

**sborník 1. studentské
vědecké konference**

Zapálení2018

Fakulta stavební | 31. 5. - 1. 6. 2018
ČVUT v Praze | pozar.fsv.cvut.cz

Česká technika – nakladatelství ČVUT upozorňuje na dodržování autorských práv.

Za jazykovou a věcnou správnou obsahu díla odpovídají autoři.

Text neprošel redakční úpravou.

© kolektiv vedoucích předdiplomních prací:

Pokorný, M., Hejtmánek, P., Wald, F., Cábová, K., Štefan, R., Koubková I., Pechová, P., Sokol, Z., Adamovský, D., Najmanová H., Benýšek, M., Kuříková, M.

ISBN 978-80-01-06444-3

PŘEDMLUVA

První ročník dvoudenní konference Zapálení2018 pořádaný ve dnech 31. května a 1. června 2018 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) Integrovaná bezpečnost staveb, kteří budou prezentovat výsledky své před-diplomní přípravy formou přednášky a odborného článku. Vybraná témata budou prezentována také v posterové sekci 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 2018 vznikla za podpory interního projektu SVK ČVUT v Praze pro 2018. Zapálení tímto srdečně děkují!

kolektiv vedoucích před-diplomních prací

OBSAH

Předmluva.....	2
Obsah.....	4
Table of Contents	5

SEKCE A | POŽÁRNÍ BEZPEČNOST STAVEB

HAŠLOVÁ, V. Hodnocení evakuace v domovech pro seniory	9
PEŠKOVÁ, V. Experiment evakuace osob z vlakového vozu CityElefant	13
KUKLÍK, L. Citlivostní analýza modelů evakuace osob z vlakového vozu	17
SALAĎÁK, R. Požární rizika provětrávaných fasádních systémů	21
FIŠEROVÁ, E. Analýza tepelného namáhání exponovaných kontaktních zateplovacích materiálů	25
DVOŘÁK, M. Požární rizika fotovoltaických elektráren na obálce budovy	29
ZÁMORSKÁ, P. Nebezpečné spojení podzemních podlaží a předmětů na CHÚC.....	33
KAŇOK, K. Zmenšený model Room Corner Testu.....	37
SPOUROVÁ, L. Měření teploty a rychlosti proudění plynů v podmínkách zkoušky Room Corner Test.....	41
CHLÁDEK, J. Malorozměrové zkoušky požární odolnosti	45
PROCHÁZKA, M. Analýza procesu hoření dřevěné hranice	49

SEKCE B | NAVRHOVÁNÍ KONSTRUKCÍ ZA POŽÁRU

RASZKOVÁ, S. Požární ochrana žárovým zinkováním.....	55
KUČERA, J. Parametrické modely požáru pro EN 1991-1-2:2021	59
JANATOVÁ, K. Modelování požáru v halových objektech.....	63
PÍHOVÁ, K. Stabilizace ocelového nosníku pomocí sendvičových panelů při požáru.....	67
MARŠÍČKOVÁ, K. Ohybová tuhost sendvičových panelů při požáru	71
HRUŠKA, J. Spoj sendvičových panelů při požáru	75
JUREČKA, J. Analytický model ocelobetonového sloupu za zvýšené teploty.....	79
BIEN, S. Vlastnosti kompozitních materiálů	83
ŠPLÍCHALOVÁ, L. Sklo při vysokých teplotách	87
VOPATOVÁ, K. Pokročilý návrh spojů s ocelovými prvky v dřevěných konstrukcích	91
HAVLÍČKOVÁ, T. Informační model budovy a požadavky na dokumentaci stavby z požárního hlediska.....	95
KRÁL, P. Protivýbuchová opatření a protivýbuchový deflektor	99
LÁNSKÝ, T. Posuzování požární odolnosti betonových konstrukcí s využitím různých modelů požáru	103
MARKS., V. Vliv parametru odvětrání při výpočtu požárního rizika a vliv odvětrání při numerické simulaci požáru	107
MUSIL, J. Vývoj výpočetního nástroje pro stanovení požárního rizika ve výrobních objektech....	111
HAVLŮJ, J. Metody měření teploty v betonu vystaveném vysokým teplotám	115
RAJMAN, D. Měření vlhkosti v betonu vystaveném vysokým teplotám	119
ROCHELT, F. Metody měření mechanických vlastností betonu při vysokých teplotách.....	123

