSN EN 1443:2004 definuje, že výrobce systémových komínů musí deklarovat minimální vzdálenost hořlavých stavebních

výrobků od komínového tělesa, která platí pouze pro provětrávanou mezeru a činí minimálně 50 mm. Tato norma má být v letošním roce (2019) novelizována a bude uvedena změna, ve které se tato vzdálenost stanoví včetně dutin uzavřených, tj. dutin vyplněných například tepelnou izolací třídy reakce na oheň A1/A2. Tato skutečnost má být doplněna určitým indexem ke klasifikaci komínu proti vyhoření sazí (G50), a to indexem $i - l$, dle kterého se určí podle příslušné tabulky typ konstrukce s tloušťkou vyplnění tepelnou izolací.

Co se týče požární odolnosti zvnějšku ven, není zatím žádný evropský zkušební předpis (tj. EN xx), a tudíž ani národní předpis, který by se touto odolností zabýval. Normy pouze doporučují především pro kovové komíny, u kterých je tato odolnost velmi riziková, aby byly zabudovány do šachty z nehořlavého stavebního materiálu s deklarovanou požární odolností, nebo kovový komín opatřit v místě prostupu průchodkou z nehořlavého materiálu. Dle dostupných informací výrobců systémových komínů a požární zkušebny, vzhledem k nepřítomnosti evropského zkušební předpisu, zkouší požární odolnost zvnějšku ven dle předpisu německého (DIN 18160).

(SAMO) VZNÍCENÍ DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE

Jakékoliv podcenění problematiky vedení vícevrstvého kovového komína hořlavým stavebním materiálem přináší dříve či později rizika s možným požárem budovy. Nebezpečí je o to větší, že požár může vzniknout až po řadě měsíců, ale i krátce po dokončení stavby, kdy dojde k samovznícení dřevěné konstrukce. Několik příkladů požárů od kovových komínů je uvedeno na obr. 1[3].



Obr. 1(A), (B) Požáry od prostupů kovových komínů dřevěnou konstrukcí [3]
 Fig. 1 Fires from metal chimney through a wooden structure [3]

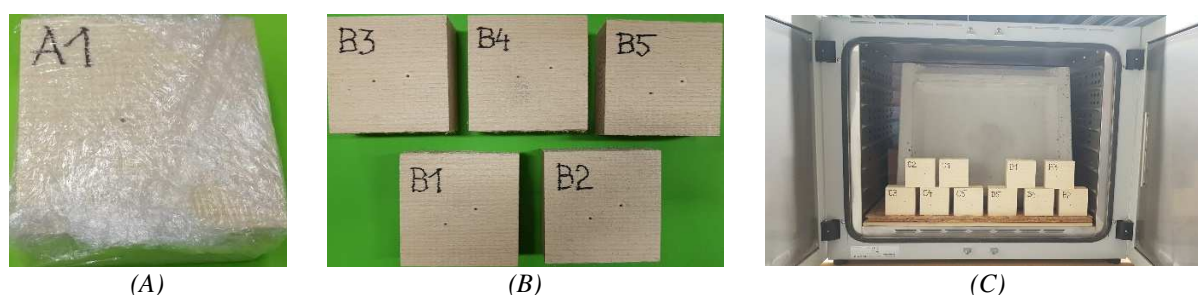
SLOŽENÍ A VLHKOST DŘEVA

Dřevo je vysoce komplexní bio-polymerový materiál. Biopolymerní látky, často v literatuře popsány jako hlavní stavební prvky dřeva, pokrývají 90 až 97 %. Celulóza a hemi-celulóza představují přibližně 70 % této hlavní látky. Přibližně 30 % celkové hmoty se skládá z látky zvané lignin. Ostatní látky jsou popsány jako doprovodné látky, např. vosky, minerály atd. Každá látka ve dřevě má svou vlastní funkci a vykazuje jedinečné chování v průběhu hoření. Základním konstrukčním prvkem, který tvoří rám buňky, je celulóza [4]. Organické látky, tvořící převážnou část dřeva, obsahují kolem 50 % uhlíku, 43 % kyslíku, 6 % vodíku a 0,3 % dusíky. Organické látky, tvořící převážnou část dřeva, obsahují kolem 50 % uhlíku, 43 % kyslíku, 6 % vodíku a 0,3 % dusíky. Zbytek do 100 % (tj. cca 0,7 %) tvoří látky minerální, obsahující draslík, sodík, vápník, fosfor, hořčík aj. [5].

Vlhkost dřeva patří mezi zásadní faktory posuzované při tepelném namáhání, neboť se při něm vypařuje a dřevo je tím náchylnější k degradaci. Vlhkostí dřeva se rozumí množství vody obsažené ve dřevě. Dřevo je materiál, který v surovém stavu obsahuje velké množství vody. Pro zpracování je vhodné dřevo s vlhkostí do 20 %. Pokud má dřevo vlhkost do 12 %, nemusí se chránit před napadením biologickými škůdci. Přibližná závislost vlhkosti vzduchu, teploty a vlhkostí dřeva [6].

EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ PRŮBĚHU TEPELNÉ DEGRADACE

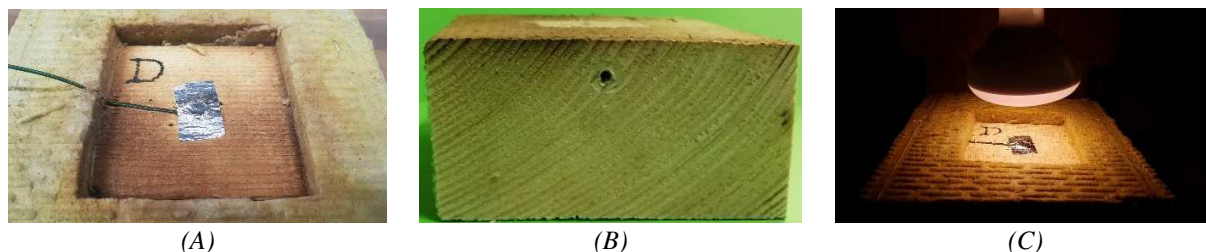
Předmětem experimentu je ověření teorie tepelné degradace dřevěného prvku namáhaného teplem převážně od komínového tělesa. Důležitým krokem bylo nalézt metodiku, která co nejlépe demonstruje toto namáhání ve stropní nebo střešní konstrukci. Nutné podotknout, že bude zkoumána teplota vznícení, což je nejnižší teplota, kdy se povrch materiálu samovznítí bez přítomnosti plamene, tedy dojde ke vznícení působením sálavého tepla. Pro experiment byla zvolena zkouška různě degradovaných vzorků v kónickém kalorimetru jako nevhodnějším měřícím zařízením, ve kterém se bude měřit a porovnávat mezi jednotlivými vzorky jak teplota vznícení, tak průběh rychlosti uvolňování tepla (HRR). Byly vytvořeny zkušební vzorky – dřevěné kvádry (100 × 100 × 50 mm), které budou vystaveny různému tepelnému namáhání a napodobí tak konstrukci v blízkosti komínu. Vzorků bude celkem šestnáct a budou rozděleny po pěti kusech do čtyř skupin (A až D), kde vzorek D bude samostatný. Vzorky A (obr. 2A) budou referenční a budou představovat čerstvě zabudovaný a nedegradovaný prvek ve stavbě, budou zabaleny do potravinářské folie, aby neztrácely vlhkost a poté pouze zkoušeny v kalorimetru. Vzorky B (obr. 2B) bude umístěn do sušárny o konstantní teplotě 70 °C, dále zabalen do fólie a poté rozbalený uložen a zkoušen v kalorimetru. Vzorek C bude taktéž umístěn do sušárny (obr. 2C), po vyjmutí zabalen, degradován žárovkou o výkonu 150 W a pak zkoušen v kalorimetru. Vzorky B a C budou demonstrovat prvek zabudovaný v blízkosti komínu po několika letech. Vzorek D (obr. 3) bude umístěn do minerální izolace a povrch jeho největší stěny vystaven cyklickému působení tepla od žárovky po dobu určitou dobu. Žárovka bude představovat zdroj cyklického namáhání podobnému namáhání při topení a chladnutí v komíně. Tento vzorek je v tuto chvíli pouze pilotní a má ukázat, jak bude vzorek po takové degradaci vypadat. Potřebujeme vědět, jak se vzorky C dále postupovat (jak zatěžovat a namáhat), jak by mohly vypadat degradované a podobně.



Obr. 2 (A) Vzorek zabalený do folie; (B) Vzorky po zvážení a změření vlhkosti; (C) Vzorky v sušárně
 Fig. 2 (A) Sample wrapped in foil; (B) Sample in the oven after weighing and measuring; (C) Sample in the oven

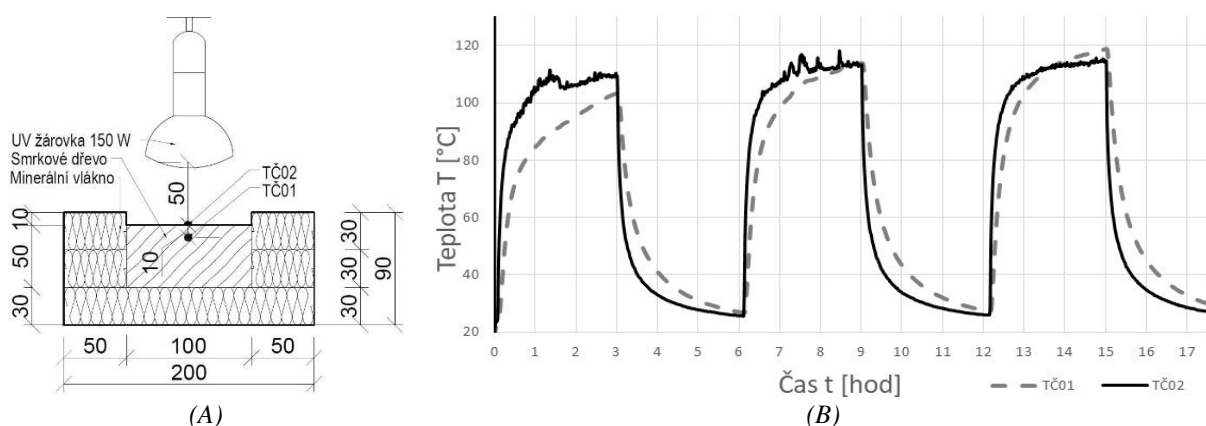
Všechny vzorky byly před jakýmkoli namáháním a sušením zváženy (218 až 227 g) a změřena jim hmotnostní vlhkost (13,9 až 15 %). Vzorky po týdnu vysušené byly opět zváženy (191 až 199,4 g), ovšem jim již nebyla změřena vlhkost, neboť nebylo již k dispozici měřící zařízení. Jejich vlhkost se může pohybovat okolo 10 %, což se dá přirovnat k zabudovanému dřevěnému prvku po delší době ve stavbě.

Vzorek D byl vložen do vyrobeného boxu z minerální vaty (obr. 3), a to proto, aby se při namáhání sáláním omezil unik tepla ze vzorku pryč a demonstrovalo to právě izolovaný prvek poblíž komínového tělesa. Před vložením do boxu se do vzorku z boku 10 mm od vrchní hrany vyvrtal otvor o průměru 2 mm, do hloubky 50 mm (do středu vzorku, obr. 3B), kam se umístil plášťový termočlánek typu K o průměru 1,5 mm, který bude snímat teplotu právě ve hloubce 10 mm pod namáhaným povrchem. Po vložení do boxu se na namáhaný povrch připevnil povrchový termočlánek typu K, diskový, kabelový o průměru 0,5 mm, který byl přelepen hliníkovou páskou, aby snímal teplotu povrchu vzorku. Žárovka se připevnila ke kovovému držáku do výšky 50 mm nad povrch vzorku a napojena na spínací hodiny svítila po dobu cca 6 dní (3 hod svítila, 3 hod chladla) a přitom byla sbírána data z termočláneků a zaznamenána do grafu (obr. 4). Po odpojení termočláneků se rozhodlo, že se vzorek dále ponechá namáhání na dobu neurčitou a bude tedy dále degradovat a poté se uloží pro zkoušku kónickým kalorimetrem jako vzorky ostatní.



Obr. 3 (A) Vzorek v boxu a termočlánek po 5 dnech namáhání; (B) Vzorek s otvorem pro termočlánek; (C) Ozařování žárovkou

Fig. : (A) Sample in box and thermocouple after 5 days of stress; (B) Sample with hole for thermocouple; (C) Radiation by lamp



Obr. 4 (A) Schéma experimentu; (B) Teplotní namáhání dřevěného vzorku od žárovky
Fig. 4(A) Schema of the test; (B) Temperature stress of the wooden sample from the lamp

ZÁVĚR

Článek se věnoval dlouhodobému tepelnému namáhání dřevěného prvku v blízkosti komínového tělesa. Byla navržena zkušební metodika, vyrobeny 4 řady vzorků (A až D), kdy každá řada představuje různou úroveň degradace (A referenční bez degradace, B sušený, C sušený a degradovaný sálavým teplem) a dále bude zhodnocen efekt degradace zkouškou v kónickém kalorimetru. V současné době máme vyroben pilotní vzorek D, který byl sušen a je dlouhodobě cyklicky degradován sálavým teplem.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 4201 ed.2 Komíny a kouřovody – Navrhování, provádění a připojování spotřebičů paliv (2016)
- [2] SODOMKA, Walter. *Integrace a bezpečnost komínových systémů v nízkoenergetických a pasivních stavbách*. Praha. 2017. Rešerše pro diplomovou práci. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební
- [3] JIŘÍK, František. *Zásady konstrukce a provozu komínů v dřevostavbě - 2. část. TZB-info* [online]. [vid. 2019-04-06]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kominy-a-kourovody/11231-zasady-konstrukce-a-provozu-kominu-v-drevostavbe-2-cast>
- [4] HEJTMÁNEK, Petr, Libor ŠEVČÍK a Kamila CÁBOVÁ. *Input data of burning wood for CFD modelling using small-scale experiments*. *Stavební obzor - Civil Engineering Journal* [online]. 2017, **26**(4), 471–482. ISSN 18052576. Dostupné z: doi:10.14311/CEJ.2017.04.0038
- [5] SVOBODA, L., a kolektiv. *Dřevo*. In: *Stavební hmoty*. 4. 2018. ISBN 978-80-260-4972-2
- [6] RODÁK, Marek. *Vliv vlhkosti dřeva na jeho teplotu vznícení* [online]. 2016 [vid. 2019-04-02]. Dostupné z: <http://dspace.vsb.cz/handle/10084/114290>

SVISLÁ VIRTUÁLNÍ PEC PRO ZKOUŠKY POŽÁRNÍ ODOLNOSTI

VERTICAL VIRTUAL FURNACE FOR FIRE RESISTANCE TESTS

Bc. Nikola Šťastná

Abstract

This article deals with creating virtual vertical furnace. It describes numerical model of the vertical furnace for the fire resistance tests of structures. The virtual furnace is created via software FDS (Fire Dynamics Simulator), based on the CFD (Computational Fluid Dynamics). The pattern of creation for virtual model is a real fire furnace of the fire testing laboratory AVAPS located in the Czech Republic. It implies geometry of the real furnace, material properties of the furnace linings, burners with mixture of fuel and air, controlled ventilation and measuring equipment. The model measures the adiabatic surface temperature gas and the pressure in the furnace as it is specified in requirements of European standard for fire resistance tests. The accuracy of the model is validated on results obtained from the experiment in the vertical furnace. Continuous improvement of the virtual furnace outlines the potential for the future using of the model to test fire resistance of structures.

Key words: fire resistance; virtual furnace; FDS; CFD; combustion; thermal analysis; simulation

ÚVOD

Bezpečnost stavby při požáru závisí na uspokojivých požárních vlastnostech stavebních konstrukcí, které tak zajistí bezpečnou evakuaci a zásah hasičích jednotek po určitý časový interval. Potřebné parametry stavebního výrobku lze získat pomocí dohodnutých experimentálních zkoušek stanovených předpisy obecně nazvanými ČSN EN 1363-x: Zkoušení požární odolnosti. Zkoušení požární odolnosti se provádí v horizontálních, resp. stropních pecích a vertikálních, resp. stěnových pecích. Stavební konstrukce se vystaví teplotnímu namáhání a klasifikují se dle mezních stavů. Stanovení požární odolnosti konstrukce pomocí experimentální zkoušky bývá finančně velmi nákladné. Nicméně se tímto způsobem může zjistit požární odolnost konstrukcí, které mohou obsahovat nové materiály nebo mají atypické tvary a není tak možné je zařadit podle tabulek nebo stanovit jejich požární odolnost výpočtem. V České republice je zatím jedna akreditovaná zkušebna pro zkoušky požární odolnosti, a to PAVUS, a.s. ve Veselí nad Lužnicí. V dnešní době se výrobci přiklánějí k výstavbě vlastních avšak neakreditovaných zkušeben. Důvodem je velký počet nových výrobků na trhu a vytíženost akreditovaných zkušeben. Tento článek vznikl na základě spolupráce s požární zkušební laboratoří AVAPS s.r.o. v Klecanech u Prahy. Cílem je vytvořit tzv. virtuální stěnovou pec zkušebny AVAPS. Vytvořením správně fungujícího numerického modelu vhodným softwarem lze dosáhnout snížení počtu experimentálních zkoušek a redukovat tak jejich vysoké finanční náklady.

EXPERIMENT

Společnost AVAPS investovala do vybudování vlastního zkušebního zařízení. V červenci roku 2018 byla zkolaudována nová požární zkušební laboratoř se stěnovou zkušební pecí o rozměrech 5,0 × 3,5 m. Proběhl experiment se stěnou z pórobetonových tvárníc YTONG (obr. 1). Během experimentu zahřívalo pec osm plynových hořáků, resp. čtyři hořáky na dvou protilehlých stěnách pece. Palivem pro ohřev pece byla směs zemního plynu a vzduchu. Předmětem pozorování byla teplota plynu a tlak v peci. Měření teploty plynu uvnitř pece bylo zajištěno dvanácti deskovými snímači teploty (obr. 2, značeny šedými body). Pec se ohřívala pomocí nastavených výkonů hořáků tak, aby výsledná teplota plynu kopírovala normovou teplotní křivku. Tlak v peci byl regulován pomocí dvou tlakových čidel. Zaznamenalo-li jedno z čidel hodnotu tlaku větší než 20 Pa došlo k otevření klapky na odtahu pece a tím k poklesu tlaku v peci. Takto regulace tlaku fungovala po celou dobu experimentu. Experiment probíhal 1395 sekund.



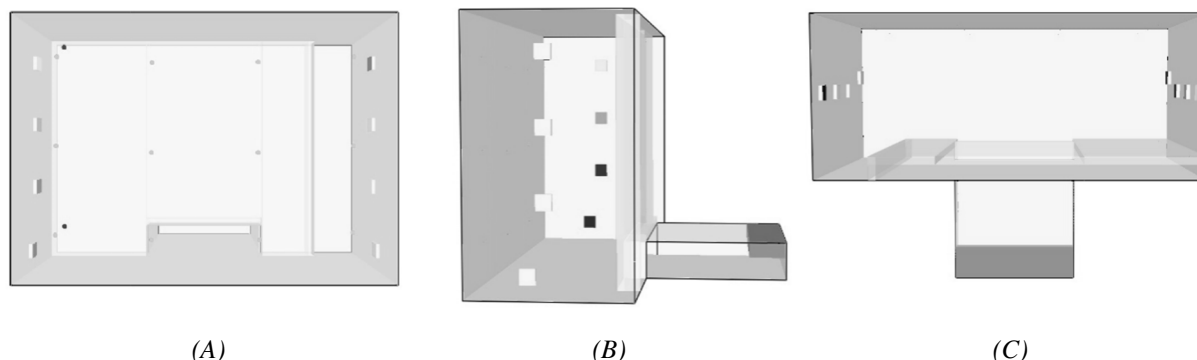
Obr. 1 (A) Požární zkušební laboratoř AVAPS; (B) Stěnová pec
 Fig. 1 (A) Fire testing laboratory AVAPS; (B) Vertical furnace

NUMERICKÝ MODEL

Numerický model virtuální pece je vytvořen pro stěnovou pec zkušebny AVAPS. Zvolený program pro vytvoření numerického modelu je FDS 6.6.0. Jedná se o program, který je založen na modelování metodou CFD. Software FDS umí modelovat fyzikální jevy, jako jsou např. přestup tepla konstrukcí, přestup tepla prouděním a sáláním, pyrolýza materiálu, hoření plynů atd. [1]. Grafický výstup FDS zprostředkovává software Smokeview 6.4.4. Model virtuální pece a sestavení zdrojového kódu byl inspirován modelem stropní pece PAVUS, a.s. z diplomových prací [2–4]. Obr. 2 zobrazuje numerický model pece zkušebny AVAPS.

Model je sestaven ze čtyř výpočetních sítí, z nichž každá na sebe navazuje. Velikosti kontrolních objemů všech sítí činí $50 \times 100 \times 100$ mm. Materiálové vlastnosti povrchu pece a pórobetonové stěny jsou převzaty z technických listů výrobců skutečné pece. Hlavním cílem bylo dosáhnout funkční regulace tlaků uvnitř pece a následné ventilace klapkou na odtahu (obr. 2C, šedý obdélník). V modelu nebyly vytvořeny otvory se skleněnou výplní pro pozorování vnitřku pece. Zkoušená pórobetonová stěna zde slouží jako okrajová podmínka. Vliv uvolňování tepla materiálu pece i stěny je zde zanedbán. Dle nasbíraných dat pro tlak a překročení limitního tlaku dochází k otevření klapky a ventilaci pece.

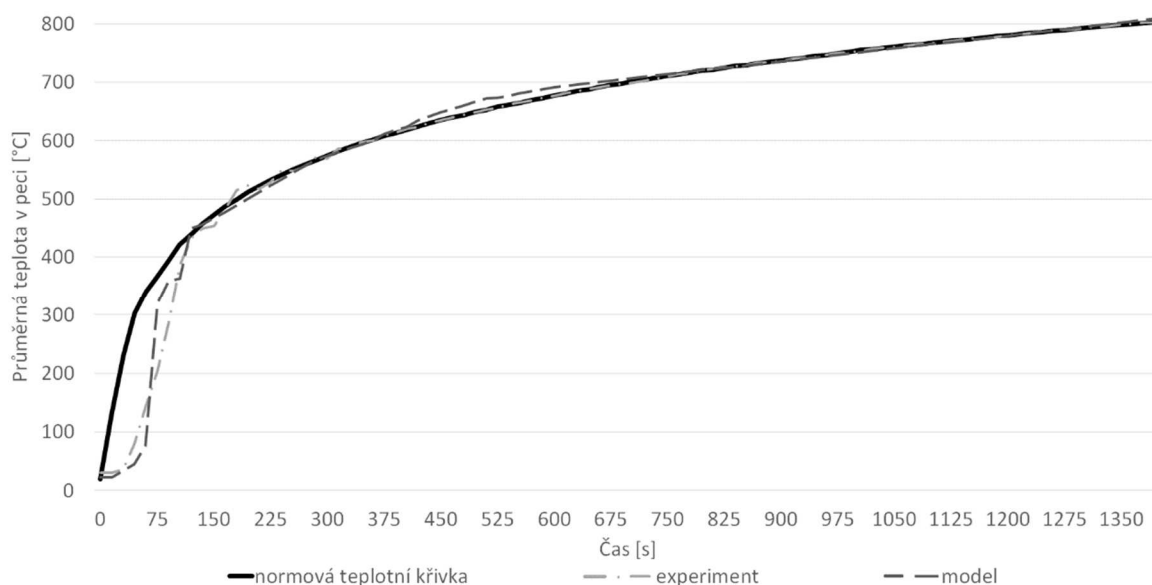
Měření teploty plynu v modelu probíhá pomocí příkazu 'ADIABATIC SURFACE TEMPERATURE GAS', který simuluje měření teploty plynu deskovým snímačem teploty. Umístění snímačů teploty plynu a tlaků odpovídá umístění ve skutečné peci při experimentu a respektuje velikost kontrolních objemů.



Obr. 2 Model virtuální pece: (A) Pohled zepředu; (B) Pohled z boku; (C) Pohled shora
 Fig. 2 Virtual furnace (A) Front view; (B) Side view; (C) Upper view

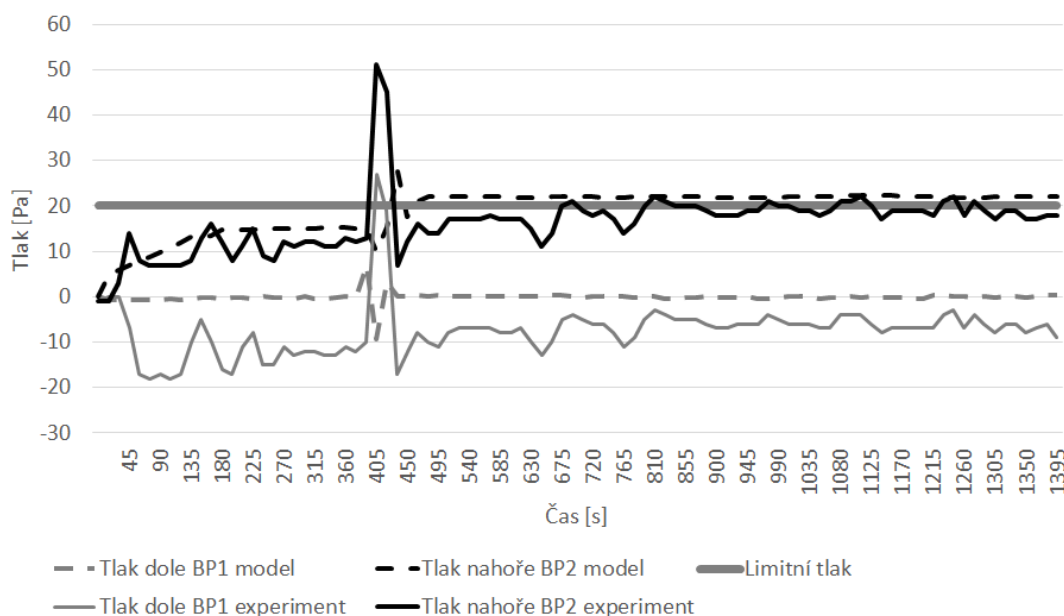
VALIDACE

Přesnost modelu je potřeba ověřit validací. Validace modelu se uskutečnila porovnáním výsledků ze simulace s výslednými daty z experimentu zkušebny AVAPS. Porovnály se teploty naměřené deskovými snímači v experimentu, teplotními čidly v modelu s normovou teplotní křivkou. Na obr. 3 je zobrazeno porovnání výše zmíněných naměřených teplot.



Obr. 3 Průměrná teplota deskových termočlánků
Fig. 3 Average temperature of plate thermometers

Předmětem porovnání je i průběh tlaku uvnitř zkušební pece s průběhem tlaku v modelu. Porovnání modelu s experimentem a limitním tlakem 20 Pa je na obr. 4. Tlaky dosažené ve zkušební peci jsou vyšší než tlaky v modelu. Příčinou tohoto rozdílu jsou s největší pravděpodobností nepřesné vstupní podmínky modelu, např. výkon hořáků nebo poměr vhánění vzduchu a paliva dovnitř numerického modelu pece.



Obr. 4 Porovnání tlaků v peci a v numerickém modelu
Fig. 4 Pressure compare inside the furnace and inside the virtual furnace

ZÁVĚR

Virtuální pec dobře napodobuje zkušební pec v případě teploty plynu. Předmětem dalšího zdokonalování bude řízení tlaku uvnitř pece a ventilace pomocí odvětrávací klapky. Tlaky ve virtuálním modelu pece se liší nižšími hodnotami než při experimentu. Nicméně v obou případech se tlak v pokročilém čase ustálí vlivem řízení ventilace na hodnotu blízkou 20 Pa.

Model je možné zdokonalit zpřesněním okrajových podmínek (např. zavedením materiálových vlastností závislých na teplotě). Dalším krokem pro zlepšení virtuální pece je zpřesnění nastavení výkonu hořáků v počáteční fázi ohřevu, kde dochází k největším rozdílům tlaků. Velmi důležitým prvkem je efektivní nastavení kontrolních objemů a výpočtové sítě, tak aby virtuální pec byla schopna simulovat zkoušku požární odolnosti pro další stavební konstrukce. Cílem zdokonaleného modelu je i automatizace zahřívacího procesu.

Modelováním metodou CFD lze dosáhnout uspokojivých výsledků v případě teploty plynu v peci. Pokračováním ve zdokonalování virtuální pece lze dosáhnout náhrady zkoušek požární odolnosti a redukce jejich finanční náročnosti. Avšak numerický model nemůže zcela nahradit reálné zkoušky požární odolnosti atypických stavebních konstrukcí.

PODĚKOVÁNÍ

Data z experimentu byla poskytnuta požární zkušební laboratoří AVAPS s.r.o.

LITERATURA

- [1] KUČERA, P. a Z. PEZDOVÁ. *Základy matematického modelování požáru*. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2010.
- [2] LIŠKOVÁ, N. *Adiabatická teplota povrchu ve vodorovné peci*. Praha 2017. Diplomová práce (Ing.): České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí. 2017-02-07.
- [3] NOVOTNÁ, P. *Modelování požární zkoušky v peci*. Praha 2017. Diplomová práce (Ing.): České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí. 2017-02-07.
- [4] ZEMAN, F. *Virtuální pec pro zkoušení požární odolnosti konstrukcí*. České vysoké učení technické v Praze. Výpočetní a informační centrum, 2018.

AKUSTICKÉ SIGNÁLY PŘI VYHLÁŠENÍ POŽÁRNÍHO POPLACHU

AUDIBLE FIRE ALARM SIGNALS

Bc. Tereza Rosolová

Abstract

This article is focused on the issue of the acoustic fire signalization in buildings. The theoretical part of the paper introduces the current state-of-the-art and research available in literature with focus on the influence of acoustics signals and voice alarms on human behaviour in the initial phase of an evacuation process. The practical part of this work is based on the interviews with experts (with fire engineers as well as with fire officers) and it follows a procedure for designing acoustic fire devices. Furthermore, a questionnaire for non-specialists was distributed in order to analyse the issue of a voice message's content.

Key words: fire signal; human behavior; evacuation; emergency; building

ÚVOD

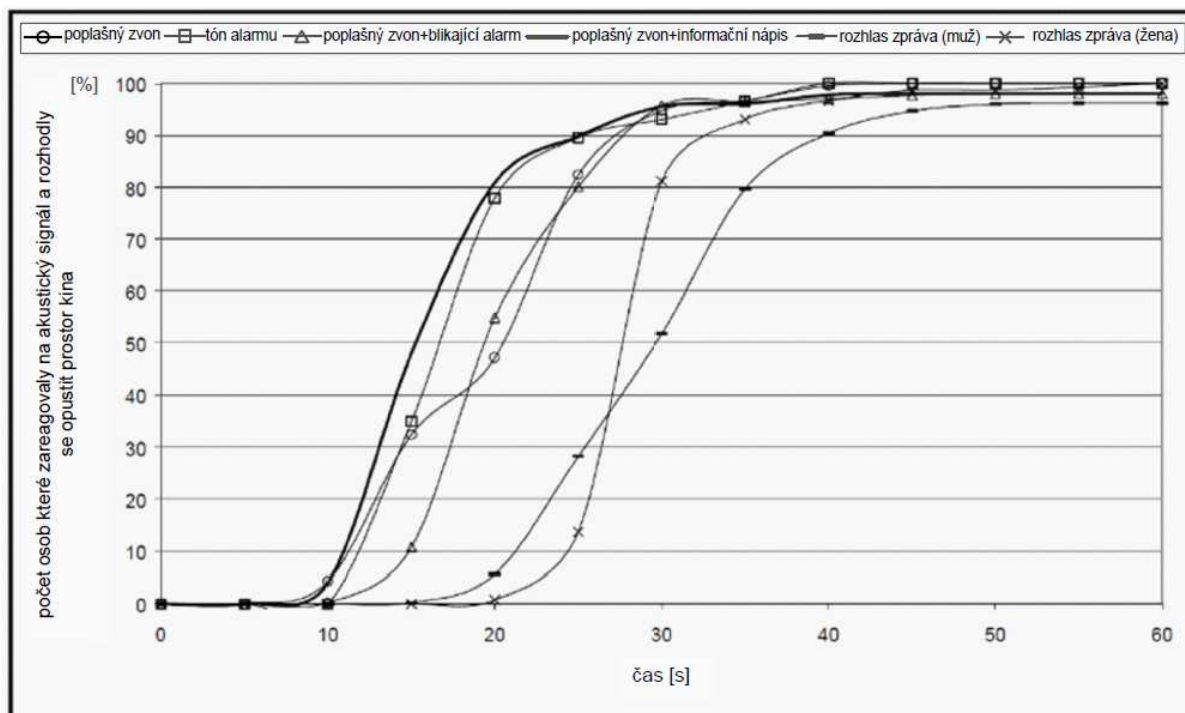
Evakuace osob je problematikou, která je pro požární ochranu a ochranu obyvatelstva jedním z prioritních řešení záchrany životů. Výběr a návrh nouzové zvukové signalizace je rozhodující pro nejúčinnější a nejrychlejší zahájení evakuace. V dnešní době vytváří akustické signály téměř každé elektronické zařízení a pro osoby je obtížné rozeznat, zdali jde o bezpečnostní nebo pouze informativní akustické hlášení. Lidé obvykle reagují na akustické signály, které mají v podvědomí (například ambulanci, hasiče, policii nebo dokonce i zmrzlinářský vůz), ale mnohdy různorodé akustické signalizace i z důvodu jejich četnosti apaticky přehlížejí. Vhodný návrh evakuační zvukové signalizace je klíčový impuls k vyhlášení nouzového stavu, a proto musí být tento zvukový signál jednoznačně výstižný a pochopitelný pro všechny osoby v objektu. V případě nevhodného návrhu (například při špatné slyšitelnosti, nesrozumitelně mluvené zprávě či nejednoznačné siréně) dochází k prodlevě vnímání a interpretace signálu, což negativně ovlivňuje dobu zahájení evakuace. Akustická signalizace sloužící k vyhlášení evakuace může být zajištěna verbální zprávou, zvukovým alarmem nebo jejich kombinací, která se nazývá nouzový zvukový systém. Metoda vyhlášení poplachu k evakuaci by měla odpovídat požadavku na reakci osob nacházejících se v objektu. Detekce a vyhlášení poplachu mohou být v objektu zajištěny pomocí autonomních hlásičů nebo systému elektrické požární signalizace (EPS).

V MINULOSTI PROVEDENÉ EXPERIMENTY A STUDIE

Každý objekt má rozdílné podmínky a vybavení zajišťující efektivní evakuaci a každý lidský jedinec má rozdílné vnímání. Zdravá osoba může své okolí vnímat pěti smysly: zrakem, sluchem, hmatem, čichem a chutí. V každodenním životě se řídíme podněty ve svém okolí a svými smysly, na které spoléháme. S lidskými smysly jsou spojeny různé způsoby oznamování nouzových situací. Akustická signalizace může být zajištěna verbální zprávou [1–4] nebo zvukovým alarmem [1, 5–7]. Dalšími způsoby oznámení nouzové situace může být hmatový [8], viditelný [1, 8] nebo čichový signál [9]. Hlasové alarmy jsou dnes ve veřejných budovách zcela běžné a slouží primárně účelu informovat osoby v objektu o různých skutečnostech, a to nejen nouzových poplašných zprávách. Nouzová hlasová zpráva by měla obsahovat stručnou výzvu k pozornosti, informace o příčině situace a informace, jak dále postupovat a jak se zachovat [3]. Mnoho studií a odborníků upřednostňuje vyhlášení evakuace verbální zprávou, zejména z důvodu nezaměnitelnosti významu a možnosti poskytnutí informací.

Bayer a Rejnö ve své studii [1] realizovali evakuační studii, jejímž cílem byl průzkum způsobu zahájení evakuace a jeho vlivu na chování osob. Bylo provedeno 18 experimentů v kinosále ve švédském městě Malmö, kterých se zúčastnilo celkem 1872 osob a bylo testováno celkem šest různých kombinací akustických signalizací a dalších alarmů. Testované osoby byly v rámci experimentu natáčeny, pozorovány a po ukončení evakuace vyplnily dotazník. Signalizace, poplašný zvon, signální tón alarmu a blikající

světlo, byly vybrány a navrženy v souladu se švédskou normou SS 03 17 11 a hlasové zprávy namluvené mužským i ženským hlasem. Zprávy se skládaly vždy ze tří částí – upoutání pozornosti, zdůvodnění hlášení a instrukce postupu evakuace.



Obr. 1 Závislost reakční doby na různých druzích vyhlášení nouzové situace, převzato a upraveno [1]
Fig. 1 Dependence of reaction time on different emergency alarm signal, original data from [1]

Z výše uvedeného grafu se jeví vhodnější pro vyhlášení evakuace využití sirény než rozhlasové zprávy. Reakční doba na hlasovou zprávu byla v rámci experimentu zaznamenána jako nejdelší, což je přisuzováno jak délce hlášení, tak mylnému předpokladu zúčastněných osob, že se jedná o vtip nebo součást představení. V rámci experimentu si 15 % zúčastněných myslelo, že jde o vtip a neměli potřebu reagovat. V závěru studie autoři doporučují celkovou osvětu ohledně zvukových signalizací alarmů a poplašných zvonů. V případě instalace informačních nápisů doporučují velikost přizpůsobit prostoru a dispozici místnosti. Průběh evakuace je podle této studie významně ovlivněn mírou informací, které jsou osobám poskytnuty.

POSTUP NÁVRHU ZVUKOVÉHO ZAŘÍZENÍ A SYSTÉMŮ K EVAKUACI A ZHODNOCENÍ VHODNOSTI ŘEŠENÍ

Návrh zařízení nebo systému k vyhlášení nouzové situace pomocí akustické signalizace musí být v souladu s právními závaznými předpisy. Vyhláška č. 23/2008 Sb. o technických podmínkách požární ochrany staveb předepisuje pro konkrétní objekty a provozy nutnost instalace zařízení, které má sloužit k vyhlášení požárního poplachu. O návrhu zařízení nebo systému akustické signalizace rozhoduje v souladu s požárním kodexem zpracovatel požárně bezpečnostního řešení objektu. Tento dokument je podkladem pro projektanta koncových prvků a systémů (EPS a ozvučení). Projektant EPS a ozvučení vychází z požadavku druhu zařízení nebo systému a určuje umístění a vlastnosti tohoto zařízení. V mnoha případech určuje projektant konkrétní výrobek od certifikovaného výrobce, který bývá zpravidla vybaven jedním nebo více z již předdefinovaných zvukových signálů a hlasových smyček. Ve většině případů je toto zařízení instalováno se zakoupenou hlasovou smyčkou nebo předvoleným akustickým signálem. Konkrétní akustický signál je vybrán technikem, který zajišťuje instalaci, kontroly a funkční zkoušku. Oslovení technici, kteří tato zařízení instalují a vykonávají revize, potvrdili tyto postupy. Z pravidla je prioritou přiřadit k signalizaci požárního poplachu takový signál, který nebude zaměnitelný s jiným provozním ozvučením. Oslovení příslušníci HZS ČR se shodují, že volba předinstalované

akustické signalizace nemusí být pro každý objekt vhodná a zejména u hlasových zpráv může být obsah přednastavených informací nedostatečný.

Na základě výše uvedených skutečností, které se týkají postupů návrhu, výběru a instalace zařízení a systémů sloužících k vyhlášení evakuace, byl proveden průzkum jejich skutečného provedení v objektech. Bylo vybráno 20 objektů, kde se na základě ČSN navrhuje akustické zařízení. Průzkum probíhal formou rozhovorů s majiteli a provozovateli objektů. Byla pokládána základní otázka, zda je jejich objekt vybaven zařízením EPS a jakým způsobem je vyhlášována nouzová situace v objektu. Z průzkumu bylo zjištěno, že majitelé nebo provozovatelé objektů vědí, zda mají v objektu instalovaný systém EPS, ale ve většině případů nevědí, jakým způsobem je vyhlášován nouzový stav. Část dotazovaných dokázala identifikovat, zda se jedná o akustický signál nebo verbální zprávu, ale neměli informace ani podklady, které by určovaly, jaké konkrétní zařízení je instalováno a jaký konkrétní hlasový záznam nebo akustický signál je použit pro ohlášení poplachu. Z tohoto průzkumu vyplynula výrazná neznalost vyhlášení poplachu majiteli a provozovateli objektů, nicméně konkrétní akustické signály a jejich míru využití v objektech k vyhlášení evakuace nebylo možné určit.

ZHODNOCENÍ OBSAHU VERBÁLNÍ ZPRÁVY

Odborníci se shodují na tom, že zařízení poskytující hlasovou zprávu má být instalováno v objektech, kde se vyskytují osoby neznalé poměrů a v objektech složitých na evakuaci. Hlasová zpráva k vyhlášení evakuace by měla být zároveň přizpůsobena konkrétnímu objektu a situaci. V ČSN se objevuje častější požadavek na instalaci zařízení s verbální zprávou (tzn. evakuační rozhlas, domácí rozhlas nebo nouzový evakuační systém) než požadavek na instalaci akustických sirén. Na základě tohoto faktu a dále diskuze se zástupci HZS ČR byla pozornost zaměřena právě na zhodnocení obsahu evakuačního rozhlasové zprávy.

Oslovení příslušníci HZS ČR vnímají hlavní problematiku rozhlasových zpráv v jejich obsahu a srozumitelnosti mluveného slova. V rámci norem platných v České republice není uveden požadavek, co má hlasová zpráva obsahovat, je zde uvedeno pouze doporučení na vícejazyčné hlášení v případech, kdy je to pro provoz objektu nezbytné (například letiště, nádraží, nákupní centra). Dle studie [1] by se měla nouzová zpráva skládat ze tří částí. Před obsahem samostatného sdělení by měla být upoutána pozornost osob v objektu. Upoutání pozornosti může být zajištěno akustickým signálem nebo žádostí o pozornost. Následně by mělo být oznámeno zdůvodnění hlášení a na závěr je vhodné informovat o možnostech únikových cest a dalších pokynech k evakuaci. Zpráva by měla být řečena klidným důvěryhodným hlasem bez logopedických vad a přízvuku ve stručných a jednosmyslných větách. Zpráva by měla obsahovat slovo požár nebo hoří a lokalizaci této havárie. Hlasová zpráva by neměla obsahovat více jak 5 pokynů a informací a měla by být v určitých frekvencích opakována do doby ukončení evakuace. V rámci práce byl proveden průzkum laické veřejnosti týkající se obsahu evakuačního rozhlasové zprávy v nákupním centru. Pro ověření vzorce ideální poplašné zprávy byl vytvořen elektronický dotazník, který obsahoval otevřenou otázku: „Máte vyhlásit evakuaci nákupního centra. Co řeknete do evakuačního rozhlasu?“. Z 80 dotazovaných odpovědělo na otázku 75 osob ve věku od 10 do 65 let.

Tab. 1 Souhrn výsledků veřejného průzkumu

Tab. 1 Summary of the questionnaire for non-specialists

Otázky	Ženy	Muži	Celkem	Celkem (%)
Celkem odpovědělo	43	32	75	100
1) Upoutání pozornosti	7	6	13	18
2) Zdůvodnění příčiny evakuace	6	6	12	16
3) Informace o postupu evakuace	21	13	34	46
Zpráva obsahovala slovo požár nebo hoří	7	7	14	19
Zpráva vyzývala k zachování klidu	10	3	13	18
Zpráva informovala že se nejedná o cvičný poplach	6	5	11	15
Zpráva obsahovala slovo evakuace	20	12	32	43

Žádný z respondentů by nevyhlásil zprávu, která by byla složena z upoutání pozornosti, zdůvodnění hlášení a informací a pokynů o postupu evakuace. Osm osob uvedlo zprávu s upoutáním pozornosti a zároveň informace k postupu během evakuace. Pět osob by vyhlásilo zprávu bez upoutání pozornosti, ale uvedlo by důvod hlášení se zmínkou o skutečné nouzové události včetně pokynů k dalšímu postupu během evakuace. Ze získaných informací lze vyhodnotit, že obecně je pro osoby nacházející se v objektu důležité slyšet, že výzva k opuštění objektu je z důvodu evakuace a zároveň mít k dispozici informaci o postupu evakuace do bezpečného prostoru. Ženy mají potřebu být informovány o možnostech opuštění objektu více jak muži a zároveň chtějí být ujistěny o zachování klidu. Ve studiích literární rešerše není uveden požadavek na obsah slova evakuace v poplašné zprávě, ale z výsledků experimentu téměř polovina respondentů tuto informaci předpokládá. Z 75 dotazovaných pouze 3 osoby navrhly i cizojazyčné vyhlášení informací k evakuaci. Většina respondentů uvedla rozhlasovou zprávu, která se skládala pouze z prosby nebo žádosti o opuštění nákupního centra. V těchto zprávách nebyla nijak upoutána pozornost, obsah zprávy nebyl zdůvodněn a nebyla poskytnuta informace o možnostech bezpečného úniku. Takto sestavenou zprávu, která pouze žádala o opuštění objektu uvedlo 32 osob. Zprávy, které neinformují o důvodu a postupu evakuace, lze na základě informací získaných od odborníků nahradit požární signalizací v podobě alarmu, který stejně jako takto složené zprávy bude značit poplach, ale nebude poskytovat důležité informace.

ZÁVĚR

Nouzová zvuková signalizace by měla být dobře slyšitelná a všem osobám známá. Toto jsou klíčové poznatky, na kterých se shodují autoři studií, projektanti staveb a zařízení a také příslušníci záchranných složek. Pro vyhlášení evakuace objektu je možné využít verbální zprávu, akustický signál nebo kombinaci akustického alarmu a následně verbální zprávy, tzv. nouzový zvukový systém. Z výše uvedených studií nelze vyvodit závěry, které řešení akustického vyhlášení evakuace je nejspolehlivější. Většina studií uvádí předpoklad vyšší efektivity verbální zprávy, naopak experiment [1] prokazuje rychlejší dobu reakce na evakuaci v případě vyhlášení nouzového stavu akustickým signálem.

LITERATURA

- [1] BAYER, K., & REJNÖ, T. (1999). Utrymningslarm - Optimering genom fullskaleförsök. [Evacuation alarm - Optimizing through full-scale experiments] Report 5053, Lund, Sweden: Department of Fire Safety Engineering, Lund University.
- [2] OMORI, Hidemi, Erica D. KULIGOWSKI, Steven M. V. GWYNNE a Kathryn M. BUTLER. Human Response to Emergency Communication: A Review of Guidance on Alerts and Warning Messages for Emergencies in Buildings. *Fire Technology* [online]. 2017, **53**(4), 1641–1668. ISSN 0015-2684, 1572-8099. Dostupné z: doi:10.1007/s10694-017-0653-3
- [3] CANTER D., POWELL J. a BROOKER K. (1988) Psychological aspects of informative fire warning systems. Borehamwood, UK: Department of the Environment, Building Research Establishment, Fire Research Station.
- [4] PROULX, G. a J. SIME. To Prevent „Panic" In An Underground Emergency: Why Not Tell People The Truth? *Fire Safety Science* [online]. 1991, **3**, 843–852. ISSN 18174299. Dostupné z: doi:10.3801/IAFSS.FSS.3-843
- [5] PALMGREN, Robin a Joakim ÅBERG. Vilka ljud- och ljussignaler passar bäst som utrymningslarm? nedatováno, 68.
- [6] NILSSON, Daniel. Design of fire alarms: Selecting appropriate sounds and messages to promote fast evacuation. nedatováno, 9.
- [7] PROULX, G., C. LAROCHE, F. JASPERS-FAYER a R. LAVALLÉE. Fire Alarm Signal Recognition. National Research Council Canada [online]. 2001 [vid. 2019-03-10]. Dostupné z: doi:10.4224/20386276
- [8] BRUCK, D., THOMAS, I., & BALL, M. (2007) Waking effectiveness of alarms (auditory, visual and tactile) for the alcohol impaired. Melbourne, Australia: Victoria University.
- [9] GOTO, H., SAKAI, T., MIZOGUCHI, K., TAJIMA, Y., IMAI, M. (2010). Odor generation alarm and method for informing unusual situation. US Patent 20100308995 A1.

POŽÁRNÍ OCHRANA DŘEVEM – VALIDACE ODHOŘÍVÁNÍ

FIRE PROTECTION BY TIMBER – VALIDATION OF BURNING OUT

Bc. Jakub Šejna

Abstract

The seminar work deals with firing of timber and its possibilities of modeling. Combining the rate of heat release impacting the surface of the modeled element with the released energy due to the ongoing timber pyrolysis. Finite Element Modeled Wood Element in Nonlinear Behavior in ANSYS Mechanical ADPL. Feeding input data is taken from conical calorimeter experiments. The main comparison is influencing the temperature development in the modeled element due to pyrolysis.

Key words: timber; burning; char layer; material model; pyrolysis; material properties; elevated temperature

ÚVOD

Jednou z účinných požárních ochran je ochrana dřevěným obložení. Dřevo má výborné tepelně izolační schopnosti i při vystavení požáru, kdy ubývá na tloušťce, ale vytváří zuhelnatělou vrstvu. Požární ochrana dřevem se ale stává požárním zatížením a přispívá k hoření v požárním úseku. V rámci projektu Chování konstrukcí s dřevěnou požární ochranou – multifyzikální modelování GAČR č. 19-22435S, který má rozšířit numerická řešení požární odolnosti nosných prvků s ochranou dřevem, se připravuje složený numerický model hoření v požárním úseku, zuhelnatování a chování dřevěné konstrukce.

Při návrhu dřevěných konstrukcí je stále výzvou materiálový model dřeva. Pružný model vyhovuje pro navrhování při jednosměrném namáhání. Při prostorovém pružném řešení se využívá obvykle sedm dvojic parametrů, tuhostí a pevností. Při nelineárním modelu poškození může být potřebných součinitelů třikrát tolik. Při lineárním sálení podle nominální normové křivky se uvažuje s přibližně lineární degradací dřeva, jeho ubýváním a tvořením zuhelnatělé vrstvy [1]. Pro využití zónových modelů a dynamické analýzy plynů pro popis požáru již úlohu nelze linearizovat a je třeba přejít na popis hoření uvolňovaných plynů. V tomto příspěvku je představeno numerického simulování odhořívání dřeva, ve kterém je zahrnut vliv působení tepla na dřevěný prvek a následná aktivace pyrolýzy dřeva, při které se dále do blízkého prostoru modelovaného prvku uvolňuje energie ve formě hoření plynů a současně vytváří tepelně izolační zuhelnatělá vrstva. Zuhelnatělá vrstva je křehká a praská, praskliny se modelují pravděpodobnostně nebo jako křehká vrstva na poddajném tělese.

MODEL ODHOŘÍVÁNÍ

Pro modelování je třeba zohlednit anizotropní vlastnosti dřeva. Zvolený druh dřeva se popíše základními charakteristikami, tj. hustotou, tepelná kapacitou a tepelná vodivostí v základních třech směrech. Každý druh dřeva má obecně jiné teplotní změny základních charakteristik.

Způsob pyrolýzy dřeva ovlivňuje odhořívání dřeva. Dřevo vlivem zvýšených teplot degraduje a uvolňuje do okolí hořlavé plyny a vodní páry [2]. Se zvyšující se teplotou proces pyrolýzy zvětšuje. V řešeném případě jsou data získána z kalorimetru, známá rychlost uvolňovaného tepla dopadajícího na plochu zkoušeného prvku, využita pro sestavení rovnice hmotnostní rychlosti odhořívání [3]:

$$r_{tj} = \left(\frac{\rho_{s,i}}{\rho_{s0}}\right)^{n_{s,i,j}} A_{ij} e^{\left(-\frac{E_{ij}}{RT_s}\right)} \max[0, (T_s - T_{ing,ij})]^{n_{t,ij}}$$

kde:

$\rho_{s,i}$	hustota při zkoumané teplotě daného dílce [kg/m^3]
ρ_{s0}	hustota při teplotě 20 °C daného dílce [kg/m^3]
n_{s,t_i}	řád reakce teploty
A_{ij}	reakční součinitel [1/s]
E_{t_j}	reakční součinitel [kJ/kmol]
R	univerzální plynová konstanta
T_s	teplota zahřívání povrchu [°C]
$T_{\text{ing},ij}$	iniciační teplota povrchu [°C]
$n_{t,ij}$	řád reakce hmotnostní

Z vypočítaných hodnot lze pomocí efektivní výhřevnosti dřeva nebo prvku na bázi dřeva dopočítat rychlost uvolňování tepla do okolí vlivem pyrolýzy podle vztahu:

$$Q = r_{t_j} \Delta H_{eff}$$

kde:

r_{t_j}	hmotnostní rychlost odhořívání [kg/s]
ΔH_{eff}	efektivní výhřevnost [kJ/kg]

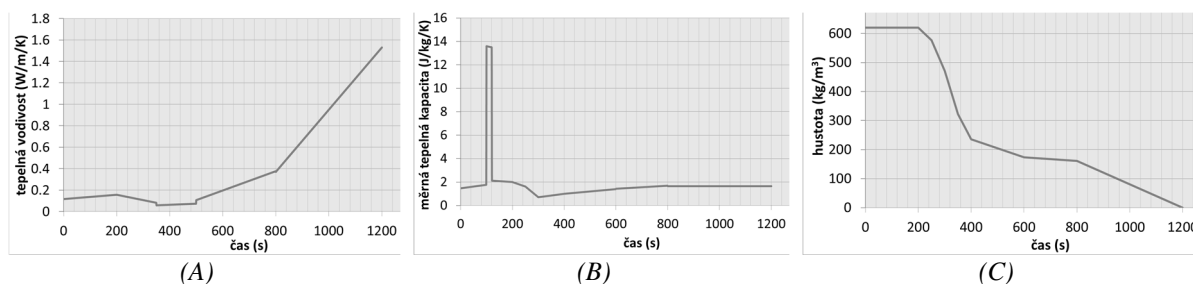
Takto získanou rychlost uvolňování tepla lze připočíst k naměřené hodnotě z experimentu rychlosti uvolňování tepla dopadající na modelovaný prvek. Využitím rovnice hmotnostní rychlosti odhořívání dřeva dostáváme postup, kdy pyrolýza je závislá na teplotě daného prvku, tedy lze ji snadno implementovat do výpočtu.

Mechanický a tepelné vlastnosti dřeva se vlivem působení zvýšených teplot mění. Změny hustoty, měrné tepelné kapacity a tepelné vodivosti jsou zjednodušeně dány EN1995-1-1 [1]. Při odhořívání dřeva dochází k jeho vysychání, tvorbě vrstvy zuhelnatění a prasklin vlivem smršťování posuzovaného prvku. Vysychání dřeva ovlivňuje jeho hustotu. Vrstva zuhelnatění mění tepelné vlastnosti dřeva.

Vliv a doba vzniku trhlin se při zjednodušeném řešení zanedbávají. To platí pro modelování malého dřevěného prvku, kde vznik trhlin nemá výrazný vliv na prostup tepla. Pro řešení většího modelovaného prvku lze vznik trhlin modelovat jako křehký materiál nebo stochasticky.

TEPLOTNÍ CHARAKTERISTIKY DŘEVA

Pro řešení příklad byl zvolen prvek z OSB tl. 25 mm, pro které jsou materiálové charakteristiky v závislosti na čase zobrazeny na obr. 1.