SEKCE C | AKTIVNÍ POŽÁRNÍ OCHRANA

ROTHOVÁ, B. Návrh a studie samočinného SHZ ve skladovacích prostorech.....	129
KRLÍN, M. Návrh a studie sprinklerového SHZ v administrativních budovách	133
BREZÍK, V. Analýza vlivu větru na přirozené větrání chráněné únikové cesty	137
HLAVÁČKOVÁ, B. Analýza možností přenosu tepla a kouře prostupem malého průřezu vzduchotechnického potrubí požárně dělicí stěnou.....	141
ZÁMORAVCOVÁ, I. Umístění požárního hlásiče elektrické požární signalizace	145
KLOUDOVÁ, A. Zásady návrhu elektrické požární signalizace v nevýrobním objektu	149

TABLE OF CONTENTS

SECTION A | FIRE SAFETY OF BUILDINGS

HAŠLOVÁ, V. Evacuation of Elderly People	9
PEŠKOVÁ, V. Evacuation Experiment from the CityElefant Train Car	13
KUKLÍK, L. Sensitivity Analysis of Evacuation Models from a Train Vehicle.....	17
SALAĐÁK, R. Fire Hazards of Ventilated Facades	21
FIŠEROVÁ, E. Analysis of Thermal Loading of Exposed Contact Heat Insulating Materials	25
DVOŘÁK, M. Fire Risk of Photovoltaics Power on the Building Envelope.....	29
ZÁMORSKÁ, P. Dangerous Connection of Underground Floors and Subjects on Protected Escape Route	33
KAŇOK, K. Reduced Scale Model for Room Corner Test	37
SPOUROVÁ, L. Measurement of Temperature and Gas Flow Velocity in the Test Conditions of Room Corner Test	41
CHLÁDEK, J. Small-scale Fire Resistance Tests	45
PROCHÁZKA, M. Analysis of the Process of Burning Wood Crib.....	49

SECTION B | STRUCTURAL DESIGN IN FIRE

RASZKOVÁ, S. Fire Protection with Hot Dip Galvanizing	55
KUČERA, J. Parametric Models of Fire for EN 1991-1-2:2021.....	59
JANATOVÁ, K. Modelling of Fire in Hall Buildings	63
PÍHOVÁ, K. Stabilisation of a Steel Beam by Sandwich Panels in Fire	67
MARŠÍČKOVÁ, K. Bending Stiffness of Sandwich Panels in Fire	71
HRUŠKA, J. Connection of Sandwich Panels in Fire.....	75
JUREČKA, J. Analytical Model of Steel and Concrete Column at Elevated Temperature	79
BIEN, S. Properties of Composite Materials.....	83
ŠPLÍHALOVÁ, L. Glass in High Temperatures	87
VOPATOVÁ, K. Advanced Design of Joints With Steel Elements in Timber Structures	91
HAVLÍČKOVÁ, T. Building Information ModelLing and Requirements for the Fire Safety Documentation	95
KRÁL, P. Explosion Prevention and Blast Deflector.....	99
LÁNSKÝ, T. Assessment of Fire Resistance of Concrete Structures with the Use of Different Fire Models.....	103
MARKS., V. The Influence of Ventilation Parameter in Fire Load Calculation and the Influence of Ventilation in Numerical Simulation during Fire.....	107
MUSIL, J. Development of a Calculation Tool for Determination of Fire Risk in Industrial Buildings	111
HAVLŮJ, J. Methods of Temperature Measurement in Concrete Exposed to High Temperatures.	115
RAJMAN, D. Methods of Moisture Measurement in Concrete Exposed to High Temperatures	119
ROCHELT, F. Mechanical Properties of Concrete at Elevated Temperatures – Test Methods	123