Obr. 1 (A) Součinitel tepelné vodivosti při působení teplot; (B) Měrná tepelná kapacita při působení teplot; (C) Hustota OSB při působení teplot

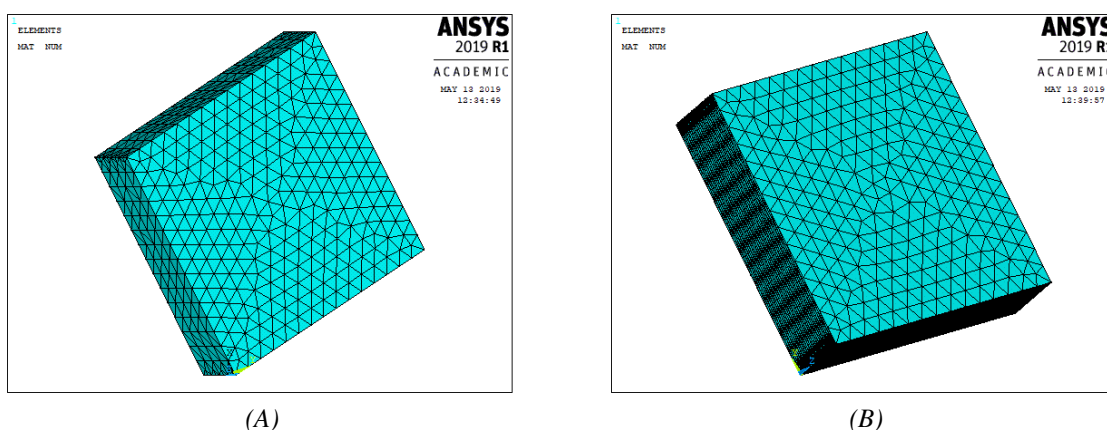
Fig. 1 (A) Conductivity in fire; (B) Heat capacity in fire; (C) Density of OSB in fire

Rychlostí a vrstvy zuhelnatění se mimo jiné zabýval J. Strílka v práci [4]. Přispěl k popisu vlivu vývoje vrstvy zuhelnatění na prostup tepla do zkoumaného prvku.

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

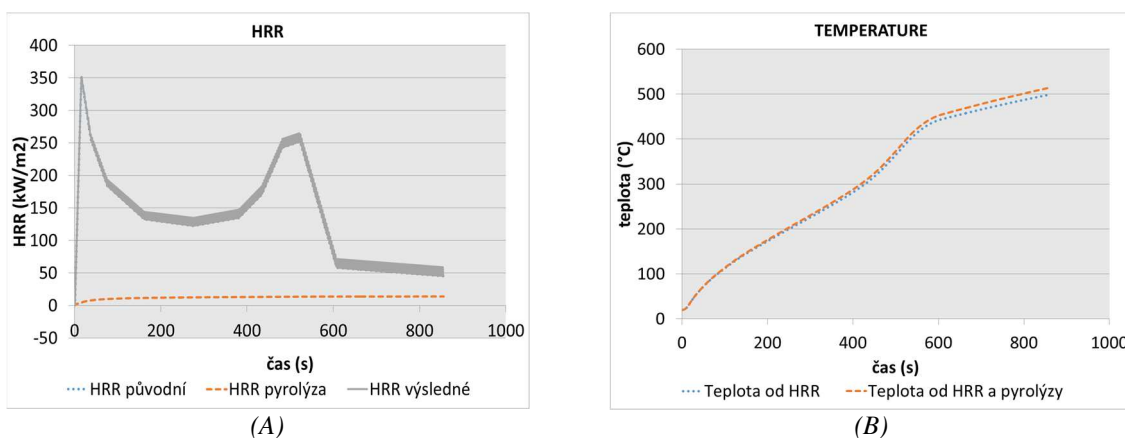
Řešený příklad je připraven pro prvek z OSB o rozměrech $100 \times 100 \times 25$ mm. Pro modelování metodou konečných prvků byl zvolen program ANSYS, část Mechanical ADPL 2019 R1. Postupuje se v krocích od vytvoření výpočetního modelu, přes definování výpočetních materiálových vlastností a tepelného zatížení až po závěrečné vyhodnocení výsledků.

Vytvoření modelu v prostředí Mechanical APDL 2019 bylo provedeno pomocí objemů prvků, které byly následně rozděleny sítí na prvky [5]. Na hrubé síti (obr. 3A) je dále ověřen funkční stav modelu. Krok odstraní chyby v zadaných datech při krátkém výpočetním čase. Po ověření výpočetního modelu lze přistoupit k zjemnění modelu (obr. 3B). Zjemněním se zpřesní popis změn materiálových vlastností vlivem degradace materiálu a tvorba vrstvy zuhelnatění



Obr. 2 (A) Základní hrubý model; (B) Detailní výpočetní model po vrstvách
Fig. 2 (A) Basic rough model; (B) Detailed computational model layered

Při simulaci odhořívání dřeva se singularitě v modelu odhořelé vrstvy dřeva zabrání přiřazením nulové / zanedbatelné hustoty a zvýšením tepelné vodivosti materiálu. Pokud je dělení modelu dostatečné, dochází k vytvoření vrstvy zuhelnatění, ovlivnění prostupu tepla do zkoumaného prvku či odhořívání dřeva ve výpočetním modelu. Požadovaná velikost sítě se získá studií citlivost. Předpokládá se, že nejpřesnější řešení přináší nejjemnější síť. Z výsledků výpočtu s hrubou sítí, velice jemnou sítí a předpokládanou sítí se stanoví hrubost sítě pro požadovanou 5 % přesnost řešení. Působení tepla na povrch vzorku lze modelovat pomocí rychlosti uvolňování tepla (HRR) nebo pomocí teploty dopadající na povrch tělesa.

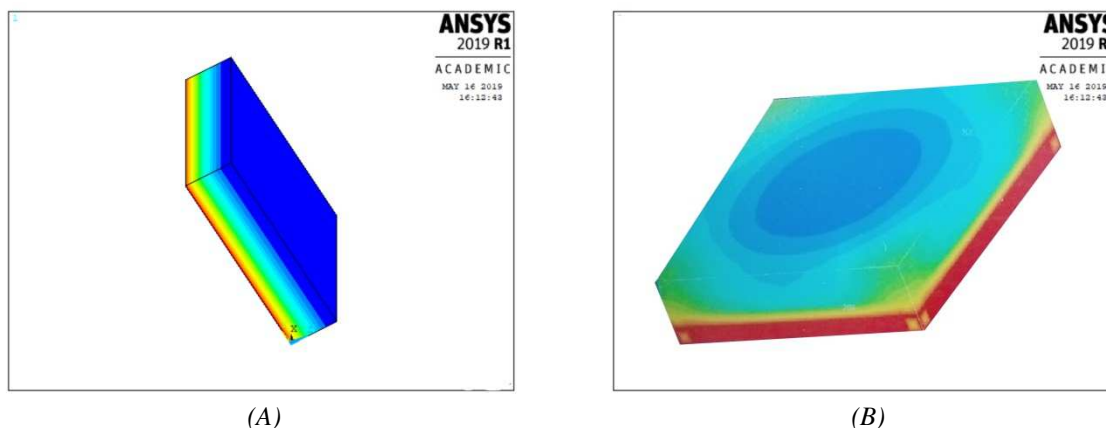


Obr. 3 (A) Rychlost uvolňování tepla (HRR) na povrchu tělesa; (B) Průběh teplot povrchu tělesa
Fig. 3 (A) Heat release rate (HRR) on body surface; (B) Body surface temperature course

Z grafů na obr. 3 lze odečíst vliv degradace zkoumaného prvku. Plný průběh degradace dřeva nastává okolo 60°C , kdy tento krok souhlasí s hmotnostní rychlostí odhořívání dřeva, která je závislá na teplotě

daného výpočetního prvku. Pro stanovení rozvoje tepla dopadajícího na povrch modelovaného prvku lze využít přírůstkovou metodu.

Vstupní data pro dopadající energii na povrch zkoumaného prvku byla poskytnuta Vysokou školou chemicko-technologickou v Praze (VŠCHT) a Technickým ústavem požární ochrany (TÚPO). Pro simulaci byly zvoleny data výkonu zářiče 80 kW. Průběh HRR na obr. 4 ovlivňuje aktivace pyrolýzy, po které lze uvolňování energie popsat rovnicí rychlosti odhořívání hmoty.



Obr. 4 (A) Výpočetní lineární model; (B) Výpočetní nelineární model
Fig. 4 (A) Computational linear model; (B) Computational nonlinear model

ZÁVĚR

Na řešeném příkladu (obr. 4), je vidět velký vliv síťování ovlivňující vytvoření vrstvy zuhelnatění, která působí jako izolace nezasaženého prvku. Velký význam i v takto malém prvku má pyrolýza, která přispívá k rychlosti uvolňování tepla a tím vyššímu zatěžování modelovaného prvku teplotou. Při modelování prvku o velikosti $100 \times 100 \times 25$ mm dochází vlivem pyrolýzy ke zvýšení teploty na povrchu prvku o $15,3$ °C více než pokud zanedbáme samotnou pyrolýzu.

Model bude po validaci a verifikaci použit k modelování ochrany ocelového prvku konstrukce obkladem ze dřeva s využitím spojení dynamické analýzy plynů, zuhelnatování, prostupu tepla prvkem a mechanického chování chráněné konstrukce.

PODĚKOVÁNÍ

Práce vznikla v rámci projektu Chování konstrukcí s dřevěnou požární ochranou – multifyzikální modelování GAČR č. 19-22435S.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 1995-1-2; Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru; 2004
- [2] BUCHANAN, Andrew Hamilton. Structural design for fire safety. Chichester ; New York: Wiley, 2001. ISBN 978-0-471-88993-9.
- [3] McGRATTAN, K., Klein, B., Hostikka, S., and Floyd, J., „Fire Dynamics Simulator (Version 5) User’s Guide” NIST Special Publication 1019-5, 2007
- [4] STRÍLKA, J., Rychlost odhořívání dřeva: bakalářská práce, Ostrava: VŠB –TU, 2014, 61s
- [5] ANSYS; ANSYS Mechanical APDL Thermal Analysis Guide; Release 15.0; 2013

OCELOVÉ KONSTRUKCE PO POŽÁRNÍM ZÁSAHU

STEEL STRUCTURES AFTER FIRE INTERVENTION

Bc. Lukáš Košata

Abstract

The subject of this article is to describe changes in metallurgical structure of steel after slow heating during building fire and following rapid cooling by water stream. In the first part of the article is introduction to fire extinguishing by water. The second part describes metallurgical structures of steel. In the third part is estimated a speed of cooling by fire nozzle. Attention is focused on risk of martensite formation.

Key words: steel structures; fire, cooling; quenching; martensite

ÚVOD

Degradace materiálových vlastností oceli za zvýšených teplot závisí na rychlosti zahřívání. Například EN 1993-1-2:2005 poskytuje návrhové hodnoty meze kluzu, meze úměrnosti a modul pružnosti při zahřívání požárem 2 až 50 K za minutu [1]. Vztahy jsou připraveny pro navrhování stavebních konstrukcí při požáru. V literatuře jsou dispozici i materiálové vlastnosti konstrukční oceli po zahřátí nad teplotu austenitizace oceli. Neuvažuje se s rychlým ochlazováním konstrukcí, ke kterému dochází při zdolávání požáru jednotkami požární ochrany. Struktura oceli se při ochlazení mění. Změna závisí na výšce teploty, rychlosti chlazení a množství uhlíku / příměsí. Ochlazování se využívá pro tepelné zpracování oceli. Při tepelném zpracování se mění dvě základní vlastnosti oceli pevnost / tažnost a houževnatost. U strojních ocelí se cíleně dosahuje požadované tvrdosti materiálu zchlazením – kalením. Kalitelné jsou pouze uhlíkové oceli. Ve stavebních konstrukcích je křehkost nežádoucí. Příspěvek se věnuje riziku zakalení při požárních zásahu na objektu s ocelovou nosnou konstrukcí.

Požární zásah

Požární zásah je činnost jednotek požární ochrany, jejímž cílem je zabránit šíření požáru a následně požár zlikvidovat. Popis principu hoření je základem efektivního požárního zásahu. Jedná se o chemickou reakci hořlavého plynu z paliva a kyslíku za vzniku světla a tepla, exotermická reakce. Podmínkou pro proběhnutí této reakce je nutná přítomnost iniciační energie – tepla. Tři nutné podmínky hoření se označují jako tzv. trojúhelník hoření (obr. 1). Pro zastavení nebo omezení hoření je třeba z pásma hoření odstranit jednu z těchto složek. Nejpoužívanějším hasivem je voda. Jedná se o látku, která je snadno dostupná. Hasební účinek vody spočívá v její velké měrné tepelné kapacitě a zejména skupenském teple vypařování. Tím je schopna odvést značné množství tepla z pásma hoření. Druhým hasebním účinkem je přibližně 1700násobné zvětšení objemu při vypaření, čímž dochází k vytlačování kyslíku [2].



Obr. 1 Trojúhelník hoření

Fig. 1 Fire triangle

Voda je do pásma hoření transportována vodním proudem. V závislosti na použité proudnici lze vytvořit několik forem vodních proudů. Plný, tj. kompaktní, proud, zůstává ucelený po dlouhou dobu letu.

Po opuštění proudnice má téměř rovnoběžné okraje a vyznačuje se zejména velkým dostřikem a velkou průbojnou silou, lze tak dopravit vodu přímo do pásma hoření. Mlhový proud má podobu drobných kapiček vody, které jsou rozptýleny do nejbližšího okolí proudnice. Dobře pohlcuje sálavé teplo a ochlazuje horký vzduch, jeho průbojná síla je však mizivá. Mezi stupněmi mezi těmito proudy je sprchový proud, který má podobu proudu větších vodních kapek, rozptýlených v určitém úhlu rozstříku. Podle úhlu rozstříku se více blíží mlhovému, nebo plnému proudu. Nejvyšší rychlosti ochlazování konstrukce lze dosáhnout při použití plného proudu.

STRUKTURA oceli

Ocel je slitinou železa, uhlíku a dalších legujících prvků. Současné konstrukční oceli jsou nízkouhlíkové, s obsahem uhlíku do 0,27 %. V závislosti na složení, teplotě a způsobu tepelného zpracování tvoří ocel různé krystalické struktury. Za vysokých teplot nad 1495 °C, se vyskytuje ve formě taveniny. Tavenina při ochlazení vytváří zrna austenitu.

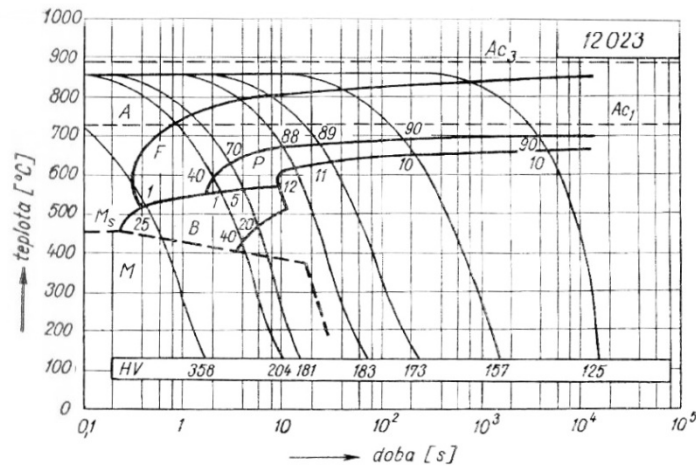
Austenit je intersticiální roztok uhlíku v železe s kubickou plošně středěnou krystalickou mřížkou (železo γ). Maximální rozpustnost uhlíku v austenitu je 2,11 %. Při teplotách 727 až 912 °C se austenit začíná transformovat na ferit. Krystalická mřížka feritu je kubická prostorově středěná (železo α) a rozpustnost uhlíku je 0,22 % při teplotě 727 °C, přičemž s klesající teplotou rozpustnost klesá a přebytečný uhlík je vysrážen ve formě karbidu železa (cementit – Fe₃C). Austenit s obsahem uhlíku nad 0,22 % vytváří při teplotách pod 727 °C směs feritu a cementitu, tzv. lamelární perlit.

Pokud je austenit ochlazován rychleji, začíná se při teplotách pod cca 550 °C formovat bainitická struktura, ve které je cementit rozptýlen v podobě drobných zrníček. V případě prudkého ochlazování může dojít ke vzniku martenzitické struktury, tedy podchlazeného přesyceného roztoku uhlíku v železe. Martenzit se vyznačuje vysokou tvrdostí a křehkostí. Ve stavebních konstrukcích je však křehkost materiálu nežádoucí, někdy až nebezpečnou vlastností. Křehká konstrukce se obvykle poruší bez výrazných deformací a v krajním případě může dojít ke kolapsu bez předchozího varování.

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

Ve strojírenství jsou vlastnosti martenzitu využívány při výrobě ocelových nástrojů a součástí. Metoda tepelného zpracování oceli, pomocí které se dosahuje vysoké tvrdosti, se nazývá kalení. Při kalení se výrobek ohřeje na kalicí teplotu a ta je následně po určitou dobu udržována. Poté je výrobek prudce ochlazen ve vodní nebo olejové lázni. Tím je dosaženo martenzitické struktury – zakalení oceli. Do jisté míry lze ponoření do vody přirovnat k ochlazení vodním proudem. Kalitelnost je schopnost oceli vytvořit strukturu s alespoň 50 % martenzitu, přičemž kalitelné jsou oceli s obsahem uhlíku více než 0,2 %, za dobře kalitelné se obvykle označují ocel s více než 0,35 % uhlíku. Protože konstrukční oceli mohou obsahovat až 0,27 % uhlíku a další legující příměsi, nelze vznik martenzitu zcela vyloučit.

Průběh rozpadu austenitu se pro oceli různého složení popisuje pomocí diagramů IRA pro izotermický rozpad austenitu při konstantní teplotě a ARA pro anizotermický při měnící se teplotě. Pro zkoumání vzniku martenzitu je vhodnější diagram ARA, kde je předpokládáno nepřetržité ochlazování oceli. Diagramy jsou dobře zpracované pro strojírenské oceli. Například v [3] jsou uvedeny ARA diagramy pro několik desítek ocelí podle ČSN značení. Konstrukční oceli třídy 11, které se využívají ve stavebních konstrukcích, resp. jim ekvivalentní dle současných norem, zde zdokumentovány nejsou. To je možné vysvětlit mimo jiné tím, že u těchto ocelí není zaručené složení, a tím ani podoba výsledného diagramu. Pro konstrukční nízkouhlíkovou ocel 12 023, jejíž složení je nejbližší nelegovaným konstrukčním ocelím, je diagram na obr. 3. Z diagramu je patrné, že v této oceli se vytvoří martenzit jen při velmi rychlém ochlazování. Při ochlazení z teploty 850 °C na 450 °C během 0,6 s se více než 75 % austenitu přemění na martenzit. Pokud ochlazení trvá cca 4 s, vzniká pouze asi 20 % martenzitu.



Obr. 2 Diagram ARA oceli 12 023 [3]

Fig. 2 CCT diagram of steel 12 023 (by ČSN) [3]

OCHLAZOVÁNÍ VODNÍM PROUDEM

Rychlost ochlazování, ke které může docházet při požárním zásahu, lze analyticky studovat na vzorové situaci, kdy je nosník z profilu IPE 220 ochlazován plnoproudou proudnicí C52 ze vzdálenosti 3 metrů. Lze vyjít ze vztahů v [4]. Vztahy jsou rozšířeny o další součinitele, protože při použití vodního proudu není využita tepelná kapacita ani objem přiváděné vody:

$$\tau = \frac{c_a \cdot m_a (\theta_{fin} - \theta_{ini})}{m_{w,eff} (l_{v,eff} + c_w (\theta_{var} - \theta_1))}$$

kde:

τ	je doba ochlazování	[s]	c_w	tepelná kapacita vody	[J/(kg·K)]
c_a	tepelná kapacita oceli	[J/(kg·K)]	θ_{fin}	konečná teplota oceli	[°C]
m_a	hmotnost oceli	[kg]	θ_{ini}	počáteční teplota oceli	[°C]
m_w	hmotnostní průtok vody	[kg/s]	θ_{var}	bod varu vody	[°C]
$l_{v,eff}$	účinné výparné teplo vody	[J/kg]	θ_1	počáteční teplota vody	[°C]

Jako počáteční a konečná teplota oceli se uvažuje 850 a 450 °C, tedy rozmezí, které je třeba v daném čase překonat, aby bylo dosaženo zakalení oceli. Dalším vstupním údajem jsou vlastnosti oceli. Měrná tepelná kapacita oceli je 450 J/(kg·K), hmotnost oceli lze spočítat:

$$m_a = G \cdot l \cdot k_e$$

kde:

G	jednotková hmotnost profilu	[kg/m]
l	ochlazovaná délka	[m]
k_e	součinitel expozice	[-]

Jednotková hmotnost závisí na konkrétním průřezu ocelového prvku. V případě profilu IPE 220 je hmotnost 26,2 kg/m. Další dvě veličiny dávají určitý prostor pro úvahu. První z nich je ochlazovaná délka. Při dané vzdálenosti proudnice od nosníku lze odhadnout, že v místě nosníku bude mít vodní proud průměr přibližně 0,6 m a stejně velkou část nosníku tedy bude možné ochlazovat v jeden okamžik. Součinitel expozice zohledňuje skutečnost, že například u dutých čtvercových profilů je vodnímu proudu přímo vystavena jen jedna polovina průřezu. Druhá polovina je zasažena buď nepřímo, nebo skrze vedení tepla materiálem. V řešeném příkladu bude vodním proudem přímo zasažena s největší pravděpodobností stojina, celá jedna pásnice a polovina druhé pásnice. Uvažuje se, že je zasaženo přibližně 65 % průřezu.

Dále je třeba stanovit vlastnosti a parametry vodního proudu. Měrná tepelná kapacita vody je 4180 J/(kg·K), měrné skupenské teplo vypařování vody je 2257 kJ/kg. Počáteční teplota vody je zvolena 15 °C. Hmotnostní průtok vody a bude spočítán pomocí vzorce:

$$m_{w,eff} = \frac{k_v \cdot Q \cdot \rho_w}{60}$$

$$l_{v,eff} = k_l \cdot l_v$$

kde:

k_v je součinitel využití objemu [-]
 Q objemový průtok proudnicí [m³/min]
 ρ_w hustota vody [kg/m³]

kde:

k_l součinitel využití výparného tepla [-]
 l_v měrné skupenské teplo vypařování vody [J/kg]

Objemový průtok plnoproudou proudnicí C52 je 200 l/min při tlaku 0,4 MPa [2]. Součinitele využití objemu vody vyjadřuje skutečnost, že i kompaktní vodní proud se po určité vzdálenosti rozptýlí a v příčném řezu může nabývat větších rozměrů. Tyčový ocelový prvek tak nemusí být zasažen celým objemem vody. V tomto případě se uvažuje, že 40 % z celkového objemu vody skutečně dopadne na povrch ocelového prvku. Dále, že voda dopadající na povrch oceli se nevypařuje v plném rozsahu. Součinitelem k_l se zavádí předpoklad, že pouze 70 % vody dopadající na ocel se vypaří. Zbývající část vody se ohřeje na teplotu blízkou bodu varu a odteče z povrchu oceli.

$$m_a = 26,2 \cdot 0,6 \cdot 0,65 = 10,2 \text{ kg} \quad m_w = \frac{0,4 \cdot 0,2 \cdot 1000}{60} = 1,33 \text{ kg/s}$$

$$l_{v,eff} = 0,7 \cdot 2,257 \cdot 10^6 = 1,58 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$$

$$\tau = \frac{450 \cdot 10,2 \cdot (850 - 450)}{1,33 \cdot (1,58 \cdot 10^6 + 4180 \cdot (100 - 15))} = 0,71 \text{ s}$$

Ocelový prvek je dle analytického výpočtu lokálně prudce ochlazen na teplotu potřebnou pro vznik martenzitu během cca 0,7 sekundy.

ZÁVĚR

Z příkladu je zřejmé, že pokud by byl ocelový prvek při požáru ohřátý na teplotu překračující 850 °C a následně byl zasažen vodním proudem ze vzdálenosti 3 m, došlo by k prudkému ochlazení na 450 °C během cca 0,7 sekundy. V případě, že by byl z oceli 12 023, by mohlo dojít ke vzniku martenzitu. Otázkou je, do jaké míry je v praxi pravděpodobný scénář, kdy je teplota oceli takto vysoká, a zároveň je lze uskutečnit požární zásah z dané vzdálenosti [5]. S největší pravděpodobností by byla takto vysoká také teplota plynů v okolí, tudíž zásah z takovéto blízkosti by nebyl možný.

Experimentální ověření rychlosti ochlazování při hašení, numerická simulace rychlosti ochlazování při požárním zásahu na konstrukci a krystalická struktura konstrukční oceli po ochlazení bude předmětem navazující diplomové práce.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 1993-1-2 - Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [2] HANUŠKA, Zdeněk. *Konspekty odborné přípravy jednotek PO*. 2. aktualizované vydání. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2008. ISBN 978-80-86111-89-6.
- [3] JECH, Jaroslav. *Tepelné zpracování oceli - Metalografická příručka*. 4. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1983.
- [4] POLÍVKOVÁ, Tereza. *Chlazení ocelových konstrukcí pomocí sprinklerů*. Praha, 2017. Diplomová práce. ČVUT v Praze.
- [5] WALD, František. *Konstrukční ocel vystavená požáru a hašení*. B.m.: ČVUT v Praze. 2018

TEPLOTNÍ ANALÝZA STŘEŠNÍCH PLÁŠŤŮ POMOCÍ METODY KONEČNÝCH PRVKŮ

THERMAL ANALYSIS OF ROOFS BY USING THE FINITE ELEMENT METHOD

Bc. Šimon Pařízek

Abstract

The subject of this paper is to perform thermal analysis of selected roof cladding compositions with a concrete lightweight cassette. From these lightweight cassettes, a ribbed slab of prestressed precast double T shaped panel is made from. In terms of fire resistance (fire separation function), these cassettes represent the most critical area of the roof structure. The first part of the paper deals with the theoretical basics of roof structures under fire. A mathematical model of heat transfer based on Fourier's law is described. The second part explains the thermal analysis procedure using the TempAnalysis software. Further, the final summary of the results and the description of a future fire tests are given.

Key words: thermal analysis; fire; roof; high temperature; temperature profile; material properties

ÚVOD

Předmětem tohoto článku je provedení teplotní analýzy zvolených skladeb střešních pláštů s betonovou vylehčující kazetou. Z těchto vylehčujících kazet je provedena střešní deska předpjatého prefabrikovaného TT prvku. Z hlediska požární odolnosti, resp. požárně dělicí funkce, představují tyto kazety nejkritičtější oblast střešní konstrukce.

Hlavním cílem teplotní analýzy je stanovení rozložení teploty pro jednotlivé skladby střešních pláštů a následné určení a vyhodnocení, jaké střešní souvrství je optimální s ohledem na splnění kritérií mezních stavů požární odolnosti.

HODNOCENÍ STŘECH Z POŽÁRNÍHO HLEDISKA

V současnosti se v České republice střechy klasifikují podle řady evropských norem. Hodnocení střech z požárního hlediska je prováděno ze spodní či vrchní strany, dále podle směru působení a intenzity požáru. Požadavky na hodnocení střech lze rozdělit z hlediska požární odolnosti, chování střech při působení vnějšího požáru a reakce na oheň [1].

Požární odolnost střešních konstrukcí je dána mezními stavy požární odolnosti, konkrétně se jedná o mezní stavy únosnosti R, celistvosti E a izolační schopnosti I, popřípadě radiace W. Tyto stavy se považují za splněné, pokud nepřesahují určitá kritéria dle [2] a dalších předpisů. Požárně dělicí funkci konstrukce tvoří kombinace stavů E, I popř. W. Mezní stav celistvosti E nelze spočítat, lze jej pouze prokázat zkouškou přiložením bavlněného polštářku k místům, kde hrozí prošlehnutí plamene. Mezní stav izolační schopnosti I je dán nárůstem průměrné teploty nad počáteční hodnotu o 140 K, či vzrůstem teploty v kterémkoliv místě nad počáteční hodnotu o 180 K. Mezní stav radiace W je limitován hodnotou sálavého tepelného toku 15 kW/m², při které není předpokládáno rozšíření požáru na jiné konstrukce nebo ohrožení unikajících osob [2].

U střešního pláště, který obsahuje výrobky třídy reakce na oheň C až E, je nutné určit, zda jej lze hodnotit jako konstrukční část druhu DP1. Přijatelné řešení je, pokud teplota po dobu požadované požární odolnosti nepřesáhne na rozhraní spodní nehořlavé vrstvy a horní hořlavé vrstvy hodnotu 140 °C. Dále musí střešní plášť jako celek vykazovat klasifikaci B_{ROOF(t3)} [3].

MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ

Stanovení rozložení teploty v konstrukci nebo její části spočívá ve vyřešení úlohy sdílení tepla, jenž je popsáno diferenciální rovnicí vedení tepla a odpovídajícími okrajovými a počátečními podmínkami, které zohledňují sdílení tepla prouděním (přestupem) a radiací [4, 5].

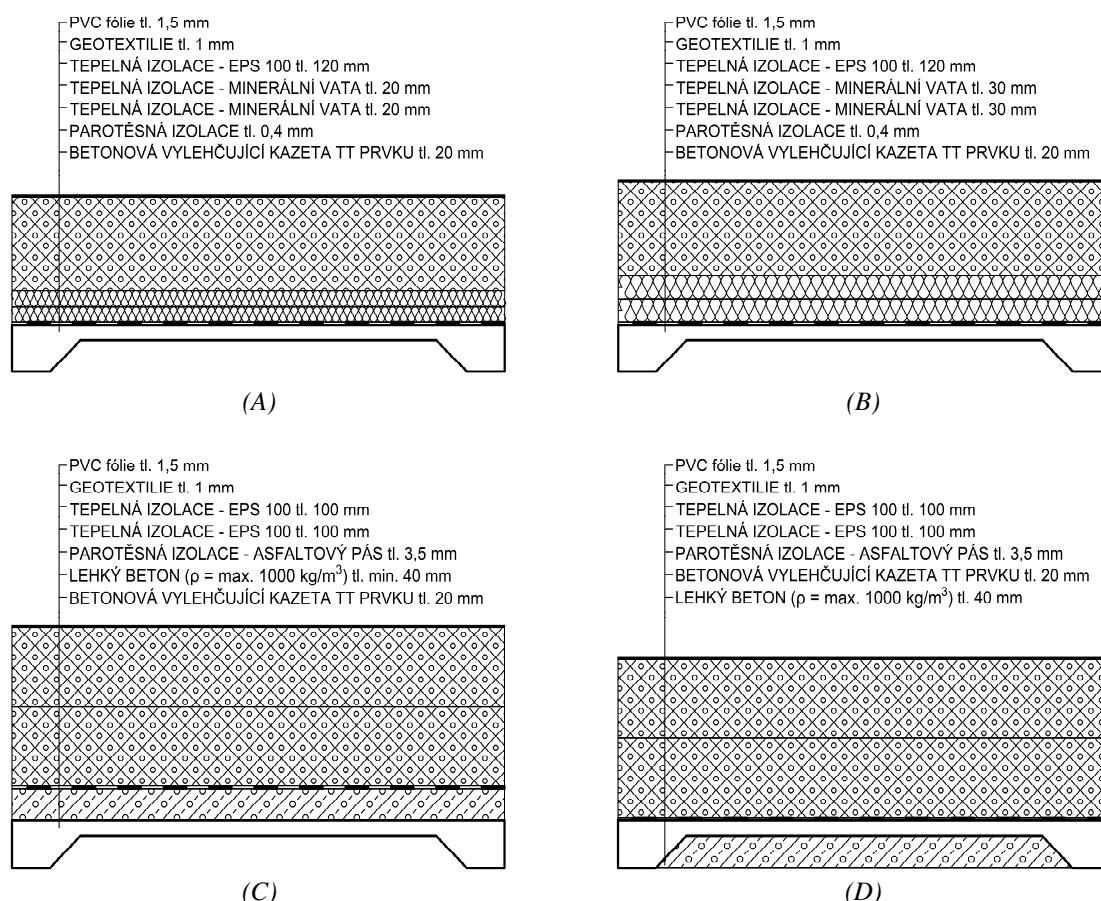
Rovnice jednorozměrného neustáleného vedení tepla vychází z Fourierova zákona a je dána následujícím vztahem,

$$\rho c_p \frac{\partial \theta}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) = Q \text{ pro } x \in \Omega$$

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. Převzato z [4], kap. 1.2.2.

VARIANTY SKLADEB STŘEŠNÍCH PLÁŠŤŮ

Následující varianty skladeb střešních plášťů (obr. 1) jsou zvoleny a navrženy tak, aby pořadí, tloušťka a materiálové provedení jednotlivých vrstev vedlo k dosažení požadované požární odolnosti a zároveň splňovalo ekonomické požadavky (přijatelná cena). Součástí každé skladby je betonová vylehčující kazeta TT PRVKU tl. 20 mm.



Obr. 1 (A) Skladba S1; (B) Skladba S2; (C) Skladba S3; (D) Skladba S4

Fig. 1 (A) Roof cladding S1; (B) Roof cladding S2; (C) Roof cladding S3; (D) Roof cladding S4

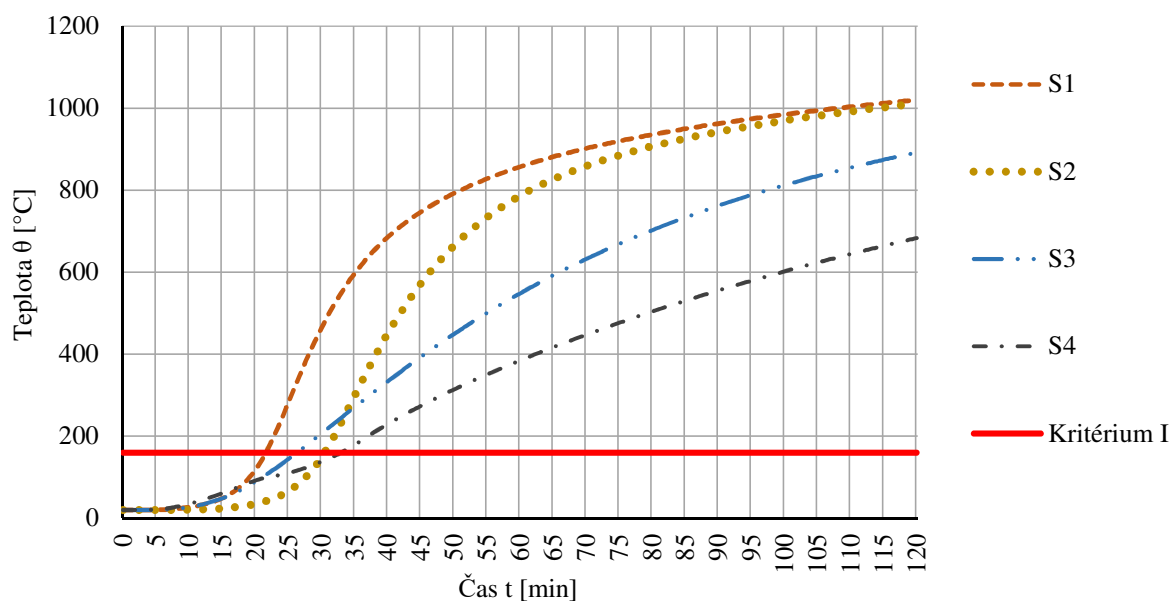
Pro vypovídající výsledky teplotní analýzy je nutné definovat materiálové vlastnosti, tedy objemovou hmotnost ρ , měrnou tepelnou kapacitu c_p a součinitel tepelné vodivosti λ , jednotlivých materiálů.

Materiálové charakteristiky obyčejného betonu a minerální vaty jsou ve výpočtech uvažovány závislé na teplotě, vlastnosti lehkého betonu jsou konzervativně uvažovány konstantní, tedy teplotně nezávislé. Hydroizolační a parotěsné vrstvy jsou ve výpočtech zanedbány.

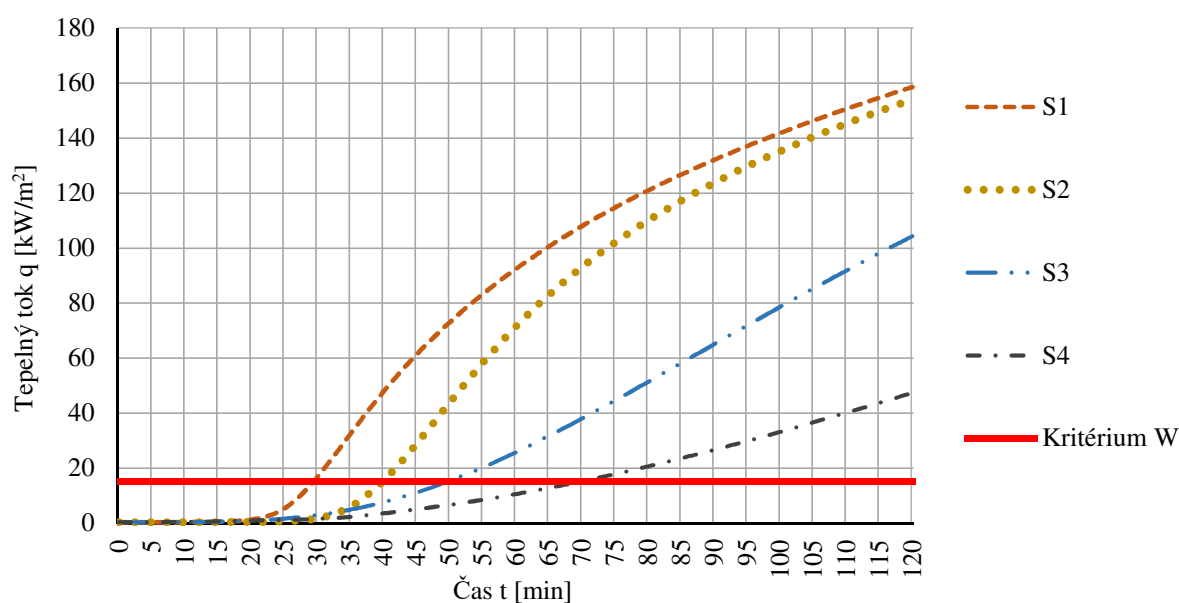
VÝSLEDKY TEPLITNÍ ANALÝZY

Teplotní analýza byla provedena v programu TempAnalysis [6], konkrétně ve verzi, která umožňuje zadání až čtyřech vrstev dané skladby, včetně definování materiálových vlastností jednotlivých materiálů. Návrhový požární scénář je zde popsán normovou teplotní křivkou ISO 834.

Problém sdílení tepla je v programu řešen numericky. Diskretizace podle prostorových proměnných je realizována metodou konečných prvků, časová diskretizace semiimplicitním schématem. Převzato z [5], kap. 3.2.



Obr. 2 Teplotní profily skladeb střešních plášťů
Fig. 2 Temperature profiles of roof cladding compositions



Obr. 3 Tepelné toky skladeb střešních plášťů
Fig. 3 Heat flow of roof cladding compositions

Pro jednotlivé skladby střešních pláštů byly stanoveny teplotní profily a průběhy tepelných toků s porovnáním kritérií mezních stavů I a W. Oblast, kde toto stanovení proběhlo, je u skladeb S1, S3 a S4 v 60 mm od spodního líce kazety, pro skladbu S2 v 80 mm od spodního líce kazety. Ve výpočtech nebyla uvažována tepelná izolace z pěnového polystyrenu EPS, neboť se při vyšší teplotách taví až postupně zcela vymizí. Řešená oblast je tedy vždy na rozhraní vrstev s tepelnou izolací z EPS.

Z grafů uvedených výše (obr. 2, 3) je zřejmé, v jakém čase u dané skladby střešního pláště dojde k porušení mezního stavu I či W. Z hlediska izolační schopnosti a radiace vychází nejlépe skladba S4, která dosáhne kritéria I v 33. minutě, kritéria W v 69. minutě.

EXPERIMENTY

Začátkem května 2019 proběhl malorozměrový požární experiment v Univerzitním centru energeticky efektivních budov (UCEEB) ČVUT v Praze. Předmětem experimentu byla informativní zkouška dvojice betonových vylehčujících kazet se skladbou S1 a S2 (obr. 1). Dále jsou naplánovány dvě zkoušky v akreditované požární zkušebně PAVUS ve Veselí nad Lužnicí, kde budou ozkoušeny prefabrikované předpjaté TT panely včetně skladeb S1 a S2.

Vyhodnocení a porovnání zkoušek s předběžnou teplotní analýzou skladeb střešních pláštů bude provedeno následně v diplomové práci, která navazuje na diplomový seminář, jehož výstupem je tento článek.

ZÁVĚR

V rámci předběžné teplotní analýzy střešních pláštů byly navrženy čtyři skladby za účelem dosažení nejvyšší možné požární odolnosti celé střešní konstrukce tvořené z těchto skladeb a předpjatých prefabrikovaných střešních TT panelů. Vychází se z příslušných technických předpisů, jež udávají kritéria dosažení jednotlivých mezních stavů požární odolnosti. Teplotní analýzou byly stanoveny teplotní profily a průběhy tepelných toků navržených skladeb, které jsou porovnány s konkrétními kritérii daných mezních stavů požární odolnosti.

LITERATURA

- [1] KUPILÍK, V. Posuzování střech z hlediska požární bezpečnosti, příklady nevhodného použití fóliové střešní krytiny. In: *TZB-info* [online]. 14. 12. 2009. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/6122-posuzovani-strech-z-hlediska-pozarni-bezpecnosti-priklady-nevhodne-pouziti-foliove-stresni-krytiny>
- [2] ČSN EN 1363-1. *Zkoušení požární odolnosti - Část 1: Základní požadavky*. Praha: ÚNMZ, 2013.
- [3] ČSN 73 0810. *Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [4] PROCHÁZKA, Jaroslav, Radek ŠTEFAN, Jitka VAŠKOVÁ. *Navrhování betonových a zděných konstrukcí na účinky požáru*. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04613-5.
- [5] WALD, František. *Software ke stanovení požární odolnosti nosných konstrukcí*. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04746-0.
- [6] ŠTEFAN, R., PROCHÁZKA, J. *TempAnalysis - Computer Program for Temperature Analysis of Cross Sections Exposed to Fire* [software online]. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~stefarad/software/ta/ta.cz.html>

TEPLOTNÍ ANALÝZA SVAŘOVANÉHO SPOJE A MONTÁŽNÍ SPÁRY STŘEŠNÍCH PANELŮ

THERMAL ANALYSIS OF WELDED CONNECTION AND ASSEMBLING LINEAR JOINT OF ROOF PANELS

Bc. Václav Kloida

Abstract

This paper is focused on thermal analysis of welded connection and assembling linear joint between two roof panels. A welded connection which provides a horizontal rigidity of roof plane is placed in the joint. A welded steel sheet is concreted in the side face of the panel and subsequently welded through the steel to next sheet side panel. The result of the work is temperature analysis followed by temperature distribution over the cross-section for different time intervals. The results of this work will be applied in larger scape fire experiment in PAVUS, fire testing laboratory in Veselí nad Lužnicí. In the fire furnace the unprotected connection and exposed joint element and the variant where the joint will be isolated with insulating material will be tested to provide fire protection for the steel joint. This experiment will also validate the numerical model and it will be possible to reduce the properties of the materials for subsequent mechanical analysis.

Key words: linear joint seal; welded joint; thermal analysis; numerical model; precast concrete construction

ÚVOD

Z hlediska stavebních konstrukcí se za požární situace posuzuje celá řada mezních stavů. Posouzení je možné provádět buď zkouškou v požární zkušebně, výpočtem podle příslušné normy nebo porovnáním výsledků s již předchozími experimenty. Cílem práce je vytvoření numerického modelu konstrukce, která bude následně zkoušena v požární zkušebně při požárním experimentu. Práce je zaměřena na teplotní analýzu, při které bude počítačová simulace porovnána s výsledky požární zkoušky reálné konstrukce. Tato teplotní analýza bude sloužit jako podklad pro následnou mechanickou analýzu konstrukce při požární situaci.

MONTÁŽNÍ SPÁRY MEZI KONSTRUKČNÍMI PRVKY

Mezi prefabrikovanými prvky musí z výrobních a montážních důvodů vzniknout volné spáry, které se tak z pohledu požární bezpečnosti staveb mohou stát nejslabšími články celé konstrukce. Spára je dle [1] definována jako lineární prázdný prostor s poměrem délky k šířce nejméně 10:1 mezi dvěma nebo více konstrukčními prvky. Na spáru se má podle [2] pohlížet stejně jako na prázdný prostor, pokud není vyplněna výplňovým materiálem. Jako výplňové materiály se používají nejčastěji zálivky nebo některé ze systémových řešení na bázi tmelů. Pokud nejsou na konstrukci kladeny požadavky na požárně dělící funkci, může být spára volná. Ve spáře může být umístěn spoj nebo styk konstrukčních prvků. Pokud jsou však na spáry kladeny požadavky požární odolnosti, musí být shodná s požadovanou dobou požární odolnosti konstrukce, v níž se vyskytuje. Jestliže se jedná o obvodovou stěnu pod terénem, není potřeba těsnění spáry posuzovat. Spáry je nutné zřetelně označit identifikačním štítkem s informacemi o požární odolnosti, druhu nebo typu ucpávky, firmě, adrese, jméně zhotovitele a označení systému výroby. V takovém případě se pak jedná o těsnění spáry, které se zkouší podle [1].

U spáry se hodnotí podle [3], článku 6.3.1:

- a) požární odolnost EI, jsou-li těsněny spáry v požárně dělících konstrukcích EI, nebo
- b) požární odolnost E, jsou-li těsněny spáry v požárně dělících konstrukcích EW nebo E.

Dle [4] se spáry dělí na horizontální a vertikální. Značení spár je patrné z tabulky 1.

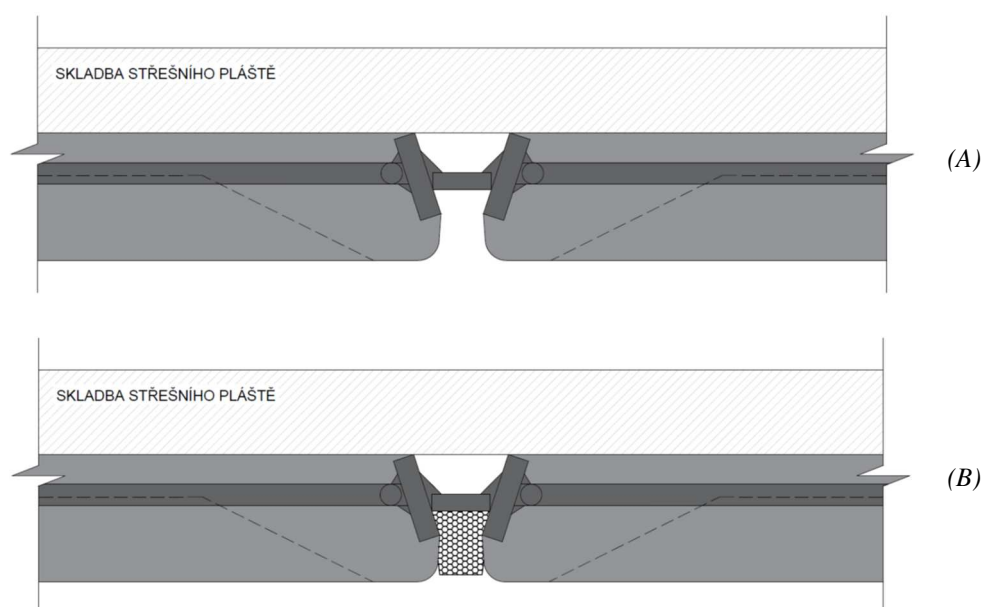
Tab. 1 – Klasifikace pro těsnění spáry [4]

Tab. 1 – Linear joint seal classification [4]

Zkušební podmínky	Označení
Orientace vzorku - vodorovná podpěrná konstrukce - svislá podpěrná konstrukce – svislá spára - svislá podpěrná konstrukce – vodorovná spára	H V T
Schopnost pohybu - bez pohybu - vyvození pohybu (v %)	X M000
Typ spojů - průmyslové vyráběný - tvořený na místě - oba případy	M F B
Rozsah šířky spáry (v mm)	W w1 až w2 ¹⁾
¹⁾ w1 je nižší mezní šířka a w2 je vyšší mezní šířka	

POŽÁRNÍ EXPERIMENT

V červenci 2019 se uskuteční požární experiment v akreditované požární zkušebně PAVUS ve Veselí nad Lužnicí, kde budou v požární peci pro zkoušení vodorovných konstrukcí zkoušeny prefabrikované střešní panely. Jelikož se jedná o prefabrikáty, je vodorovná tuhost střešní desky zajištěna pomocí svařeného ocelového spoje, který je přímo vystaven požáru. Zkušební vzorek se bude skládat ze dvou střešních panelů, které budou speciálně upraveny tak, aby se daly osadit na pec, která má světlý rozměr 4000 × 3500 mm. Tyto dva panely budou mezi sebou propojeny ve dvou místech a budou tak simulovat reálnou situaci na stavbě. Spára má šířku 20 mm a délku 3500 mm. Ocelové spoje jsou mezi sebou vzdáleny 2400 mm. Jeden spoj bude ponechán volný a druhý bude lokálně zaizolován tepelnou izolací na bázi minerální vlny tloušťky 30 mm. V obou těchto případech budou na této ocelové konstrukci umístěny termočlánky a výsledky budou porovnány s numerickým modelem. Spodní strana vzorku bude zatížena požárem podle normové teplotní křivky ISO 834.



Obr. 1 (A) Volná montážní spára; (B) Izolovaná montážní spára
Fig. 1 (A) Empty assembling linear joint; (B) Isolated assembling linear joint

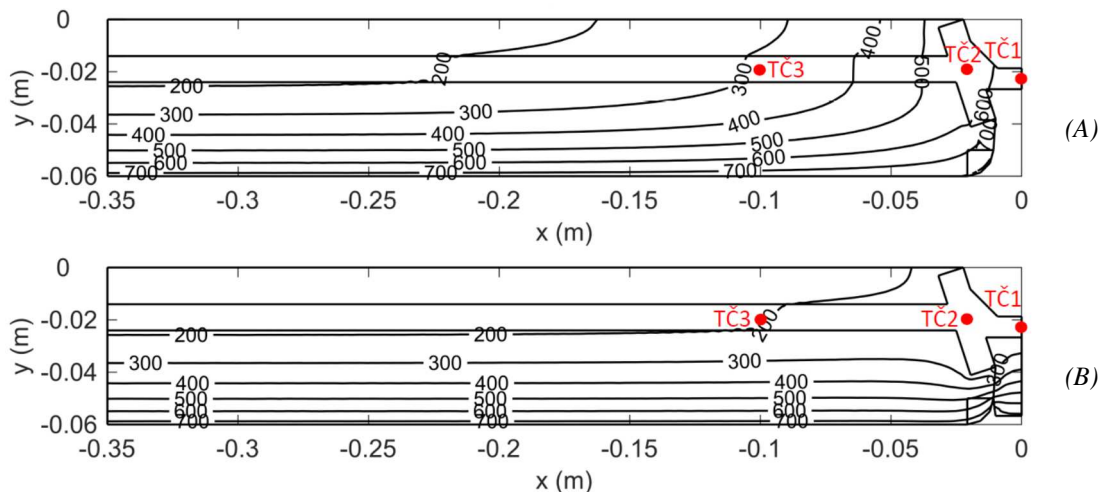
NUMERICKÝ MODEL

Cílem numerického modelu je stanovit rozložení teploty po průřezu části konstrukce a vývoj teploty v čase. A to jak pro variantu bez izolace, tak pro variantu, ve které je prvek chráněn izolací. Numerický model byl vytvořen v programu TempAnalysis [5], který pro výpočet využívá řešení parciální diferenciální rovnice pro nestacionární vedení tepla ve dvou dimenzích (rovnice 1) pomocí metody konečných prvků (MKP/FEM).

$$Q = \rho c \frac{\partial \theta}{\partial t} - \nabla \cdot (\lambda \nabla \theta) \quad (1)$$

Oblast výseku spáry byla diskretizována na síť konečných prvků s velikostí prvku 5 mm a počtem prvků 2860 prvků pro variantu bez izolace a 2754 prvků pro variantu s tepelnou izolací. V modelu byly umístěny termočlánky pro měření teploty do středu vodorovného plechu (TČ1), do středu šikmého plechu (TČ2) a do osy betonářské výztuže ve vzdálenosti 100 mm od osy (TČ3).

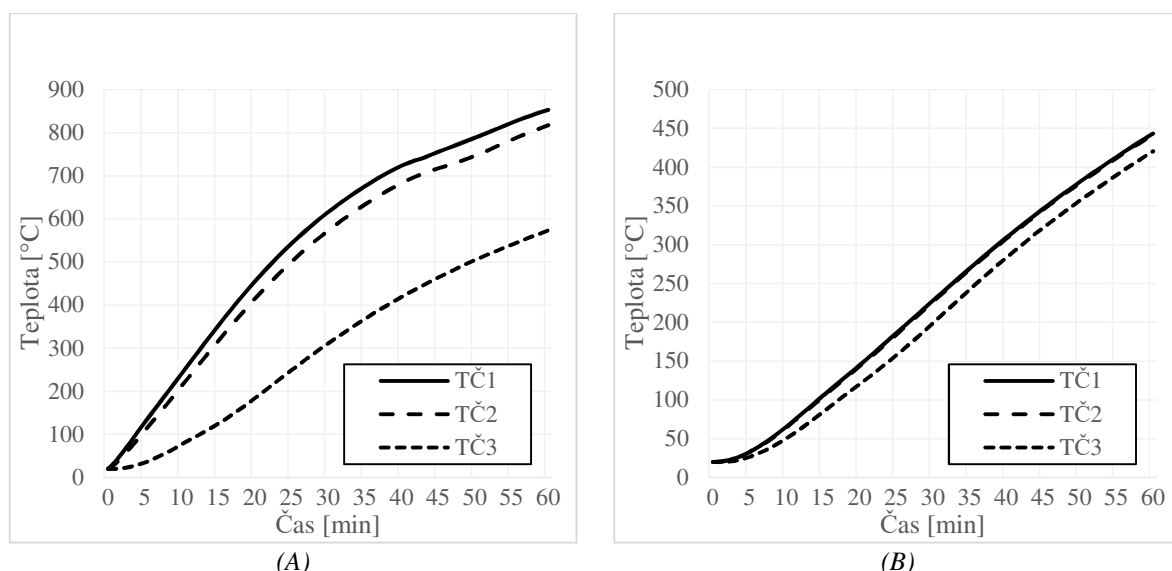
Nelineární materiálové charakteristiky $\rho(\theta)$, $c_{p(\theta)}$ a $\lambda(\theta)$ za zvýšených teplot jsou uvažovány podle příslušných Eurokódů.



Obr. 2 (A) Teplotní profil 30 min – neizolováno; (B) Teplotní profil 30 min – izolováno
Fig. 2 (A) Temperature profile 30 min – unprotected; (B) Temperature profile 30 min – isolated

MODEL POŽÁRU

Na straně exponovaného povrchu je teplotní zatížení v souladu s [6], kapitoly 3 a je dáno čistým tepelným tokem \dot{h}_{net} , to znamená s uvažováním přenosu tepla složkou od proudění, tak složkou od radiace. Součinitel přestupu prouděním je uvažován pro ISO 834 $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$. Teplota plynu v blízkosti povrchu vystaveného požáru je dána normovou teplotní křivkou.



Obr. 3 (A) Průběh teploty v neizolované konstrukci; (B) Průběh teploty v izolované konstrukci
 Fig. 3 (A) Temperature development in unprotected construction; (B) Temperature development in isolated construction

ZÁVĚR

Cílem vytvoření numerického modelu bylo stanovení teplot, které lze předpokládat v konstrukci během požárního experimentu na skutečné konstrukci. Numerický model je tímto připraven k validaci a v případě shodných výsledků bude možno ověřovat variabilní řešení konstrukce, aniž by bylo potřeba provádět nákladné požární zkoušky. Validovaný numerický model pro teplotní analýzu bude sloužit jako základ pro vytvoření modelu pro analýzu mechanickou. V případě, že by ocelový plech zůstal nechráněný, bylo by potřeba po třiceti minutách požáru redukovat účinnou mez kluzu redukčním součinitelem $k_{y\theta} = 0,4$ a modul pružnosti redukčním součinitelem $k_{E\theta} = 0,26$. Pokud by byl spoj izolován, mez kluzu by se redukovat nemusela a modul pružnosti hodnotou $k_{E\theta} = 0,87$. Redukce pevnosti betonářské výztuže je téměř zanedbatelná.

LITERATURA

- [1] EN 1366-4+A1. *Zkoušení požární odolnosti provozních instalací – Část 4: Těsnění spár*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [2] GUSTAFERRO, A. H. a Leslie D. MARTIN. *Design for fire resistance of precast prestressed concrete*. 2nd ed. Chicago, Ill.: Prestressed Concrete Institute, 1989. ISBN 0-937040-41-X
- [3] ČSN 73 0810. *Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [4] ČSN EN 13501-2. *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 2: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti kromě vzduchotechnických zařízení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [5] ŠTEFAN R., PROCHÁZKA J. *TempAnalysis – Computer Program for Temperature Analysis of Cross Sections Exposed to Fire* [software online]. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/www/stefarad/software/ta/ta.cz.html>
- [6] ČSN EN 1991-1-2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*. Praha: Český normalizační institut, 2004.