SECTION C | ACTIVE PROTECTION AGAINST FIRE

ROTHOVÁ, B. Design and Study of an Automatic Sprinkler System in Warehouse	129
KRLÍN, M. Design and Studies of Sprinkler Systems in Office Buildings	133
BREŽÍK, V. Wind-induced Natural Ventilation Analysis of Protected Escape Routes.....	137
HLAVÁČKOVÁ, B. Analysis of Possibilities of Heat and Smoke Transmission in a Small Cross Section Air Duct Through a Fire-Rated Wall.....	141
ZÁMORA VCOVÁ, I. Fire Alarm Location of the Fire Detection and Fire Alarm Systems.....	145
KLOUDOVÁ, A. Principles of Designing of Fire Detection and Fire Alarm System in Non-Industrial Facilities	149

HODNOCENÍ EVAKUACE V DOMOVECH PRO SENIORY

EVACUATION OF ELDERLY PEOPLE

Bc. Veronika Hašlová

Abstract

This article evaluates evacuation of elderly people from nursing homes. The topic is being on the front burner because of the population aging and the increasing demand for the accommodation in the nursing homes. The evacuation of one compartment of the nurse home called Centrum pro seniory Zahrada in Bystrice pod Hostýnem is assessed using a mathematical model created in Pathfinder software. Pathfinder software offers the feature of modelling the assisted evacuation which is used in the created model. Data from studies about the speed of movement of disabled and elderly people, dimensions of people and pre-evacuation time were used as inputs and the total evacuation time was simulated.

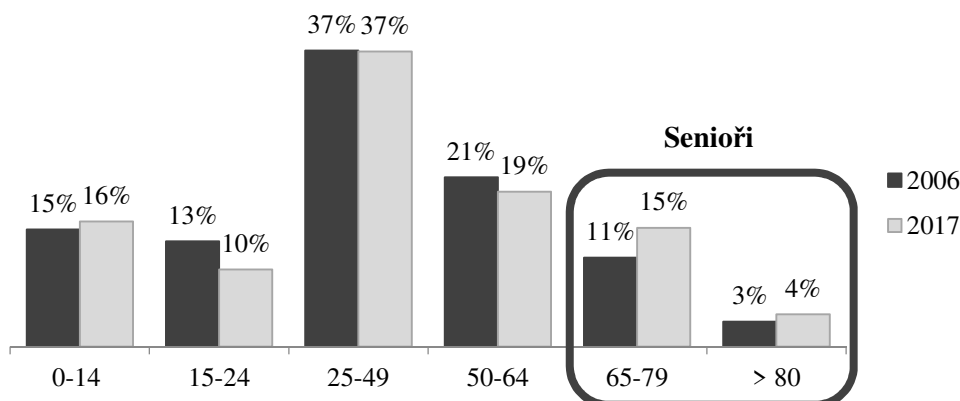
Key words: Evacuation; elderly; movement speed; evacuation time; model

ÚVOD

Problematika požární bezpečnosti a evakuace domova pro seniory je vzhledem ke zvyšování počtu seniorů, stárnutí populace a změně životního stylu lidí velmi aktuální. O pobyt v domovech pro seniory je stále větší zájem a vzrůstá požadavek na výstavbu nových domovů pro seniory. Starší lidé často trpí různými nemocemi a poruchami pohybového aparátu, díky čemuž mají omezené schopnosti pohybu a orientace. Evakuace obecně je složitý proces, což se u objektu, který je určen pro pobyt seniorů – osob s omezenou schopností pohybu a orientace, ještě více stupňuje. Domovy pro seniory jsou určeny lidem nad 60 let, kteří pobírají starobní nebo invalidní důchod a nejsou schopni bez pomoci druhé osoby vést samostatný život ve svém domácím prostředí [1]. Z toho vyplývá, že pohyblivost a schopnost evakuace seniorů v těchto zařízeních je omezená. Senioři jsou dle Vyhlášky č. 174/1994 považováni za osoby s omezenou schopností pohybu a orientace. Zákon o požární ochraně č. 133/1985 navíc hodnotí domovy pro seniory jako provozy se zvýšeným požárním nebezpečím.