ANALÝZA ROZMĚRŮ PLAMENE PŘI POSOUZENÍ ODSUPOVÝCH VZDÁLENOSTÍ

ANALYSIS OF FLAME DIMENSIONS IN ASSESSING SEPARATING DISTANCES

Bc. Tomáš Bůžek

Abstract

The seminar work deals with the issue of flame height of flame ejected from opening of a fire compartment. The aim of the thesis is to analyse the influence of the window size on the flame height of flame ejected from opening of a fire compartment. The theoretical part deals with the issue of determination of separating distances in general from building structures in general. The practical part of the diploma seminar deals with the numerical calculation of the flame height from window of fire compartment with subsequent visual evaluation. The conclusion of the thesis evaluates the acquired knowledge and solves their application in fire safety of buildings.

Key words: flame ejection; compartment fire; separating distance; opening; flame height; facade

ÚVOD

Jedním z hlavních úkolů požární bezpečnosti je ochrana okolních i řešeného objektu z hlediska přenesení požáru. Z legislativních požadavků jsou v České republice stanoveny odstupové vzdálenosti od různě velkých požárně otevřených ploch. Tento článek se zabývá analýzou odstupových vzdáleností a zejména problematikou vyšlehávání plamene z okna hořícího prostoru. Je porovnán výpočet zjednodušenou metodou a následně matematický model a dále je porovnán výsledný odstup v řezu. Odstup v řezu je následně graficky porovnán s normovým přístupem.

ODSTUPOVÉ VZDÁLENOSTI

Odstupovou vzdálenost si lze představit jako prostor, ve kterém nehrozí přenos požáru na sousední objekt či požární úsek. Jedná se o vzdálenost, na jejíž hranici je intenzita tepelného toku taková, že nemůže dojít ke vznícení hořlavých hmot [1]. V legislativě je tato kritická hodnota stanovena hodnotou 18,5 kW/m². Nalezením hraniční kritické hodnoty vznikne odstupová vzdálenost v kolmém směru k požárně otevřené ploše (rovinně sálání tepla) [2]. Hodnota byla stanovena na základě experimentů vlivu sálavého tepla na dřevěné konstrukce. Výsledkem experimentu bylo zjištění, že při dlouhodobějšímu působení sálavého tepla dochází k rozkladu dřeva a uvolňování plynů. V době působení tepelného toku 18,5 kW/m² přibližně 20 minut nenastane samovznícení plynů [1, 3].

URČOVÁNÍ ODSUPOVÉ VZDÁLENOSTI

Základní rozlišení při určování odstupových vzdáleností rozlišuje zcela požárně otevřené plochy a částečně požárně otevřené plochy. Jako zcela požárně otevřené plochy se rozumí (okna, prosklené stěny, volné otvory zcela bez výplně, otvory s žaluziemi apod.). Částečně otevřená požární plocha je definována jako plocha v obvodové stěně nebo její části, kde hodnota hustoty tepelného toku od požáru v rovinně vnějšího líce $15 < I \leq 60$ kW/m² v požadované době požární odolnosti [4].

Hodnotu odstupové vzdálenosti lze získat z normové tabulky dle velikosti otvoru a požárního zatížení, či řešit podrobným výpočtem. Při kterém se používá méně konzervativní vztah pro stanovení hustoty tepelného toku a oproti normovému postupu je podrobně spočítán polohový faktor. Další z možností je využití matematických modelů, které fungují na principu Navier-Stokesových rovnic pohybu tekutin.

Zásadní rozdíl ve výpočtech odstupových vzdáleností představuje porovnání s reálnou situací požáru. Při normovém výpočtu odstupové vzdálenosti se předpokládá, že hustota tepelného toku v ploše požárně otevřené plochy je stejná [5].

APLIKACE ZÍSKANÝCH POZNATKŮ

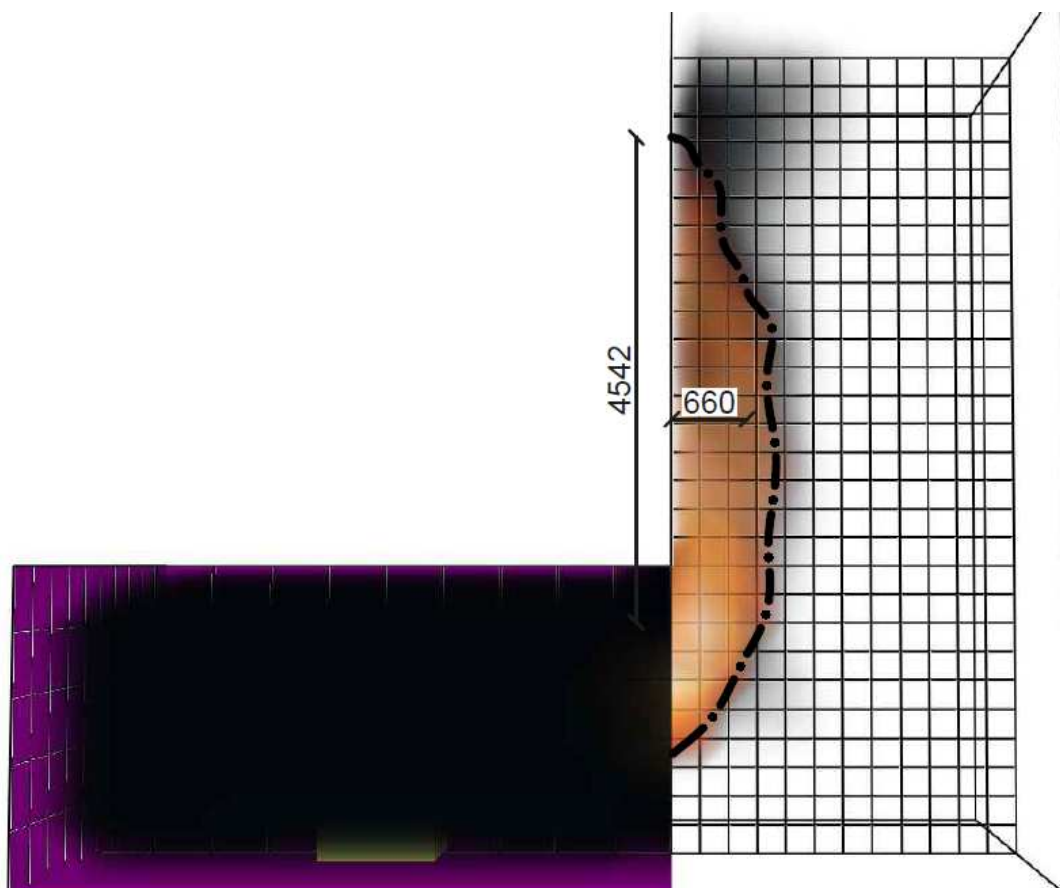
V této kapitole se seznámíme s výsledky a odlišnostmi při podrobném a zjednodušeném výpočtu. Je posouzen postup výpočtu výšky vyšlehávajících plamenů z okna hořící místnosti postupem dle Eurokódu s výsledky z matematického CFD modelu. Normový výpočet je proveden pomocí výpočetního makra v programu MS Excel. V simulaci v matematickém modelu jsou při účincích požáru vykresleny velikosti vyšlehávajícího plamene.

Pro výpočty byl vytvořen vnitřní prostor o půdorysných rozměrech 5 x 5 m s výškou stropu 2,5 m. S otvorem v jedné stěně o velikosti 2 x 1 m a výškou parapetu 1 m. Obvodové stěny jsou z železobetonu.

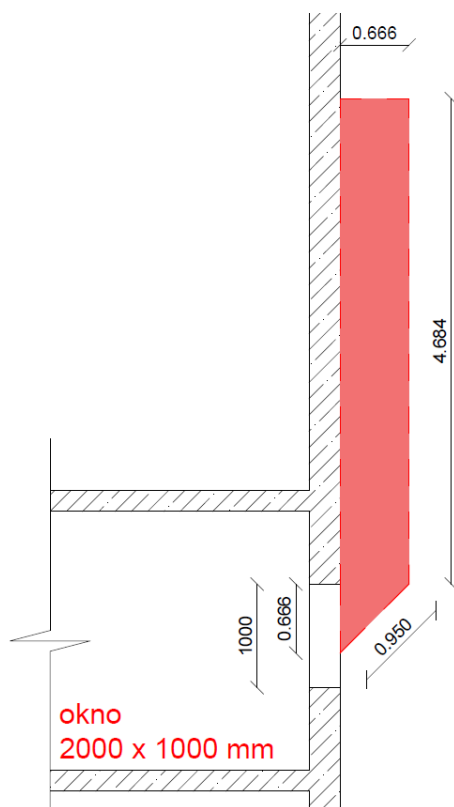
Normový výpočet byl proveden na základě vzorců z Eurokódu a následné vykreslení výšky vyšlehávajícího plamene bylo vykresleno dle schémat z Eurokódu. Počáteční teplota byla uvažována 20 °C a hustota vzduchu v hořícím prostoru je proměnlivá dle teploty v hořícím prostoru [6].

Matematický CFD model byl vytvořen v textovém editoru a následně programem FDS verze 6.7.0 vypočten. Vizualizace výsledků je provedena v programu Smokeview. Hodnota rychlosti uvolňování tepla je stanovena dle programu FMC (program pana Ing. Radka Štefana, Ph.D.) a jedná se tedy o hodnotu, při které v řešeném prostoru vznikne flashover, tedy prostorové vzplanutí [7]. Obalová konstrukce jsou uvažovány jako betonové, nad otvorem je uvažována fasáda z betonu a zbylé hranice výpočetní sítě, kde dochází k vyšlehávání plamene, jsou uvažovány jako otevřené prostředí.

V matematickém modelu byly vykresleny výšky vyšlehávajících plamenů a porovnány s vypočtenými výškami dle normového výpočtu.

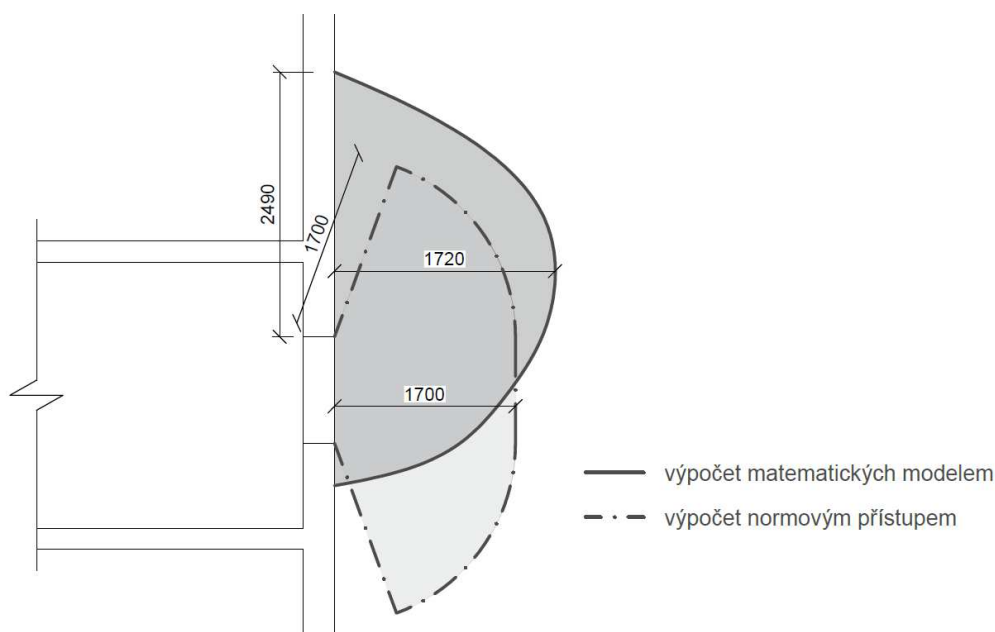


Obr. 1 Grafický výsledek matematického modelu
 Fig. 1 Graphical result of calculation with mathematical model



Obr. 2 Grafický výsledek výpočtu normovým postupem
 Fig. 2 Graphical result of calculation by standard procedure

Dle grafických výsledků je zřejmé, že výpočet normovým postupem a pomocí matematického je v podstatě totožný v případě půdorysného promítání kritické hodnoty hustoty tepelného toku $18,5 \text{ kW/m}^2$. Další část sledovaných výsledků byla hustota tepelného toku v řezu, byla vykreslena normová kritická hranice tepelného toku, tedy hodnota $18,5 \text{ kW/m}^2$. Bylo zjištěno, že se tvar i velikosti odstupových vzdáleností liší.



Obr. 3 Grafické znázornění kritické hodnoty hustoty tepelného toku

Fig. 3 Graphic comparison of critical value of heat flux density

Dle obrázku je zřejmé, že ve spodní části je normový výpočet konzervativní, avšak v horní části se jednotlivé odstupové vzdálenosti odlišují.

ZÁVĚR

Výška vyšlehávajících plamenů z okna hořícího prostoru je velice dobře zpracovaná dle Eurokódu, dle matematického modelu jsem se dostal na téměř totožné výsledky. Avšak v případě výpočtu zjednodušenou metodou dle Eurokódu lze metodu použít pouze v případech kdy je požární zatížení $q_{f,d}$ vyšší než 200 MJ/m^2 . Z hlediska odstupových vzdáleností v řezu se výsledné tvary i velikosti liší. Normové řešení dostatečně neuvažuje s vyšleháváním plamene z okna hořícího prostoru. Dle matematického modelu se kritická hodnota hustoty tepelného toku nachází přibližně 90 cm nad hranicí kritické hodnoty hustoty tepelného toku dle normového přístupu.

LITERATURA

- [1] REICHEL, Vladimír. Zbraňujeme škodám. Navrhování požární bezpečnosti staveb. Svazek 16: Česká státní pojišťovna, 1979.
- [2] ČSN 73 0802 – Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty. Praha: ÚNMZ, 05/2009 + Z1 (02/2013) + Z2 (07/2015).
- [3] PELC, František. Požární bezpečnost staveb. Výpočet odstupových vzdáleností pro kritickou hustotu tepelného toku 18.5 kW/m^2 . [Online] <http://www.pelcfrantisek.cz/vyp/odstup18-kon.php>.
- [4] POKORNÝ, Marek a Petr HEJTMÁNEK. *Požární bezpečnost staveb: sylabus pro praktickou výuku*. 2. přepracované vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2018. ISBN 978-80-01-06394-1.
- [5] KUČERA, Petr. *Požární inženýrství: dynamika požáru*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2009. ISBN 978-80-7385-074-6.
- [6] ČSN EN 1991-1-2. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-2: Obecná zatížení - Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru. Praha: ÚNMZ, 2013, 56 s. Třídící znak 730035.
- [7] QUINTIERE, J.G. A B.J. MCCAFFREY, *The burning of wood and plastic cribs in an enclosure: Vol. 1*. National Bureau of Standard, U.S., 80-2054, 1980.

NUMERICKÉ SIMULACE POŽÁRU – ANALÝZA RŮZNÝCH VÝPOČETNÍCH MODELŮ POŽÁRU

NUMERICAL FIRE SIMULATIONS – ANALYSIS OF DIFFERENT FIRE SCENARIOS

Bc. Šárka Košťálová

Abstract

This paper deals with distinction between fuel-controlled fire and ventilation-controlled fire. The distinction has been analysed for two different types of mathematical fire models – parametric curve and two-zone model based program CFAST. In the first part of the paper theoretical basis about fuel-controlled and ventilation-controlled fire theory are stated. In the practical part of the paper a sensitivity analysis for the determination of burning regime is made for parametric curve and two-zone model. The results are compared to assess a difference of these fire models

Key words: enclosure fire; burning regime; ventilation; ventilation-controlled; fuel-controlled

ÚVOD

Požární inženýrství je rychle se rozvíjející obor, který si klade za cíl porozumění základních jevů probíhajících při požáru. Obor se zabývá podrobným hodnocením vzniku a následného rozvoje požáru, tvorbou a šířením kouře a zplodin hoření, tedy idealizací rozvoje skutečného požáru, ke kterému by mohlo v daném prostoru dojít.

Matematickým modelováním požáru lze vyčíslit a definovat parametry potřebné pro návrh požární bezpečnosti – a to návrhovým požárem. Pro správné určení matematického modelu požáru, jeho tvorby a rozvoje je proto zásadní určit faktory, které na tento požár mají vliv a definovat jakým způsobem je požár ovlivňován. Ze zkušeností a vědeckých poznatků víme, že požár je ovlivňován především geometrií prostoru, ventilací, a tedy množstvím dostupného kyslíku, typem, množstvím a rozmístěním paliva, typem a vlastnostmi ohraničujících konstrukcí, avšak záleží také na velikosti a poloze zápalného zdroje. Všechny tyto faktory jsou v současné době předmětem vědeckého bádání, jehož záměrem je lepší předpověď případného požáru.

Tato práce si klade za cíl definovat vliv ventilace na velikost a rozvoj požáru v používaných požárních modelech, jakou hraje roli při vzniku flashover efektu a jaký má dopad na režim hoření.

REŽIMY HOŘENÍ

První studie a odvození závislosti rychlosti odhořívání paliva na velikosti ventilačního otvoru byly založeny na empirických vztazích, následující výzkumy tuto závislost prokázaly také pomocí analýzy toku plynů otvorem z a do hořícího prostoru. Oba přístupy, jak analýza toku plynů pomocí Bernoulliho rovnice, tak empirické vztahy přišly ke stejnému vztahu, a to [1]:

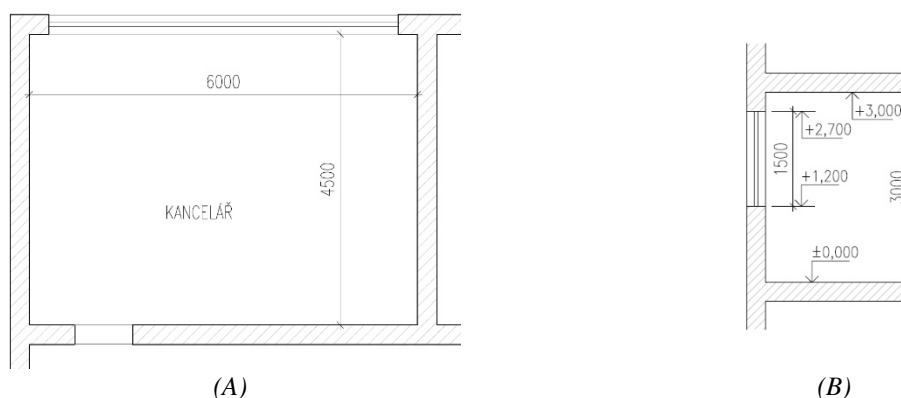
$$\dot{m} = 5.5 \cdot A_W \cdot \sqrt{H} \text{ [kg/min]} = 0.09 \cdot A_W \cdot \sqrt{H} \text{ [kg/s]}$$

kde \dot{m} je rychlost ohořívání, $A_W \cdot \sqrt{H}$ je ventilační faktor, A_W je plocha otvoru a H_0 je jeho výška. V následujících výzkumech bylo zjištěno, že korelace je platná pouze při jistých mezích velikosti ventilačního otvoru. Mezi rychlostí odhořívání paliva a velikostí ventilačního faktoru platí lineární závislost. Při zvýšení ventilačního faktoru tedy dochází k rovnocennému zvýšení rychlosti odhořívání paliva. Tato závislost je však platná pouze do určité hranice, kdy rychlost odhořívání přestane být závislá na velikosti ventilačního otvoru. Vyplyvající z této závislosti byly definovány 2 různé režimy hoření – režim I, tedy požár řízený ventilací a režim II, tedy požár řízený palivem [1].

ANALÝZA VLIVU VENTILACE NA REŽIM HOŘENÍ

Byla provedena citlivostní analýza, ve které byl zkoumán přechod mezi požárem řízeným palivem, tedy za přístupu dostatečného množství kyslíku a požárem řízeným ventilací, tedy při omezeném přístupu kyslíku. Tento jev byl zkoumán a porovnáván pro parametrickou teplotní křivku dle Eurokódu [2] a zónový model požáru simulován v programu CFAST.

Byl definován prostor o rozměrech $6,0 \times 4,5$ m a světlé výšce 3,0 m, jehož využití je kancelář (obr. 1). Materiál okolních konstrukcí (podlaha, strop a stěny) byl uvažován jako obyčejný beton, jehož materiálové vlastnosti jsou v rámci zjednodušení uvažovány konstantní, tedy nezávislé na zvyšující se teplotě.

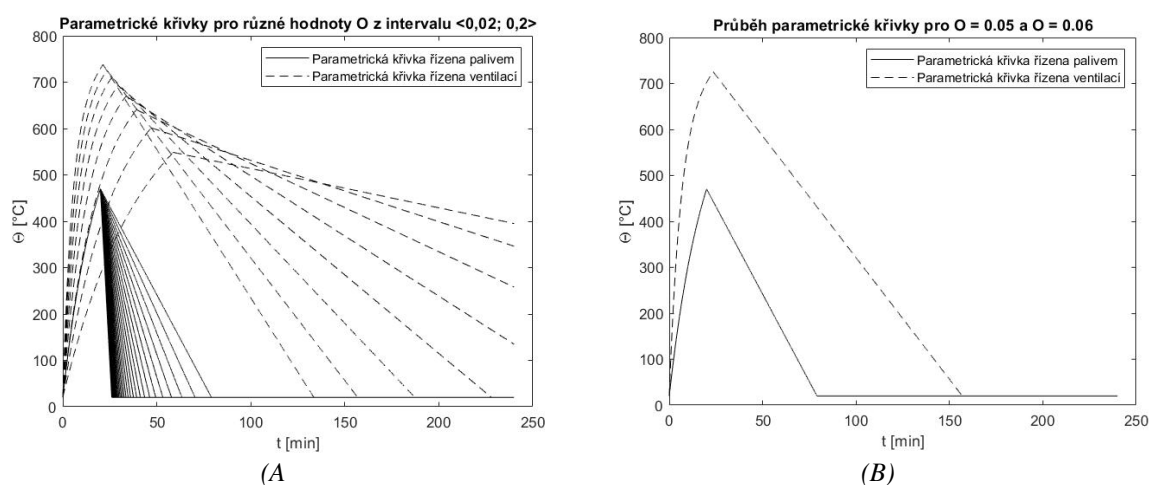


Obr. 1 (A) Půdorys analyzovaného prostoru; (B) Řez analyzovaného prostoru
Fig. 1 (A) A floor plan of analysed room; (B) A cross-section of analysed room

Parametrická křivka

Pro účely analýzy byla naprogramována parametrická křivka dle Eurokódu [2] v matematickém softwaru MatLab. Veškeré vstupní hodnoty, tedy geometrie prostoru, stejně jako materiálové charakteristiky byly zachovány konstantní, přičemž byla měněna hodnota faktoru otvorů O .

Výška okenního otvoru byla uvažována konstantní a byla měněna pouze jeho šířka, respektive jeho plocha. Pro výpočet byla využita hustota požárního zatížení z tab. E.4 [2] pro účel využití kanceláře, kde $q_{fk} = 511 \text{ MJ/m}^2$ a je uvažována střední rychlost rozvoje požáru, tedy $t = 20 \text{ min}$.



Obr. 2 (A) Parametrické křivky $O = \langle 0,02; 0,2 \rangle$; (B) Křivky na rozmezí režimů hoření
Fig. 2 (A) Parametric curves for $O = \langle 0,02; 0,2 \rangle$; (B) Curves on the turn of burning regimes

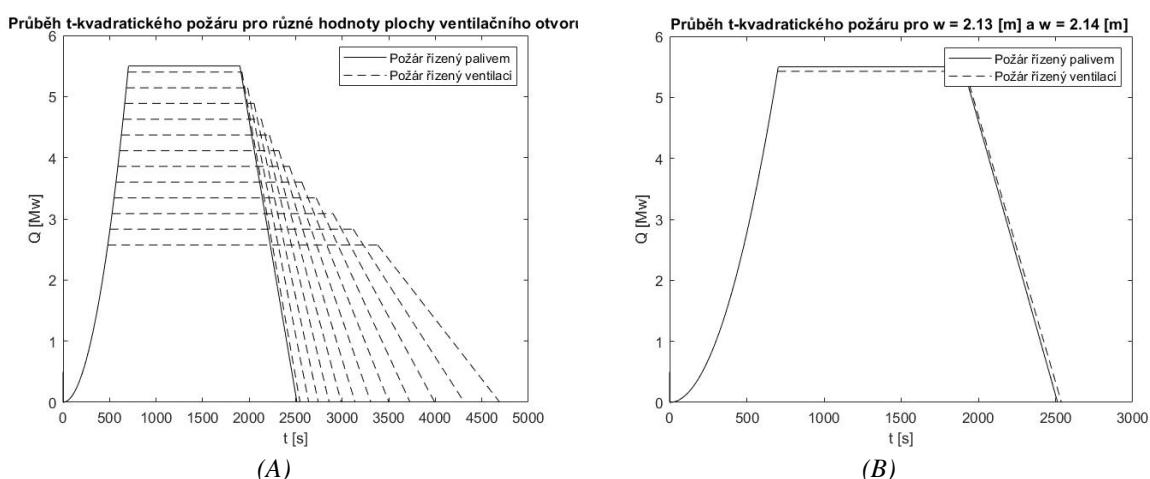
V obr. 2A jsou vykresleny průběhy křivek pro různé hodnoty faktoru otvorů. Přerušovaně jsou vykresleny ty křivky, u nichž je požár řízen palivem, plnou čarou ty, kde je modelovaný požár řízen ventilací.

Dále byly definovány dvě hraniční hodnoty faktoru otvorů. První hodnota faktoru $O = 0,05$, pro kterou je požár řízen ventilací a velikost požáru je tedy závislá na množství přístupného kyslíku. Druhá hodnota faktoru otvorů $O = 0,06$, je ta, kdy je již požár řízen palivem, tedy rozměr okna je natolik velký, aby měl probíhající požár dostatečné množství přístupného kyslíku. Konkrétní výsledky pro hraniční hodnoty faktoru otvorů jsou porovnány na obr. 2B.

Zónový model v programu CFAST

Palivo bylo modelováno 2. typem, tedy t-kvadratickou křivkou rychlosti uvolňování tepla (HRR) podle [2], která byla pro tyto účely naprogramována v matematickém software MatLab. Byl zvolen stejný postup analýzy jako u přechozího modelu parametrické křivky, tedy byla měněna šířka okna při zachování všech ostatních vstupních parametrů konstantních. Byly analyzovány šířky okna z intervalu $\langle 1; 2,5 \rangle$ m.

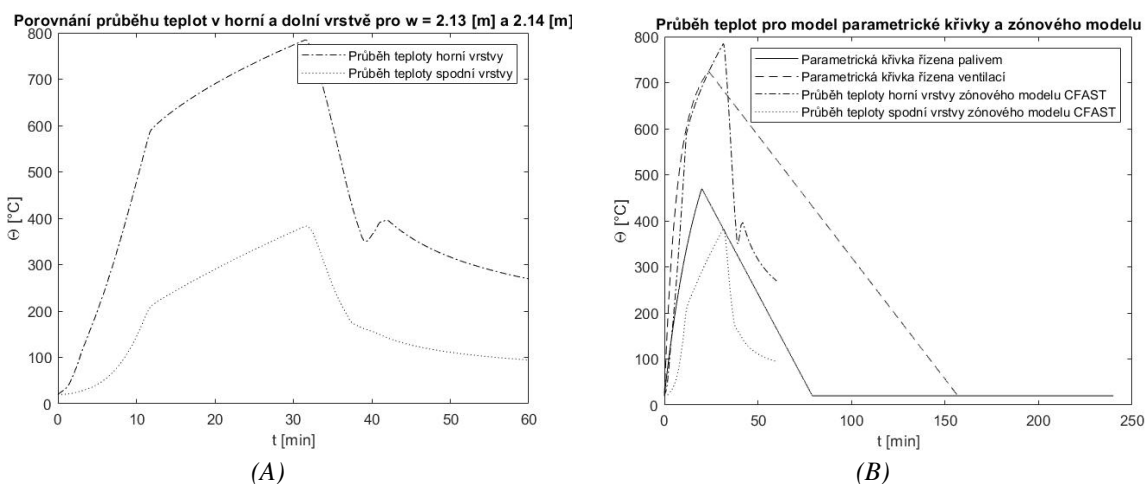
Následně byly určeny konkrétní průběhy t-kvadratického požáru, které se nacházejí na přechodu režimů hoření. Pro tyto křivky byly také definovány konkrétní šířky ventilačního otvoru, pro které tyto průběhy platí. Pro šířku otvoru $w = 2,13$ m je požár řízen ventilací a jeho maximální hodnota rychlosti uvolňování tepla je tak mírně omezena. Pro šířku $w = 2,14$ m má požár dostatečný přístup kyslíku a jeho konstantní část křivky HRR je rovna maximální hodnotě HRR.



Obr. 3 (A) T-kvadratické křivky pro $w = \langle 1; 2,5 \rangle$ m ; (B) Křivky na rozmezí režimů hoření
Fig. 3 (A) T-quadratic curves for $w = \langle 1; 2,5 \rangle$ m; (B) Curves on the turn of burning regimes

Z obr. 3B je patrné, že rozdíl mezi průběhy hraničních křivek není výrazný (konstantní části grafu se od sebe vzájemně liší o cca 0,03 %). Z toho důvodu byl v software CFAST následně modelován pouze průběh t-kvadratického požáru řízeného palivem, který slouží jako vstupní hodnota pro definici požáru. Výsledné hodnoty průběhu teplot jsou znázorněny v obr. 4A.

Porovnání průběhu teplot na hranici režimů hoření pro parametrickou křivku a zónový model z programu CFAST jsou vykresleny v obr. 4B .



Obr. 4 (A) Průběh teplot na rozmezí režimů hoření pro zónový model; (B) Porovnání průběhů teplot na rozmezí režimů hoření pro parametrickou křivku a zónový model

Fig. 4 (A) Time-temperature curves at the turn of burning regimes for zone model; (B) Comparison of time-temperature curves for parametric curve and zone model at the turn of burning regimes

ZÁVĚR

Zvolení a použití správného modelu požáru je rozhodující při posuzování požární odolnosti stavebních konstrukcí při požáru. Ventilace má jeden z nejvýznamnějších účinků na požár a jeho následné modelování. Pro zvolení vhodného matematického modelu je proto nutné co nejhlubší poznání a definování tohoto vlivu. Důležitým faktorem je také uvažování otevřenosti otvoru, tedy zdali je uvažováno s trvale otevřeným ventilačním otvorem či zdali je zohledněn vliv zasklení a jeho vysypání v konkrétním čase při konkrétní teplotě, a definice jeho rozsahu.

Tato práce analyzovala vliv ventilace na velikost a rozvoj požáru v používaných požárních modelech a jaký má dopad na režim hoření.

Byla provedena citlivostní analýza hranice režimů hoření pro dva modely požáru – pro parametrickou křivku podle Eurokódu ČSN EN 1991-1-2 a zónový model v matematickém software CFAST. V následném porovnání průběhů teplot na hranici režimů hoření pro dva různé matematické modely požáru je patrný značný rozdíl. Pro model parametrické křivky je rozdíl teplot pro křivky ležící přímo na hranici režimů hoření výrazný. Maximální hodnoty teploty se liší o ~ 250 °C. Oproti tomu pro zónový model je tento rozdíl teplot pro hraniční křivky zanedbatelný. Tyto rozdíly mezi modely mohou být zapříčiněny koncepční odlišností těchto modelů, v případě parametrické teplotní křivky může jít také o starší princip modelu, který byl od jeho vzniku v 70. letech podrobněji analyzován a rozvinut v dnešní zónové modely.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory grantu SGS19/034/OHK1/1T/11.

LITERATURA

- [1] KARLSSON, B. a QUINTIERE, J. G. *Enclosure Fire Dynamics*. College Park, Maryland, USA: CRC Press LLC, 2000. ISBN 978-048-49313-00-4.
- [2] EN 1991-1-2. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire. CEN, 2002.

NUMERICKÉ MODELOVÁNÍ ŠÍŘENÍ VNĚJŠÍHO POŽÁRU S OHLEDEM NA SKLADBU KONSTRUKCÍ STŘEŠNÍCH PLÁŠŤŮ

NUMERICAL MODELLING OF EXTERNAL FIRE SPREAD WITH REGARD TO THE COMPOSITION OF ROOF STRUCTURES

Bc. Alžběta Gaudynová

Abstract

This work is focused on classification of roof structures and its deck from the point of view of fire code requirements. The first part of this work analyses the issue of fire resistance and the behaviour of roofs when exposed to external fire. The standard test for classification $B_{ROOF}(t_3)$ of external fire resistance is discussed in detail. The second part of the thesis focuses on the creation of a test situation model in the FDS program.

Key words: fire modelling; fire spread; numerical model; roof

ÚVOD

Střešní konstrukce má na budově velmi významnou roli. Od správně navržené střechy se očekává, že bude objekt výškově zakončovat, chránit ho před různými klimatickými vlivy a v neposlední řadě bude plnit roli estetickou. S vývojem stavebnictví ovšem také rostou nároky na správnost řešení střech a střešních plášťů. Důležitým faktorem je vliv účinků požáru.

Z požárního hlediska může být střešní plášť umístěn v požárně nebezpečném prostoru. Pokud se střešní plášť nachází v požárně nebezpečném prostoru, musí splňovat klasifikaci třídy chování při vnějším požáru $B_{ROOF}(t_3)$. Tato klasifikace musí být certifikována pro každou skladbu zvlášť, a to v akreditované požární zkušebně. Tyto zkoušky jsou ovšem značně nákladné a v případě, že skladba nevyhoví, je třeba ji opakovat. To s sebou přináší další nechtěné náklady. Otázka zní, jestli je možné nahradit reálný vzorek numerickým modelem zkušební vzorku střešního pláště a jestli budou výsledky numerické simulace a reálné zkoušky stejné, či alespoň srovnatelné.

POŽÁRNÍ ODOLNOST

Požární odolnost je určena klasifikací na základě výsledků normových požárních zkoušek. Potřebný počet zkoušek závisí například na rozsahu podmínek zatížení, který má být pokryt klasifikací, požadované konstrukční variantě, řadě sklonů střech, rozsahu podepření a upevnění anebo systému podhledů, které jsou součástí střechy nebo stropu. Klasifikace požární odolnosti se vyjadřuje písmeny, tzv. mezními stavy, a dobou v minutách, po kterou musí posuzovaná konstrukce splňovat tyto mezní stavy. Při posuzování požární odolnosti střešních konstrukcí se bavíme o následujících charakteristických vlastnostech konstrukce (mezních stavech): Nosnost (zkratka R), Celistvost (zkratka E) a Izolace (zkratka I) [3].

CHOVÁNÍ STŘECH PŘI PŮSOBENÍ VNĚJŠÍHO POŽÁRU

Zkušební norma [2] popisuje 4 zkušební metody. Tyto metody se od sebe liší provedením zkoušky. Každá metoda má několik klasifikačních tříd. Ty začínají třídou B_{ROOF} , která značí, že hodnoty vyhovely zkušebními kritériím, a končí třídou F_{ROOF} , která značí, že hodnoty nevyhovely zkušebními kritériím. V České republice byly akceptovány pouze dvě z těchto zkoušek – zkouška 1 a 3. Za vyhovující je tedy považována klasifikace $B_{ROOF}(t_1)$ a $B_{ROOF}(t_3)$.

Dle [6] se klasifikace $B_{ROOF}(t_1)$ vyžaduje pro všechny střešní pláště, i pro ty, které leží mimo požárně nebezpečný prostor (PNP). Dle [1] střešní plášť nemusí splňovat klasifikaci $B_{ROOF}(t_1)$ ani $B_{ROOF}(t_3)$, pokud leží mimo PNP a jeho plocha je menší než 1500 m^2 . Tímto nastává rozpor

požadavků v požárním kodexu. Vyhláška a norma je vytvořena různými autory, přičemž vyhláška má vyšší právní váhu, i když je norma novější. Střešní pláště, které nejsou v PNP, mohou tvořit souvislý úsek větší než 1500 m², pokud splňují klasifikace B_{ROOF} (t1) nebo B_{ROOF} (t3). Střešní pláště v PNP musí splňovat klasifikaci B_{ROOF} (t3).

POŽÁRNÍ ZKOUŠKY

Zkouška pro klasifikaci B_{ROOF} (t1) probíhá tak, že se na připravený normový vzorek střešního pláště nastaví košík, který je vyrobený z mřížky s velikostí oka 50 × 50 mm z ocelového drátu, o celkových rozměrech 300 × 300 × 200 mm. Košík je vyplněn dřevitou vlnou, umístěn na vzorek dle požadavků zkušební normy a zapálen. Sleduje se šíření plamene po povrchu bez dodatečného zatížení větrem nebo radiací.

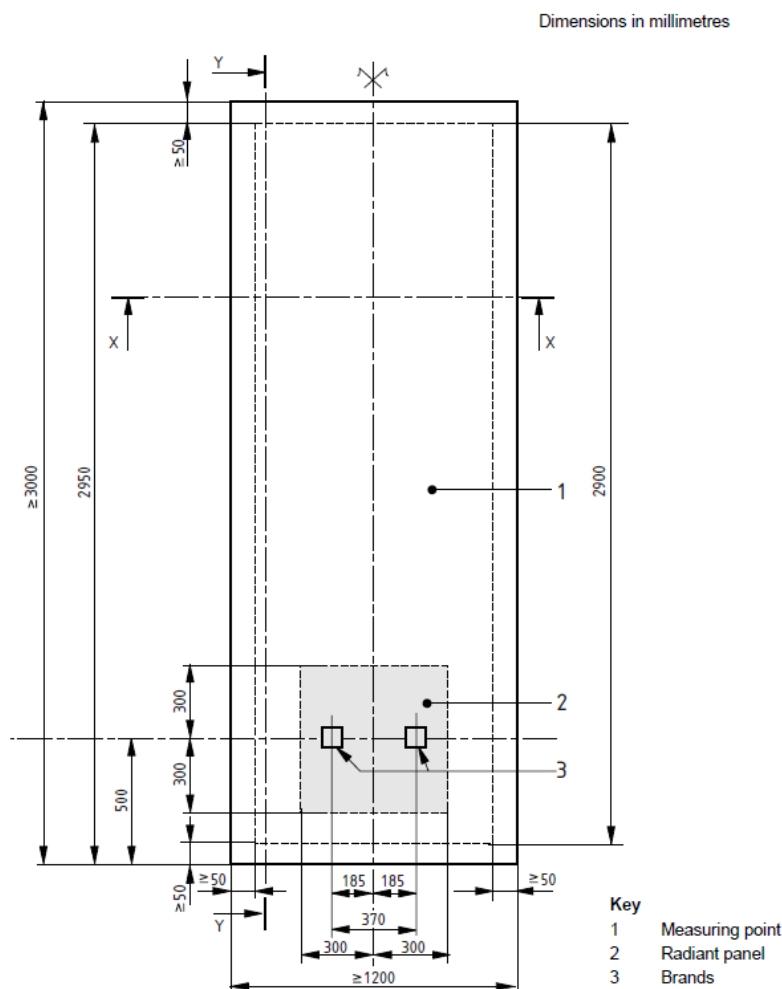
Při zkoušce pro klasifikaci B_{ROOF} (t3) je zkušební vzorek ve sklonu 5 °, pokud má klasifikace pokrývat sklony střech do 10 °, nebo je vzorek ve sklonu 30 ° a to v případě, jestli je požadováno pokrýt sklony střech větší než 10 °. Zkušební vzorek o šířce 1,2 m a délce 3 m musí být reprezentativní a odpovídat reálné skladbě střechy jak už podkladem, tak typem a počtem jednotlivých vrstev a způsobu jejich spojů. Před uvedením zkušební vzorku do pozice testování, musí být správně nastaven a spuštěn ventilátor a radiální panel. Ventilátor musí být schopen přivádět proud vzduchu na povrch vzorku při teplotě (20 ± 10) °C a požadované rychlosti proudění. Tento proud vzduchu působí rovnoběžně na povrch vzorku a ve směru podélné osy. Radiální panel musí být umístěn nad zkušební vzorek do vzdálenosti (500 ± 20) mm. Na horní povrch zkušební vzorku se umístí dvě zapálené dřevěné hraničky, které jsou před použitím napuštěny n-heptanem (obr. 1). Na obr. 2 lze vidět měřicí zóna a umístění hraniček.

Test by měl být ukončen uhašením ohně v případě, když se oheň rozšíří na spodní stranu vzorku nebo když uplyne doba 30 min anebo když nastane riziko bezpečnosti personálu či hrozí škody na zkušebním zařízení. Po 30 min po ukončení zkoušky se můžou začít kontrolovat výsledky vzorku [2].



*Obr. 1 Zkušební vzorek s hořícími hraničkami
Fig. 1 Test specimen with burning brands*

Požadované výsledky jsou doba vnějšího šíření požáru a doba prohoření. Aby vzorek vyhověl pro klasifikaci B_{ROOF} (t3), musí být jak doba vnějšího šíření požáru, tak doba prohoření větší než 30 min. Zaznamenává se čas, kdy rozšíření požáru dosáhne 100 mm, 300 mm, 500 mm, 700 mm, 900 mm, 1100 mm, 1300 mm a 2000 mm od zkušebních hraniček po směru větru. Dále se zaznamenává čas, kdy rozšíření požáru dosáhne 100 mm, 300 mm a 500 mm v opačném směru, tedy směrem k ventilátoru. Dále se sleduje čas, kdy se objeví vzplanutí jakéhokoliv hořícího materiálu padajícího z vrchního i spodního povrchu vzorku a maximální délka, kam se rozšířil požár na povrchu vzorku. Zaznamenává se také čas a povaha prohoření vzorku a doba výskytu otvorů ve vzorku a jejich rozměry [4].



Obr. 2 Měřící zóna a umístění hraniček, převzato z [2]

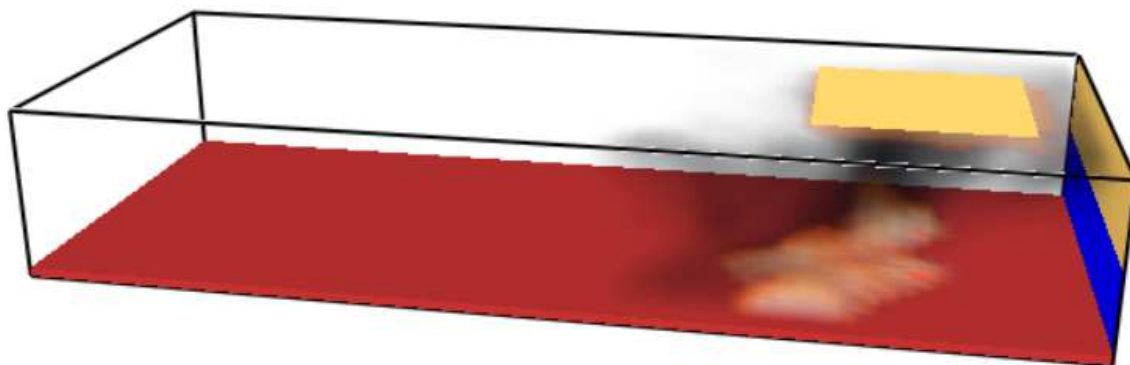
Fig. 2 Measuring zone and positions of the brands, taken from [2]

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

V rámci této práce je zvolený příklad zaměřen na namodelování zjednodušené situace požární zkoušky na klasifikace $B_{ROOF}(t3)$. K tomu byl vybrán numerický model v softwaru FDS (Fire Dynamics Simulator), což je model založený na metodě CFD (Computational Fluid Dynamics). Účelem tohoto modelu bylo připravit simulaci zkoušky pro další rozsáhlejší modelování vzorku s více vrstvami skladby střešního pláště a zjistit, jak se budou prvky chovat. V případě vícevrstvé skladby bude hořlavá jen jedna vrstva.

Kvůli snaze o snížení potřebného času na výpočet, byla zkušební situace zjednodušena za účelem snížit počet výpočetních objemů. V rámci simulace je vymodelovaný zkušební vzorek o jedné vrstvě. Vytvořený model se skládá z podkladní desky, ventilátoru, radiačního panelu a hořáků, simulujících dřevěné hraničky (obr. 3).

Vzduch z ventilátoru proudí rychlostí 3 m/s. Zařízení je po celé šířce desky zkušební vzorku, tj. 1200 mm, s výškou 250 mm. Radiační panel působí s intenzitou tepelného toku $12,5 \text{ kW/m}^2$ ve vzdálenosti 500 mm nad podkladní deskou zkušební vzorku. Hořlavá kapalina (n-heptan), kterou se dle [2] nasáknou dřevěné hraničky při zkoušce, byla zanedbána, protože výpočet rychlosti uvolňování tepla nasáknuté hraničky je značně problematický. Hodnota rychlosti uvolňování tepla tedy byla vztažena k hoření dřeva. Tato hodnota byla vypočtena na základě výpočtu dle [7], kapitola 1. Výsledná rychlost uvolňování tepla jedné hraničky činí $419,8 \text{ kW/m}^2$. Zkušební hraničky se v rámci modelu nasimulovaly pomocí hořáku se zmíněnou rychlostí uvolňování tepla a o rozměrech $50 \times 50 \text{ mm}$.



Obr. 3 Smokeview simulace zkoušky
Fig. 3 Smokeview test simulation

Model zkušební vzorku byl vytvořen pro dva materiály desky – dřevo a beton. Cílem bylo zjistit rozdíl průběhu teplot na desce z hořlavého a nehořlavého materiálu. Na dřevěné desce byly naměřeny výrazně vyšší hodnoty teplot než na betonové desce. Jako příklad lze uvést hodnoty v 230. sekundě simulace, kdy teplota na vzorku s dřevěnou deskou je 685°C a na vzorku s betonovou deskou 73°C. Touto skutečností se potvrdilo, že numerický model je funkční a je možné s ním dále pracovat pro další potřeby a úpravy zkušební tělesa.

ZÁVĚR

V této práci byly shrnuty klasifikace střešních konstrukcí z požárního hlediska. Následně byla stručně popsána požární zkouška pro klasifikaci B_{ROOF} (t1) a podrobněji požární zkouška pro klasifikaci B_{ROOF} (t3). Záměrem numerického modelu v této práci bylo vytvořit situaci požární zkoušky s jednotlivými prvky. V dalším výzkumu v rámci diplomové práce je cílem se zaměřit na přidání více vrstev vzorku střešního pláště. Nedostatek programu FDS je, že neumožňuje reálnou návaznost teplot mezi vrstvami materiálů při procesu hoření. Pro další zpřesnění numerického modelu řešené požární zkoušky by bylo vhodné vyzkoušet další softwary pro modelování vzorku, které by umožnily lepší návaznost hoření jednotlivých vrstev.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 0810 *Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení* (2016).
- [2] ČSN P CEN/TS 1187 *Zkušební metody pro střechy vystavené působení vnějšího požáru*. (2012).
- [3] ČSN EN 13501-2 *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb - Část 2: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti kromě vzduchotechnických zařízení*. (2017).
- [4] ČSN EN 13501-5 *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb - Část 5: Klasifikace podle výsledků zkoušek střech vystavených vnějšímu požáru*. (2017)
- [5] WALD, František, POKORNÝ Marek, HOROVÁ Kamila, HEJTMÁNEK Petr, NAJMANOVÁ Hana, BENÝŠEK Martin, KUREJKOVÁ Marta, SCHWARZ Ivo. *Modelování dynamiky požáru v budovách*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2017. ISBN 978-80-01-05633-2.
- [6] Vyhláška č. 23/2008 Sb. *Vyhláška o technických podmínkách požární ochrany staveb*. (2008)
- [7] *SFPE handbook of fire protection engineering. 3rd ed, Section 3*. Bethesda, Md.: Society of Fire Protection Engineers, c2002. ISBN 0877654514.

NASÁVACÍ HLÁSIČE KOUŘE

ASPIRATING SMOKE DETECTORS

Bc. Kuznetsov Pavel

Abstract

This article is focused on detection of fire by aspirating smoke detectors (ASD). The first part of this article describes this device, standards, classes of detectors, principle of functionality and typical places to be used. In the second part of the article is presented the model of aspirating smoke detector and ionization detector in server room, created in FDS program, and comparison of detectors results.

Key words: ASD; FDS; fire; server room

ÚVOD

Požáry v budovách po celém světě způsobují velké ztráty. Pro zabránění ztrát vlivem požáru stavby dělíme na požární úseky pomocí konstrukcí s odpovídající požární odolností, abychom lokalizovali požár a ochránili lidské životy a zdraví lidí. Dalším důvodem k dělení na požární úseky jsou ekonomické ztráty. Podstatné jsou také nenahraditelná data, historicky významná díla a technologická zařízení, která jsou součástí požárních úseků. V těchto případech je nutno včas detekovat požár. V současnosti existuje velké množství zařízení k detekci požáru. Jsou mezi nimi jak levnější a jednodušší systémy, tak i ty dražší. Nejčastější využití shledávají zařízení s nízkými pořizovací náklady a zároveň nenáročné na údržbu během provozu. Dražší zařízení nehledě na spoustu výhod jsou používána zřídka a jsou mezi nimi i nasávací hlásiče požáru.

Jeden z často se vyskytujících provozů, kde jsou instalované nasávací hlásiče požáru, jsou místnosti serveroven. Jsou k tomu dva podstatné důvody: instalace drahých zařízení a nenahraditelná data. Výzkumnou otázkou této práce je stanovení rozdílu v době reakce mezi ionizačním hlásičem a nasávacím hlásičem požáru v serverovně středních rozměrů pomocí programu Fire Dynamics Simulator (FDS).

NASÁVACÍ HLÁSIČE POŽÁRU

Hlásiče nasávací (aspirační) se instalují podle pokynů výrobce. Jejich provedení musí odpovídat ČSN EN 54-20. Umístění nasávacích hlásičů se provádí v závislosti na stanovené třídě citlivosti (A, B nebo C). Vzorkovací trubky a armatury musí mít potřebnou mechanickou pevnost a tepelnou odolnost podle ČSN EN 61386-1 ed. 2 nejméně ve třídě 1131 [1]. Toto označení pro deklarovanou odolnost trubkového systému v sobě nese informaci o čtyřech parametrech resp. o čtyřech deklarovaných třídách: 1. číslice – odolnost proti stlačení, 2. číslice – odolnost proti nárazu, 3. číslice – rozsah nízkých teplot a 4. číslice – rozsah vysokých teplot.

Samotná ČSN EN 54-20 je česká verze evropské normy EN 54-20, která byla zpracována Technickou komisí CEN/TC 72 “Elektrická požární signalizace“. Schválená byla 18. května 2006 a má status české technické normy. Následně členem CEN v lednu 2007 byla představená česká verze a má stejný status jako oficiální norma. Definice nasávacího hlásiče kouře je uvedena v normě „ČSN EN 54-1 Elektrická požární signalizace – Část 1: Úvod“ a zní takto: Nasávací hlásič je kouřový hlásič, do kterého je přes vzorkovací zařízení přiváděn vzduch a aerosoly k jednomu nebo několika elementům citlivým na kouř pomocí zabudovaného nasávacího přístroje (např. sacího ventilátoru nebo vývěvy) [2].

Dále norma rozlišuje 3 klasifikační třídy [3]:

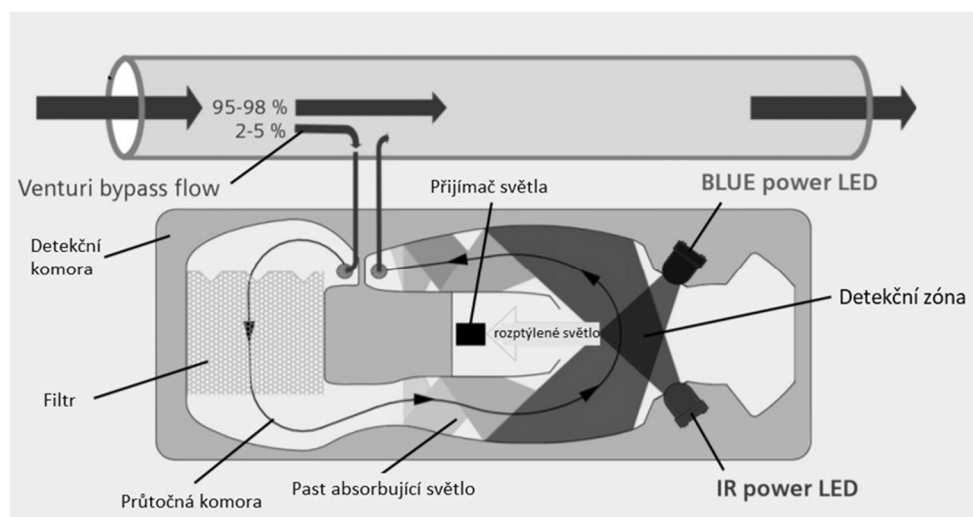
- A – Nasávací hlásič s velmi vysokou citlivostí – velmi časná detekce, aplikován nejčastěji pro detekci velmi zředěného kouře, například vstupujícího do klimatizačních kanálů, pro detekci extrémně zředěných koncentrací kouře,

- B – Nasávací hlásič se zvýšenou citlivostí – časná detekce, například detekce speciálního požáru uvnitř nebo v blízkosti zvláště hodnotných, napadnutelných nebo kritických objektů, jako jsou skříňové počítače nebo elektronických zařízení,
- C – Nasávací hlásič s normální citlivostí – standartní detekce, obecná detekce požárů v normálních místnostech nebo prostorách, poskytující například alespoň rovnocennou úroveň detekce jako systém bodového nebo lineárního typu hlásiče kouře.

Nedílnou částí normy jsou zkoušky, díky kterým dochází k certifikaci klasifikační třídy zkoušeného výrobku. Celkem je výrobek podroben 14 zkouškám: opakovatelnost, reprodukovatelnost, kolísání napájecích parametrů, suché teplo, chlad, vlhké teplo – konstantní (provozní zkouška a zkouška odolnosti), koroze oxidem siřičitým, ráz, úder, vibrace sinusové (provozní zkouška a zkouška odolnosti), elektromagnetická kompatibilita – zkoušky odolnosti, požární citlivost [3].

PRINCIP FUNKCE A PRVKY NASÁVACÍHO SYSTÉMU

ASD provádí nucený odběr vzorku vzduchu ze sledovaného prostoru a následně je kontroluje na obsah kouřových částic. Vyhodnocování vzorku probíhá pomocí optické metody v detekční zóně při použití světla o dvou vlnových délkách (modrého a infračerveného). Dále rozptýlené světlo pokračuje k přijímači světla a následuje vyhodnocení obsahu šumu v přijatém světle (obr. 1). Hlásiče jsou schopny s vysokou přesností určit rozměry částic i jejich koncentraci ve vzduchu a díky tomu rozlišit, zda jde o kouř nebo prach.



Obr. 1 - Schéma vyhodnocovací jednotky [4]

Fig. 1 Diagram of evaluation unit

Celý systém se skládá ze 3 prvků:

- nasávací trysky – odběr vzorku vzduchu,
- transportní potrubí – doprava vzorku k vyhodnocovací jednotce,
- ASD – nasávací kouřový hlásič – vyhodnocování nasátých vzorků.

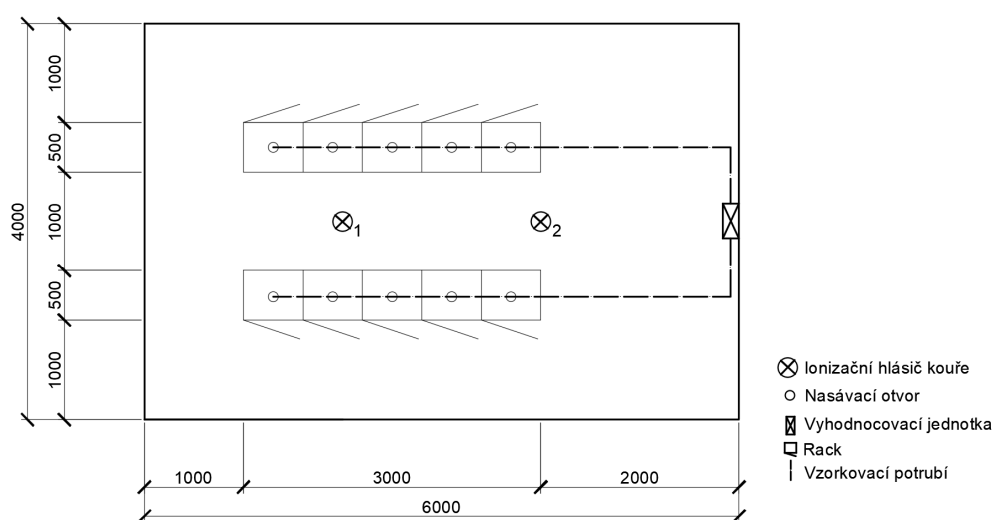
POUŽITÍ

Hlásiče jsou převážně instalované v místnostech, kde rychlost reakce hraje nezastupitelnou roli. Jedná se o typy staveb nebo místností:

- nenahraditelné památky (muzea, kostely a galerie),
- technologické zařízení (laboratoře, výpočetní centra, elektrárny, strojovny, operační sály),
- stěžejní podmínky evakuace (věznice, nemocnice),
- nenahraditelná data (serverovny, archivy),
- nedostupná místa pro lidi (šachty, rozvodny) apod.

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Řešený příklad je zaměřený na projektování nasávacího hlásiče požáru a porovnání času vyhlášení poplachu s ionizačním hlásičem kouře. Pro praktickou část byla zvolena serverovna střešních rozměrů 6×4 m (obr. 2). Příklad je modelován v programu FDS. Jednotlivé skříň-racky jsou rozmístěné do dvou řad a vytváří mezi sebou teplou uličku. V každé řadě je 5 racků. Rozměry jednoho racku jsou $0,6 \times 0,5 \times 2,0$ m. Nad každým rackem je 5 cm pod stropem umístěn otvor nasávacího hlásiče kouře. V polovině šířky místnosti a ve třetinách délky jsou umístěné bodové ionizační kouřové hlásiče. Pro modelování nasávacích hlásičů je podstatné použít skutečných hodnot, což je rychlost proudění a čas potřebný na transport vzorku k vyhodnocovací jednotce. Z tohoto důvodu byl zvolen reálný výrobek Siemens FDA221 s nastavením pro klasifikační třídu B. Výrobce poskytl program Asyst (F-FXS2056) [7], pro které byly potřebné hodnoty spočtené. Dle technické dokumentace výrobce pro vyhlášení poplachu byla zvolena hodnota zakouření $0,2 \text{ %/m}$. Nastavení ionizačního hlásiče kouře jsou výchozí hodnoty z uživatelské příručky programu FDS – vyhlášení poplachu dojde po překročení hodnoty zakouření $3,24 \text{ %/m}$ [5].



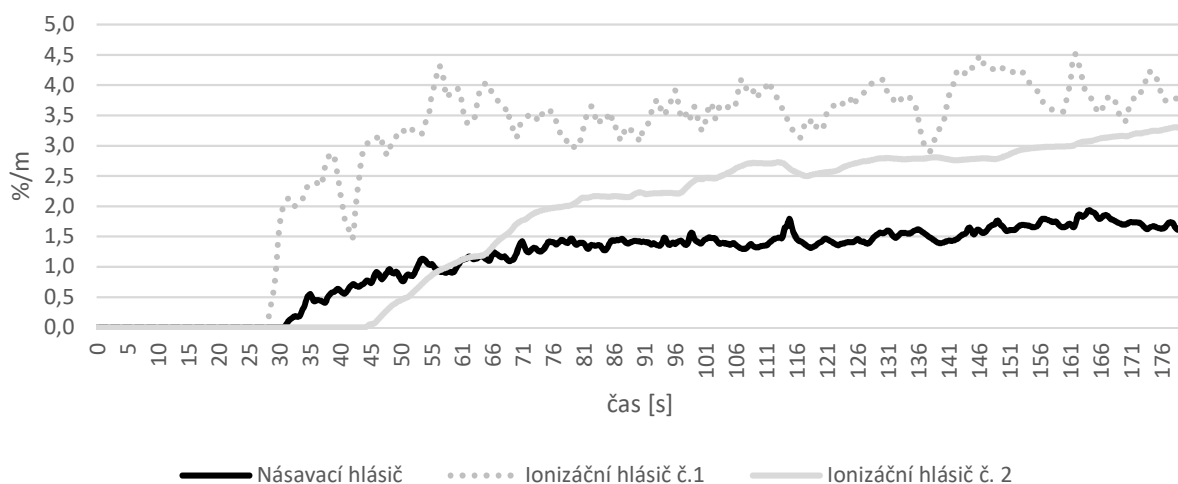
Obr. 2 Půdorys serverovny
Fig. 2 Horizontal plan of a server room

Jako požární scénář volím požár serveru. Průběh požáru serveru nebyl k dispozici, proto byl použit požár TV setu [6]. Dle mého názoru nejlépe vystihuje požár serveru, kdy během prvních 3 minut výkon je minimální (1 kW). Zdroj požáru je umístěn v levém krajním racku ve výšce 0,34 m (označen šipkou – obr. 3). Poloha zdroje byla zvolena co nejnižší a zároveň s nejdelším časem pro transport vzorku k vyhodnocovací jednotce nasávacího hlásiče požáru, který je v našem případě 9,3 sekundy. Hodnota byla stanovena pomocí programu Asyst (F-FXS2056).



Obr. 3 Ukázka modelovaného prostoru (FDS)
Fig. 3 Print screen space model (FDS)

Výsledky modelování jsou vidět v grafu níže (obr. 4). Nasávací hlásič požáru vyhláší poplach v čase 34 sekundy, kdy hodnota kouře překročí 0,2. Ionizační hlásič č. 1 vyhláší poplach o 17 sekund později – v čase 51 sekund. Ionizační hlásič č. 2 zareaguje v 175. sekundě.



Obr. 4 Graf reakce hlásičů
Fig. 4 Chart of detector reaction

ZÁVĚR

Ze získaných hodnot je vidět dominující rychlost vyhlášení poplachu nasávacího hlásiče kouře vůči ionizačnímu hlásiči. V řešeném příkladu byl očekáván větší časový rozdíl v reakci mezi použitými hlásiči. Nicméně v FDS modelu byla pro detekci požáru u obou typů hlásičů použita pouze limitní hodnota zakouření (% obs/m), ale pokročilé nasávací hlásiče jsou navíc doplněny o výpočetní algoritmus, který započítává i např. fluktuaci požáru (výkyv homogenity odebraného vzorku), což rychlost detekce ještě zvýší. Pro přesnější výsledky by bylo vhodné stanovit průběh požáru přímo pro server.

LITERATURA

- [1] ČSN 34 2710. *Elektrická požární signalizace – Projektování, montáž, užívání, provoz, kontrola, servis a údržba*. Praha: ÚNMZ, 2011
- [2] ČSN EN 54-1. *Elektrická požární signalizace - Část 1: Úvod*. Praha: ÚNMZ, 2011
- [3] ČSN EN 54-20. *Elektrická požární signalizace - Část 20: Nasávací hlásiče*. Praha: ÚNMZ 2007 +O1: 2009
- [4] SIEMENS SCHWEIZ AG. *Aspirating Smoke Detection. White paper, ASD technology*. 2015.
- [5] MCGRATTAN, Kevin, Simo HOSTIKKA, Randall MCDERMOTT, Jason FLOYD, Craig WEINSCHENK a Kristopher OVERHOLT. *Fire Dynamics Simulator User's Guide. NIST Special Publication, 288*.
- [6] SÄRDQVIST, Stefan. *Television sets Y1/20-21*. In: *Initial fires - RHR, Smoke Production and CO Generation from Single Items and Room Fire Tests*. B.m.: Swedish Fire Research Board (BRANDFORSK), 1993.
- [7] Siemens Switzerland Ltd. *Building Technologies Division. ASD ASYST - TOOL V2: USER GUIDE*, 2018

STABILNÍ HASICÍ ZAŘÍZENÍ VE SKLADECH

FIXED EXTINGUISHING SYSTEM IN WAREHOUSES

Bc. Michal Železný

Abstract

This article presents basic principles of fire extinguishing systems and its usage in warehouses. It shows basic types of warehouse disposition and possible design of ins fire suppression coverage. But main focus of this article is on activation of sprinkler heads, and their delays. In the last part of this article is CFD model showing activation times of sprinkler heads and delays caused by their position or obstacles in their paths.

Key words: *sprinkler; activation; warehouse; heat release; delay*

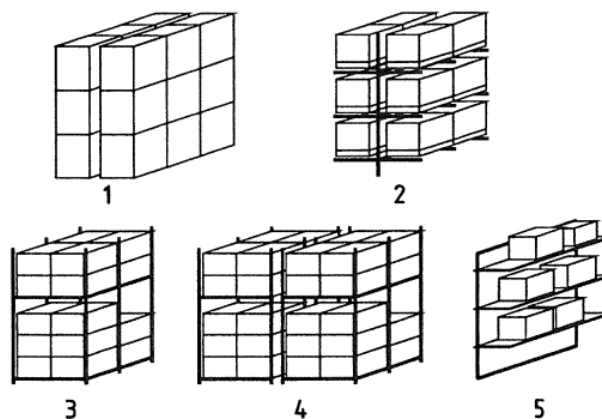
ÚVOD

Ze všech požárně bezpečnostních zařízení (PBZ) se stabilní hasicí zařízení těší výjimečné pozici – jako jediné PBZ nejen usměrňuje požár, ale také ho hasí. Proto se těší stále větší a větší pozornosti a instaluje se do většího počtu budov, stejně tak se upravuje pro různé provozy. A z těchto důvodů se téměř bez výjimek objevuje ve výrobních a skladovacích halách. Mezi nejrozšířenější druhy stabilních hasicích zařízení (SHZ) patří vodní, pěnové a mlhové. Každé z nich se hodí do jiných provozů a mají své výhody či nevýhody. Při správném návrhu dojde k omezení škod a rychlejšímu obnovení provozuschopnosti objektu. Bohužel při špatném návrhu může dojít k celkovému selhání zařízení. Selhání může být zapříčiněno špatnou koordinací s ostatními PBZ, špatným hydraulickým výpočtem a návrhem, nezohlednění konkrétního provozu v objektu či špatnou údržbou.

DĚLENÍ SKLADOVÁNÍ

Pro návrh SHZ je důležité, aby se mohlo hasit jakékoliv místo ve skladu. Pro tento základní požadavek je stěžejní způsob skladování. Naše norma ČSN EN 12845 rozlišuje šest následujících druhů skladování, označovaných jako ST1 – ST6:

- 1 – ST1 – volné blokové skladování,
- 2 – ST2 – jednořadé regály se sloupkovými paletami, s uličkami šířky min. 2,4 m,
- 3 – ST3 – víceřadové regály se sloupkovými paletami včetně dvouřadových,
- 4 – ST4 – paletové regály (ukládání palet na nosníky),
- 5 – ST5 – regály s plnou či laťovou / mřížovou policí o šířce menší než 1 m,
- 5 – ST6 – regály s plnou či laťovou / mřížovou policí o šířce větší než 1 m, max. však 6 m.



Obr. 1 Způsoby skladování
Fig.1 Ways of stacking

Každý druh skladování má svá omezení. Zahrnuje to ochranu regálovými sprinklery, omezení maximální plochy jednoho skladového bloku, či volné plochy a mezní šířky [1].

REGÁLOVÉ JIŠTĚNÍ

Pokud skladujeme do vyšších prostorů, než norma na stropní jištění povoluje, musí se instalovat řada sprinklerů i do úrovně skladovaného materiálu. To náležitě zvyšuje požadavky na systém SHZ a možnost poškození hlavice, jelikož se hlavice nacházejí v prostoru manipulace s materiálem. U současného projektování střešní a regálové ochrany se upřednostňuje regálová ochrana. Ta se zajišťuje tím, že se vyberou hlavice s nižší nebo stejnou otevírací teplotou. Největší vliv pro návrh regálové ochrany má výška skladování. Dělí se podle způsobu skladování ST1 až ST6 (viz výše) a podle kategorie skladovaného materiálu [2].

OCHRANA ESFR SPRINKLERY

ESFR znamená Early Suppression Fast Response. Tyto sprinklery byly navrženy pro skladové a výrobní objekty, pro rychlý zásah a možné uhašení požáru bez zásahu hasičských jednotek. Jako takové se vyznačují velkým průtokem vody. To způsobuje další problémy, se kterými je nutné počítat, a sice potřeba velké nádrže na vodu, velké zatížení na závěsy a konstrukci stropu a větší škody na majetku. Ale jejich hlavní výhoda spočívá v použití ve skladech. Velký průtok zajišťuje dosažení vody až na spodní patra regálů, čímž odstraňuje potřebu pro regálové sprinklery [2].

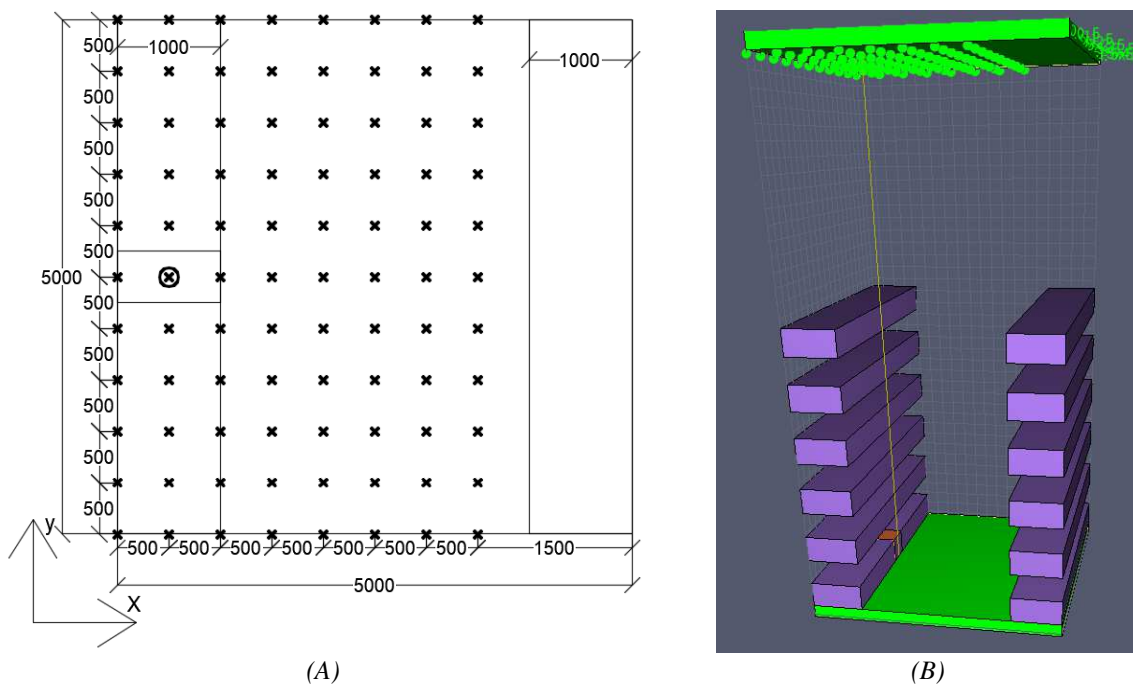
RESPONSE TIME INDEX

Response Time Index neboli RTI nám určuje teplotní odezvu hlavice. Tato funkce závisí na několika faktorech, jako je teplota plynu, rychlost proudění vzduchu, tloušťka teplotní pojistky hlavice a jiné. Hlavní dělení hlavice podle tloušťky pojistky nám dává přibližnou představu – u rychlých pojistek je RTI obvykle mezi 28 a 50 $\text{ms}^{1/2}$, v závislosti na teplotě a na rychlosti proudění vzduchu. U standardních pojistek se RTI pohybuje od 100 do 360 $\text{ms}^{1/2}$ [3].

Pro modelování a zkoušku se používal Plungeův test – v trubici se ustálí rychlost proudění a teplota vzduchu, poté se do proudu vzduchu zasune sprinklerová hlavice. Pro určení RTI byly dva způsoby – prvním způsobem bylo určení RTI pomocí rovnice z časové konstanty (údaj, závisející na teplotě plynu, počáteční teplotě hlavice, otevírací teploty hlavice a času aktivace) a z rychlosti proudění vzduchu. Druhým způsobem bylo vypočítání RTI přímo z času aktivace [3].

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Pro modelování byl použit software FDS, s programovou nástavbou Pyrosim. Účelem je zjistit časy, kdy dojde k aktivaci hlavice, a jejich následné časové rozestupy. V tomto programu byl vytvořen výsek skladové haly o půdorysných rozměrech 5 × 5 m. Na obou stranách byly vytvořeny regály o šířce 1 m a výšce 0,5 m. Regály jsou tvořeny PVC a v modelu se umožnilo jejich spalování. Jako zdroj požáru byla vybrána paleta ve spodním regálu. Na ní byl nadefinován hořící povrch s rychlostí uvolňovaného tepla (HRR) odpovídající pokusu hoření palety s PET lahvemi.



Obr. 2 (A) Rozmístění hlavice a zdroje požáru v modelu; (B) Model
 Fig. 2 (A) Positions of sprinklers and start of fire; (B) Model

U stropu byly vytvořeny hlavice v rastru po 0,5 m. Cílem práce bylo zjistit, jaké časové zpoždění nastane, když je hlavice mimo osu požáru. Podle normy by rozmístění hlavice mělo být maximálně po třech metrech v obou směrech. Pro tento model se vytvořily také hlavice pro oblast větší než norma povoluje.

VÝSLEDKY

Tab.1 Výsledky

Tab.1 Results

Hlavice	Čas aktivace (s)	Půdorysná vzdálenost od středu požáru (m)	Pozice hlavice x	Pozice hlavice y	Zpoždění proti nejrychlejší
1	665,9	2,51	0	5	73,8
2	663	2,51	0,5	5	70,9
3	660,4	2,61	1	5	68,3
4	602,8	2,80	1,5	5	10,7
5	602,7	3,05	2	5	10,6
6	602,3	3,36	2,5	5	10,2
7	601,9	3,72	3	5	9,8
8	602,9	4,10	3,5	5	10,8
9	604,1	2,02	0	4,5	12
10	603,2	2,02	0,5	4,5	11,1
11	602,3	2,14	1	4,5	10,2
12	601,3	2,36	1,5	4,5	9,2
31	597,2	2,93	3	3,5	5,1
32	599,6	3,40	3,5	3,5	7,5
33	595	0,56	0	3	2,9
34	593,9	0,56	0,5	3	1,8
35	593,7	0,90	1	3	1,6
36	593,4	1,35	1,5	3	1,3
37	593,8	1,82	2	3	1,7
38	594,8	2,30	2,5	3	2,7
39	596,7	2,80	3	3	4,6
40	599,2	3,29	3,5	3	7,1
41	593,9	0,25	0	2,5	1,8
42	592,1	0,25	0,5	2,5	0
61	594,2	2,02	2	1,5	2,1
62	594,3	2,46	2,5	1,5	2,2
63	596,1	2,93	3	1,5	4
64	598,2	3,40	3,5	1,5	6,1
65	597,9	1,52	0	1	5,8
66	596,9	1,52	0,5	1	4,8
67	597	1,68	1	1	4,9
68	596	1,95	1,5	1	3,9
69	595,6	2,30	2	1	3,5
70	595,9	2,70	2,5	1	3,8
71	596,7	3,13	3	1	4,6
72	599	3,58	3,5	1	6,9

13	600,9	2,66	2	4,5	8,8	43	592,3	0,75	1	2,5	0,2	73	601,1	2,02	0	0,5	9
14	600	3,01	2,5	4,5	7,9	44	593,2	1,25	1,5	2,5	1,1	74	599,6	2,02	0,5	0,5	7,5
15	600,6	3,40	3	4,5	8,5	45	593,6	1,75	2	2,5	1,5	75	599,3	2,14	1	0,5	7,2
16	601,7	3,82	3,5	4,5	9,6	46	594,1	2,25	2,5	2,5	2	76	598,4	2,36	1,5	0,5	6,3
17	601,2	1,52	0	4	9,1	47	595,9	2,75	3	2,5	3,8	77	597,9	2,66	2	0,5	5,8
18	599,8	1,52	0,5	4	7,7	48	599	3,25	3,5	2,5	6,9	78	598	3,01	2,5	0,5	5,9
19	599,6	1,68	1	4	7,5	49	594,1	0,56	0	2	2	79	598,5	3,40	3	0,5	6,4
20	597,8	1,95	1,5	4	5,7	50	592,5	0,56	0,5	2	0,4	80	599,7	3,82	3,5	0,5	7,6
21	596,9	2,30	2	4	4,8	51	592,7	0,90	1	2	0,6	81	657,7	2,51	0	0	65,6
22	597,5	2,70	2,5	4	5,4	52	593,7	1,35	1,5	2	1,6	82	603,5	2,51	0,5	0	11,4
23	599,4	3,13	3	4	7,3	53	593,8	1,82	2	2	1,7	83	602,9	2,61	1	0	10,8
24	600,3	3,58	3,5	4	8,2	54	593,9	2,30	2,5	2	1,8	84	601,7	2,80	1,5	0	9,6
25	598,5	1,03	0	3,5	6,4	55	595,6	2,80	3	2	3,5	85	601,2	3,05	2	0	9,1
26	596,2	1,03	0,5	3,5	4,1	56	598,6	3,29	3,5	2	6,5	86	601,1	3,36	2,5	0	9
27	595,9	1,25	1	3,5	3,8	57	595,2	1,03	0	1,5	3,1	87	601,8	3,72	3	0	9,7
28	594,5	1,60	1,5	3,5	2,4	58	594,1	1,03	0,5	1,5	2	88	602,4	4,10	3,5	0	10,3
29	594,2	2,02	2	3,5	2,1	59	594,5	1,25	1	1,5	2,4						
30	595,4	2,46	2,5	3,5	3,3	60	594,1	1,60	1,5	1,5	2						

Souřadný systém byl zvolen s počátkem v levém dolním rohu. Nejrychlejší aktivace nastala v čase 592,1 sekund.

ZÁVĚR

Nejrychlejší aktivace byla dle předpokladu u hlavice nacházející se u osy požáru, a u které nepřekážel žádný regál v šíření tepla. U ostatních hlavic nastalo zpoždění, ale všechny byly v rozmezí 10 sekund. Nejvzdálenější hlavice se aktivovaly se zpožděním okolo 70 sekund, ale ty byly vzdáleny více, než nám norma umožňuje. Dále zde hrálo roli to, že hranice modelu byly nastaveny tak, aby propouštěly kouř a teplo, a tudíž zde nedocházelo ke kumulaci tepla. Pro budoucí účely práce se předpokládá osově symetrické šíření tepla a kouře, tudíž se aktivační časy hlavic na hranicích modelu v tuto chvíli zanedbávají.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 12845. *Stabilní hasicí zařízení - Sprinklerová zařízení: Navrhování, instalace a údržba*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [2] KRATOCHVÍL, Václav, Šárka NAVAROVÁ a Michal KRATOCHVÍL. *Požárně bezpečnostní zařízení ve stavbách: stručná encyklopedie pro jednotky PO, požární prevenci a odbornou veřejnost*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2011. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-103-3.
- [3] SZE, C.K. Response time index of sprinklers. *International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes* [online]. 2009, 2009(1), 6 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: https://www.bse.polyu.edu.hk/researchcentre/fire_engineering/summary_of_output/journal/IJEPBFC/2009/P1-6.pdf

STABILNÉ HASIACE ZARIADENIA V ADMINISTRATÍVNYCH BUDOVOCH

FIXED FIREFIGHTING SYSTEMS IN OFFICE BUILDINGS

Bc. Adam Somsedík

Abstract

This article is focused on fixed firefighting systems being used in office buildings, mainly water mist fixed firefighting systems as they are more popular. Next there is an attempt of simulating a model of open space office in accordance with test procedure A.3 from technical standard ČSN P CEN TS 14972. Model is trying to simulate real life test procedure by using similar geometry of room, similar layout of objects and correct material characteristics. At the end of article is summary of model output – temperature in space over time with using cooling effect of water mist and without using it.

Key words: office building; firefighting system; water mist; fire dynamics simulator; PyroSim

ÚVOD

Budovy administratívneho charakteru sú rozmanité. Líšia sa plochou podlaží, počtom podlaží, počtom rôznych prevádzok v objekte, počtom ľudí zdržujúcich sa v objekte a podobne. S narastajúcim počtom podlaží v objekte zvyčajne narastajú aj požiarne riziká a teda aj nároky na požiarne bezpečnosť. V súčasnosti je najrozšírenejšie sprinklerové stabilné hasiace zariadenie. Jeho využitie sa dá uplatniť na takmer všetky prevádzky v administratívnych objektoch s výnimkou špeciálnych prevádzok ako sú veľkokapacitné kuchyne, serverovne a podobne, kde voda v podobe veľkých kvapiek spôsobuje zbytočnú škodu navyše. V takýchto prevádzkach sa uprednostňuje hmlové alebo plynové stabilné hasiace zariadenie. V prípade uzavretých a dobre utesnených priestorov s minimálnym výskytom ľudí na krátky čas sa v priestore dá redukovať množstvo kyslíka vo vzduchu a tak zabrániť akémukoľvek vzplanutiu alebo horeniu [1].

Hmlové stabilné hasiace zariadenie sa využívajú čoraz viac. Princíp hasenia hmlového stabilného hasiaceho zariadenia je rozprašovanie veľmi malých kvapiek do priestoru, ktoré pohlcujú teplo z požiaru a vyparujú sa. Môžu mať efekt hasivý v prípade priameho vstretu na miesto horenia, chladiaci účinok a ďalej dusivý účinok v prípade zamorenia celého priestoru hmlou a tak zabráneniu prísunu kyslíku. Hmla pri veľkosti kvapiek menších ako 0,05 mm má vynikajúcu schopnosť obmedzenia šírenia sálavého tepla. Veľkou výhodou hmlového stabilného hasiaceho zariadenia oproti sprinklerovému sú výrazne menšie škody spôsobené hasením, keďže využíva omnoho menšie množstvo vody, s tým prichádzajú aj menšie nároky na potrubie, na nádobu na vodu a podobne. Avšak systém je citlivý na mnoho premenných, ktoré môžu výrazne ovplyvniť jeho hasiacu schopnosť. Uzavretosť priestoru, rýchlosť prúdenia vzduchu v priestore, veľkosť požiaru v pomere k veľkosti priestoru, miesto horenia. Toto všetko výrazne ovplyvňuje hasiacu schopnosť hmlového stabilného hasiaceho zariadenia. Systém je náročnejší na návrh a jeho nasledovné prevedenie. Je náročné zovšeobecňovať jeho hasiace účinky na rôzne priestory keď je tak citlivý na rôzne premenné, preto každý objekt potrebuje špecifický prístup k návrhu systému špecialistom na túto problematiku. Zatiaľ existuje menšie množstvo dokumentov venujúcich sa hmlovému stabilnému hasiacemu zariadeniu a jeho cena je vyššia čo z hmlového hasiaceho zariadenia robí hlavne doplnok k sprinklerovému stabilnému hasiacemu zariadeniu v administratívnych budovách [2].

SKUŠOBNÝ POSTUP PRE KANCELÁRSKE PRIESTORY

Tento skúšobný postup je určený pre hodnotenie hasiacej schopnosti hmlových zariadení podľa technickej normy ČSN P CEN TS 14972 Stabilní hasicí zařízení – Mlhová zařízení – Navrhování a instalace [3]. Pri tejto skúške sa používa pomerne reálne požiarne zaťaženie open space kancelárie, ktoré pozostáva z: a) dve dosky stolu, b) jedna drevená čalúnená stolička, c) drevená zásuvka pod jedným stolom,

d) zakladače, knihy, monitor a klávesnica na stole, e) preglejkové steny okolo stolov, f) plynový horák a hranica dreva pre zapálenie. Pohľad na kancelársky priestor je vidieť na obr. 1.



(A)



(B)

Obr. 1 (A) Pohľad na požiarne zaťaženie kancelárie; (B) Pohľad na drevenú hranicu [3]
Fig. 1 (A) The view of office fire load; (B) The view of wood border [3]

MODELOVANIE KANCELÁRSKEHO PRIESTORU

Na modelovanie kancelárskeho priestoru sme využili program Fire Dynamics Simulator (ďalej len FDS) a program PyroSim, ktorý funguje ako pre-processor pre FDS.

Najskôr sme si vytvorili sieť z 54 000 buniek o veľkosti $0,1 \times 0,1 \times 0,1$ m. Celá sieť má rozmery $4 \times 4,5 \times 3$ m. Do tejto siete sme vložili obštrukcie, ktoré simulujú jednotlivé predmety použité v skúške. Ďalej sme si definovali jednotlivé materiály použité v skúške. Tými sú: betón kvôli podlahe, dva druhy dreva, jedno mäkkšie použité na preglejkové steny, druhé pevnejšie dubové na stoličku, stôl, zásuvku pod stolom a noviny, polyuretánová pena (ďalej len PUR pena), ktorá má simulovať čalúnenie na stoličke a plastové zakladače na stole.

Pre každý materiál bola definovaná objemová hmotnosť, merná tepelná kapacita a súčiniteľ tepelnej vodivosti. Spalné teplo bolo definované pre drevo a PUR penu. Ďalej sme bližšie charakterizovali povrchy ako PUR pena a drevené povrchy, u ktorých očakávame vznietenie a horenie. Pre tieto povrchy bolo nutné zadať rýchlosť uvoľňovania tepla na jednotku plochy a teplotu vznietenia. V prípade horáka, ktorý simuluje horiacu hranicu sme manuálne vložili jeho výkon v čase, ktorý dodáva teplo do priestoru po dobu 300 sekúnd.

Nakoniec sme pridali jednotlivé zariadenia. Termočlánky TC1, TC2, TC3 a hmlovú hlavicu Sp 1. Finačný model, rozloženie termočlánkov a požiarneho zaťaženia môžete vidieť na obr. 2. Vstupné hodnoty pre hmlovú hlavicu boli použité z experimentu [4], (tab. 1).

Tab. 1 Vstupné hodnoty pre hmlovú hlavicu [4]

Tab. 1 Input values of mist nozzle [4]

Špecifikácia	Hmlová tryska
Pracovný tlak [bar]	13
K faktor	2,15
Stredná veľkosť kvapiek [μm]	60
Minimálna veľkosť kvapiek [μm]	1
Maximálna veľkosť kvapiek [μm]	1 000
Tvar prúdu	Kónicky
Rýchlosť [m/s]	42,8
Uhol vodného kužľa vo vertikálnej rovine [$^\circ$]	0-55 $^\circ$
Počet kvapiek za sekundu [n/s]	10 000
Typ distribúcie	Lognormálne rozdelenie, $\sigma_D = 1,5$
Aktivačná teplota [$^\circ\text{C}$]	68
RTI – index reakčnej doby [$\sqrt{\text{m}^2\text{s}}$]	200
Poznámka: Ostatné parametre boli pre trysku ponechané podľa FDS ako predvolené	

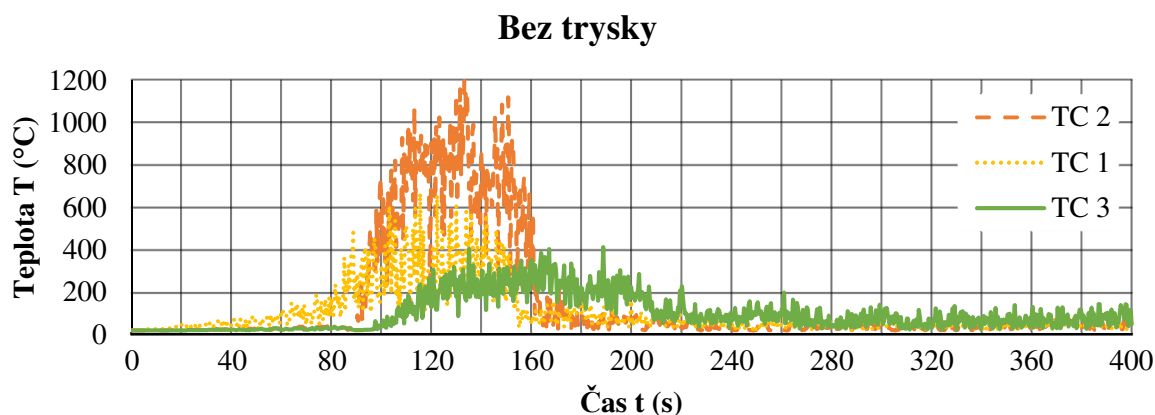


Obr. 2 Pohľad na model kancelárskeho priestoru: (A) z vrchu; (B) z boku
Fig. 2 Office space model; (A)top view; (B)side view

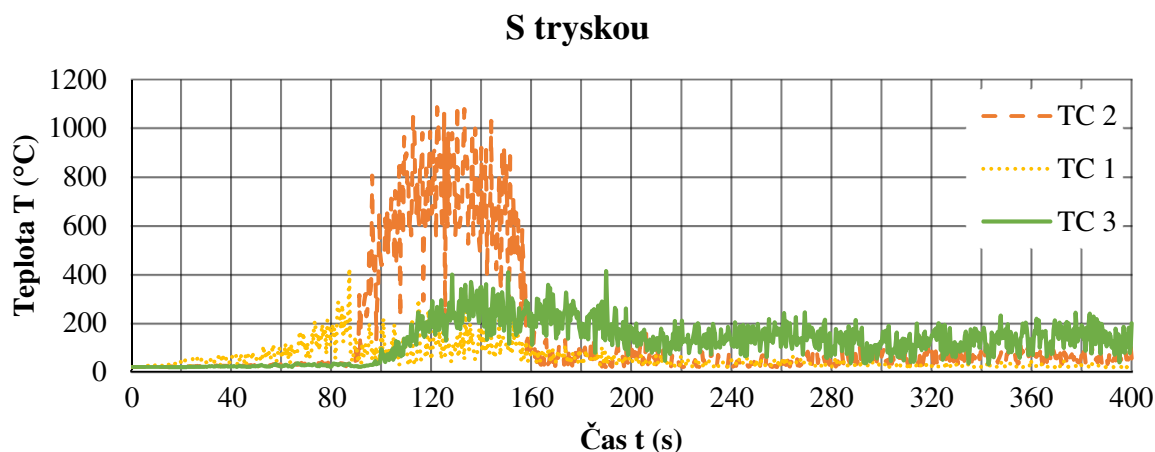
VÝSLEDKY MERANIA MODELU

Výsledné teploty na termočlánkoch TC 1 až TC 3 je vidieť na obrázkoch 3 a 4. Najvyššia teplota v oboch prípadoch bola nameraná v TC 2, ktorý je umiestnený nad rohovou časťou preglejkovej steny, za ňou nasledovali najvyššie teploty nad zdrojom zapálenia v článku TC 1 a najnižšie teploty boli namerané pri článku TC 3, ktorý sa nachádzal najďalej od zdroja zapálenia.

Hmlová tryska sa spustila v čase 87 s. Je zaujímavé pozorovať jej minimálny efekt na teploty. Najväčší vplyv mala na teploty TC 1, teda na termočlánok, ktorý bol najbližšie k hlavici, môžeme pozorovať zníženie teploty v momente spustenia hlavice. Avšak teploty nad rohom preglejky to moc neznižilo a zároveň sa teploty najvzdialenejšieho TC 3 trochu navýšili.



Obr. 3 Teploty v čase bez použitia hmlovej trysky
Fig. 3 Temperature in time without using mist nozzle



Obr. 4 Teploty v čase s použitím hmlovej trysky
Fig. 4 Temperature in time with using mist nozzle

ZÁVER

Výsledky tohto modelu boli neočakávané. Zníženie teploty hmlovou tryskou bolo malé a dokonca v prípade TC 3 nastalo zvýšenie teploty. Jedna z možností vysvetlenia tohto nárastu teploty môže byť vytlačenie častíc horenia hmlou do okolitého priestoru bez značného ochladenia týchto častíc.

LITERATÚRA

- [1] RYBÁŘ, P., *Příklady použití stabilních hasicích zařízení v ochraně majetku a technologií*, elektronické vydání: MV-generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2014, druhé vydání, ISBN 978-80-86466-71-2.
- [2] RYBÁŘ, P., *Mlhová stabilní hasicí zařízení pro protipožární ochranu objektů a technologií (1. část)*. In: tzb-info [online]. 4.9.2017. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/16205-mlhova-stabilni-hasici-zarizeni-pro-protipozarni-ochranu-objektu-a-technologie-1-cast>.
- [3] ČSN P CEN TS 14972: 2012 Stabilní hasicí zařízení – Navrhování a instalace.
- [4] ELIÁŠ, Martin a Marek POKORNÝ. *Porovnání experimentální výstřikové charakteristiky vodních mlhových trysek a matematického CFD modelu*. In: Požární ochrana 2017: sborník příspěvků z mezinárodní konference [online]. Ostrava: SPBI, 2017 [cit. 2018-07-23]. ISBN 978-80-7385-188-0.

SROVNÁNÍ SPRINKLEROVÉHO A MLHOVÉHO STABILNÍHO HASICÍHO ZAŘÍZENÍ

COMPARISON OF SPRINKLER AND WATER MIST EXTINGUISHING SYSTEM

Bc. Václav Hruška

Abstract

The purpose of this article is to approximate the functioning of the water mist system and compare it to sprinklers. Describing their extinguishing abilities. It is important to understand the differences in the functioning of both systems in order to understand their different extinguishing effects. In the solved example, we compare the cooling extinguishing effects of the two systems in the simulation.

Key words: water mist system; water mist nozzle; extinguishing ability; fire protection; fire dynamics simulator

ÚVOD

Stabilní hasicí zařízení (SHZ) je druh aktivní požární ochrany, která vysoce zvyšuje úroveň požární ochrany. Hlavním cílem požární ochrany je ochránit zdraví osob a majetek. K optimální funkci stabilního hasicího zařízení je potřeba určit vhodné hasivo ve vztahu k předpokládanému typu požáru.

Nejpoužívanějším typem hasiva je voda, jejíž hasicí schopnosti jsou velice univerzální. Nejvíce se využívá voda ve své základní formě, jakožto sprchový proud u sprinklerového stabilního hasicího zařízení. Využit se dá také ve formě mlhy, jakožto mlhové vodní hasicí zařízení. Spotřeba vody je zde daleko menší a její využití k hašení je efektivnější. Zabrání se škodám způsobeným smáčením majetku, což může mít v některých provozech vysoký význam. Vodní mlha využívá teorie malých kapek. To znamená, že kapky jsou daleko menší než u sprinklerů, tudíž jejich plocha je větší, rychleji se odpaří, čímž lépe pohltí tepelnou energii. Velkou nevýhodou tohoto systému je vysoká pořizovací cena, která je mnohdy mnohem vyšší než u sprinklerového SHZ.

I proto se tento systém zatím v České republice příliš neprosadil. Avšak v některých objektech u nás již našel své uplatnění, jako například v Národní technické knihovně. V jiných zemích jako USA, Finsko, Švédsko nebo Norsko je tento typ hašení více rozšířen a já se domnívám, že je jen otázkou času, než se začne více prosazovat i u nás.

POROVNÁNÍ VÝSTŘIKOVÝCH PARAMETRŮ SPRINKLEROVÉHO A MLHOVÉHO STABILNÍHO HASICÍHO ZAŘÍZENÍ

Za hlavní výstřikové parametry považujeme velikost vodní kapky, rychlost výstřikového proudu a intenzitu dodávky. Tyto parametry ovlivňují účinnost hašení.

Velikost vodní kapky

Průměr vodní kapky je u mlhového zařízení ovlivněn provozním tlakem v systému a konstrukcí mlhové hlavice/hubice. Při vyšším tlaku je průměr kapky menší. Limit, při kterém přestává být velikost tlaku na průměr vodní kapky efektivní, je hodnota 200 bar. Při vyšším tlaku nedochází ke zlepšení hasicí schopnosti. Velikost kapek je u vysokotlaké mlhy (0,20–0,025 mm), u středotlaké (0,40–0,20 mm) a u nízkotlaké (1–0,4 mm). Velikost kapek sprchového proudu u sprinklerů se pohybuje v rozmezí 1–3 mm [1].

Rychlost výstřikového proudu

Tento parametr je taktéž závislý na konstrukci mlhové hlavice/hubice a tlaku. Rychlost výstřikového proudu musí být u mlhových hlavíc nastavena, aby kapky doletěly až do zóny plamenného hoření a u hašení pevných látek až na jejich povrch, tudíž rychlost proudu nesmí být příliš nízká. Na druhé straně nesmí být rychlost ani příliš vysoká, aby nedocházelo k turbulentnímu proudění s dodávkou čerstvého

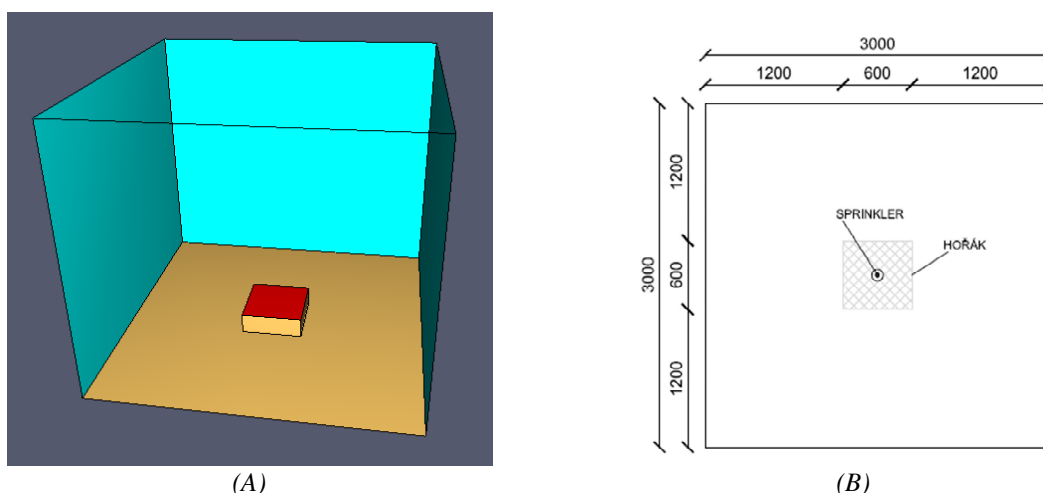
vzduchu do ohniska požáru. Velká rychlost výstřikového proudu s kapkami většího průměru by mohla mít i za následek rozvříení hladiny hořlavé kapaliny nebo její větší rozlití po prostoru. Platí, že rychlost výstřikového proudu u vysokotlaké mlhy je výrazně vyšší než u sprinkleru.

Intenzita dodávky

U hašení vodní mlhou se intenzita dodávky nejčastěji udává v g/m^3 , l/min.m^3 nebo l/min.m^2 . K bezpečnému uhašení malého požáru je zapotřebí intenzita dodávky 170 g/m^3 , kdy se vytvoří dusivý efekt obdobný hašení inertním plynem. Při požáru o výkonu vyšším než 1 MW se už vyžaduje intenzita dodávky minimálně 350 g/m^3 . Těchto hodnot je vodní mlha schopna dosáhnout již při $70\text{--}85^\circ \text{C}$, což dokazuje vysokou schopnost vodní mlhy účinně hasit požáry o velkém tepelném výkonu. Při teplotě 20°C je vodní mlha schopna dosáhnout maximální hodnoty hustoty vodní páry jen 20 g/m^3 , jelikož při vyšší intenzitě se kapka ve vzduchu neudrží a vlastní vahou padá k zemi. Intenzita dodávky u vysokotlaké mlhové hubice se pohybuje kolem $0,5 \text{ l/min.m}^2$, zatímco u sprchového proudu sprinklerové hlavice začíná hodnota intenzity dodávky na $2,25 \text{ l/min.m}^2$ [2].

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

V rámci řešeného příkladu byl vytvořen CFD model obytného prostoru (obr. 1). Byl nadefinován výřez místnosti o rozměrech $3 \times 3 \times 2,6 \text{ m}$. Stěny ohraničující prostor byly nastaveny jako otevřené. Ve středu místnosti byl umístěn hořák jako zdroj hoření. Rychlost uvolňování tepla byla nastavena taková, jako by se jednalo o křeslo s dřevěným rámem, polštářem z polyuretanu a látkovým potahem. Přímo nad středem hořáku ve výšce stropu byla umístěna v jednom případě sprinklerová visící hlavice typu TY-B K80 od firmy TYCO a v druhém případě vysokotlaká mlhová hlavice ULTRAFOG AB. Otevírací teplota v obou případech byla 68°C . Po výšce nad hořákem byly umístěny termočlánky, které zaznamenávaly průběhy teplot během celé simulace. Celá simulace trvala 600 s. Zkoumal se vliv obou zařízení na průběh teploty v prostoru a zajímalo nás jejich vzájemné srovnání [3].



Obr. 1 Dispozice modelovaného prostoru: (A) axonometrie; (B) půdorys
Fig. 1 Layout of model space: (A) axonometry; (B) horizontal plane

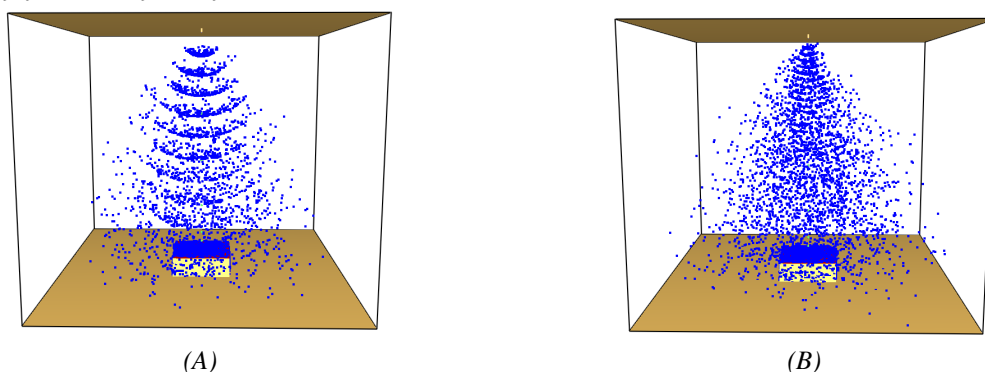
Tab. 1 Parametry hasicích hlavíc

Tab. 1 Parameters of extinguishing heads

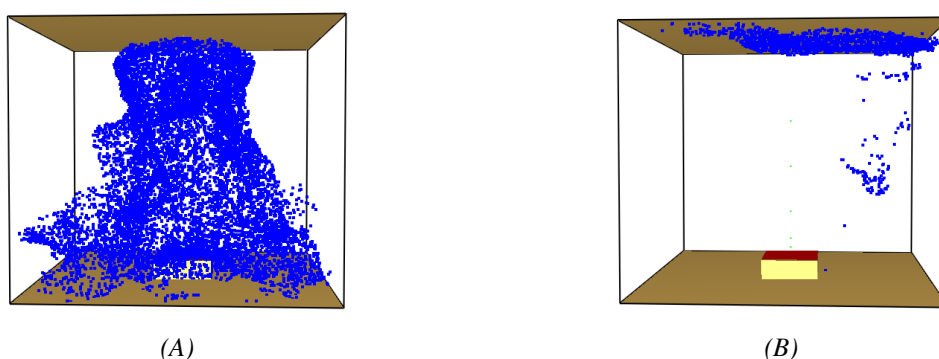
Parametr	TY-B K80	ULTRAFOG AB
Průměr kapek	1 mm	0,1 mm
Provozní tlak	1 bar	100 bar
K-faktor	$80,6 \text{ l/min.bar}^{1/2}$	$2,7 \text{ l/min.bar}^{1/2}$
Rychlost proudu	5 m/s	25 m/s
Výstřikový úhel	$0\text{--}60^\circ$	$60\text{--}80^\circ$
Otevírací teplota	68°C	68°C

VÝSLEDKY VÝPOČTU

Byly provedeny celkem tři simulace. V prvním případě probíhalo volné hoření, v druhém případě se aktivovala sprinklerová hlavice a ve třetím případě se aktivovala mlhová hlavice. Termočlánky měřící teplotu byly umístěny ve výšce 0,1; 0,2; 0,5; 1,0 a 1,5 m nad hořákem.



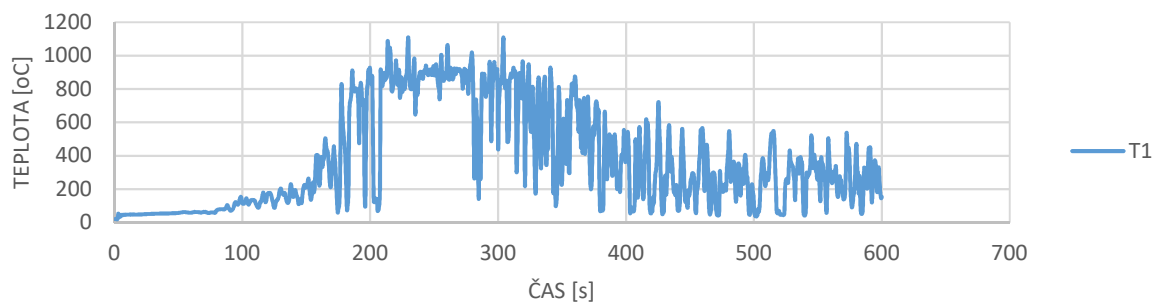
Obr. 2 (A) Sprinklerová hlavice (čas 00:02:00); (B) Sprinklerová hlavice (čas 00:04:30)
 Fig. 2 (A) Sprinkler head (time 00:02:00); (B) Sprinkler head (time 00:04:30)



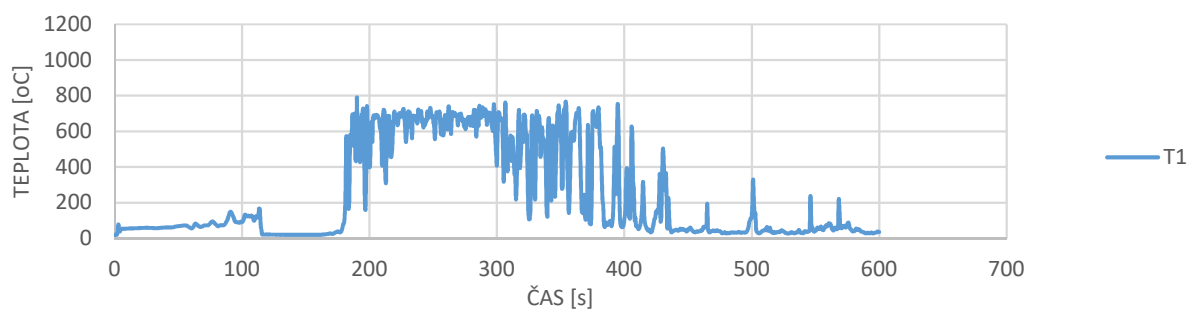
Obr. 3 (A) Mlhová hlavice (čas 00:02:00); (B) Mlhová hlavice (čas 00:04:30)
 Fig. 3 (A) Water mist nozzle (time 00:02:00); (B) Water mist nozzle (time 00:04:30)

Jelikož hořák jako takový nejde uhasit, sledoval se vliv stabilního hasicího zařízení na teplotu po výšce místnosti. Pro porovnání průběhu teplot jsem vybral termočlánek T1, který je umístěn půdorysně uprostřed ve výšce 0,4 m, tedy 0,2 m nad hořákem a 2,2 m pod hlavicí. Obě zařízení se aktivovaly v čase 115 s. Okamžitě došlo k výraznému snížení teploty v T1. Následné zvýšení rychlosti uvolňování tepla z hořáku zabránilo udržení nízké teploty v T1 během celé simulace. Můžeme si ale všimnout, že sprinkler udržel nízkou teplotu po delší dobu než mlhová hlavice.

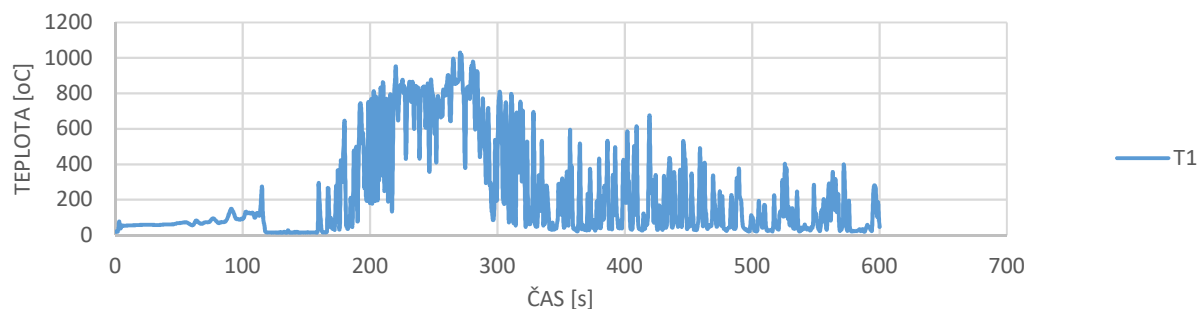
Při použití vodní mlhy byla nejvyšší naměřená teplota 1016°C v čase 271 s. Při použití sprinkleru byla nejvyšší teplota v T1 790°C v čase 190 s. Nižších maximálních teplot bylo tedy dosaženo při použití sprinkleru. Musíme si ale všimnout, že mlha lépe než sprinkler reaguje v oblasti nejvyššího tepelného výkonu hořáku, jelikož doba, po kterou dochází k maximálním hodnotám v T1 je výrazně kratší než při použití sprinkleru. Sprinkler reaguje zase lépe v oblastech nízkého tepelného výkonu hořáku.



Obr. 4 Průběh teploty v čase na termočlátku T1 bez použití stabilního hasicího zařízení
Fig. 4 Temperature over time in thermocouple T1 without using extinguishing device



Obr. 5 Průběh teploty v čase na termočlátku T1 s použitím sprinklerového zařízení
Fig. 5 Temperature over time in thermocouple T1 using sprinkler device



Obr. 6 Průběh teploty v čase na termočlátku T1 s použitím mlhového zařízení
Fig. 6 Temperature over time in thermocouple T1 using water mist device

ZÁVĚR

Při použití obou hasicích zařízení došlo ke snížení teploty v T1 během celé aktivity zařízení oproti volnému hoření. Účinky zařízení se ale poněkud lišily. Rozdíl byl jistě způsoben odlišnými výstřikovými parametry hlavíc. Domnívám se, že kapky sprchového proudu sprinkleru se díky vyššímu průměru lépe dostávaly do ohniska hoření, což při nižším výkonu hořáku mělo lepší účinky na snížení teploty v bodě T1. Mlha zase těžila z teorie malých kapek, kdy při vysokém tepelném výkonu hořáku lépe odebírala tepelnou energii než sprinkler.

LITERATURA

- [1] Rybář, P. *Stabilní hasicí zařízení vodní a pěnová*, edice PKPO č. 1, Praha 2015,
- [2] Rybář, P. *Mlhová stabilní zařízení pro protipožární ochranu objektů a technologií (1. Část)*. [online] 2017. Dostupné z : <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/16205-mlhova-stabilni-hasici-zarizeni-pro-protipozarni-ochranu-objektu-a-technologie-1-cast>
- [3] WALD, František a kol. *Modelování dynamiky požáru v budovách*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2017. ISBN 978-80-01-05633-2.

Zapálení2019

sborník 2. studentské vědecké konference Fakulty stavební ČVUT v Praze

kolektiv vedoucích předdiplomních prací

**Pokorný, M., Hejtmánek, P., Wald, F., Štefan, R., Koubková I., Pechová, P.,
Najmanová H., Benýšek, M.**

Vydalo: České vysoké učení technické v Praze

**Zpracovala: Fakulta stavební ČVUT v Praze
Katedra konstrukcí pozemních staveb
Thákurova 7, 166 29, Praha 6**

Vytiskla: on-line verze

78 stran | první vydání

ISBN: 978-80-01-06593-8

Květen 2019



Co je na situaci na obrázku špatně?



Hmm...

Provoz bránící útěku ze shromažďovacího prostoru není třídy reakce na oheň A1/A2.



ISBN 978-80-01-06593-8



Zapálení2019
sborník 2. studentské vědecké konference
Fakulty stavební ČVUT v Praze

Vydalo: České vysoké učení technické v Praze
Zpracovala: Fakulta stavební ČVUT v Praze
Vytiskla: on-line verze

78 stran | první vydání
ISBN 978-80-01-06593-8
Květen 2019