STÁRNUTÍ POPULACE

Populace v Evropě stárne, což dokazuje fakt, že dle databáze Eurostat [2] se prodloužil mediánový věk obyvatel evropských států mezi rokem 2000 a 2017 o 5,3 let. Od roku 2000 zestárlí nejvíce obyvatelé Litvy o 7,6 let, zatímco nejméně zestárlí obyvatelé Švédska o 1,5 let. V České republice zestárlí obyvatelé o 4,6 let. Podíl seniorů ve věku 65–79 let byl v České republice v roce 2006 11,1 % a v roce 2017 14,8 %. Podíl seniorů starších 80 let byl v roce 2006 3,1 %, zatímco v roce 2017 4 %. Tato data, která jsou zobrazena v grafu na Obr. 1, dokazují stárnutí populace.



Obr. 1 Graf věkového rozložení populace v ČR v roce 2006 a 2017
Fig. 1 Distribution of the population in the Czech Republic by age in 2006 and 2017

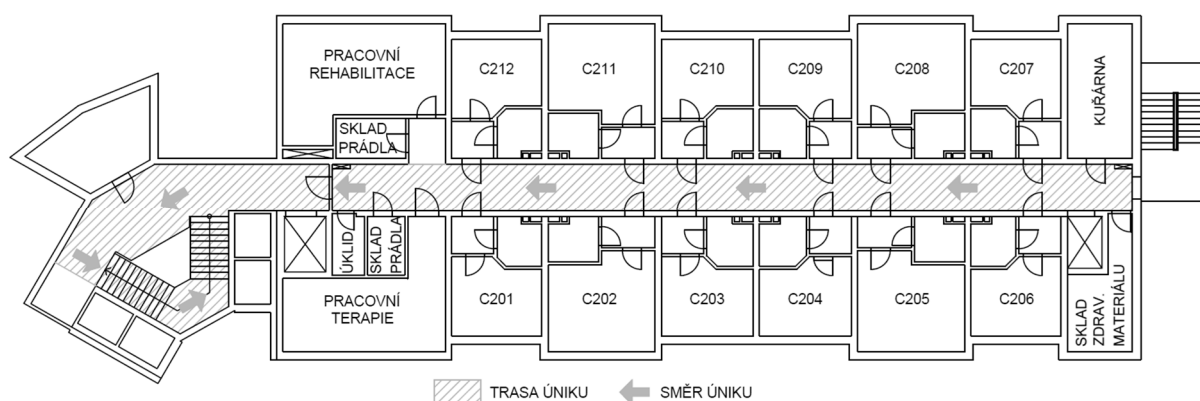
EVAKUACE SENIORŮ

Evakuace je proces, kdy se osoby přesouvají z místa nebezpečí (požáru) na místo bezpečné, nejčastěji na volné prostranství. Smyslové a kognitivní funkce jsou u starších lidí často zhoršeny, zároveň je u těchto lidí zvýšený i výskyt mentálních poruch. Díky tomu může být doba reakce a doba do zahájení pohybu seniorů delší a tito lidé jsou vystaveni většímu riziku při vzniku požáru než lidé mladší, kteří jsou schopni reagovat rychleji. Seniori mají mnohdy omezené schopnosti pohybu a zhoršenou obratnost, což vede k prodloužení doby pohybu do bezpečí. Ke svému pohybu používají různé kompenzační pomůcky, jako jsou hole, berle, chodítka, či rolátory. Někteří seniori jsou upoutáni na invalidní vozík či dokonce na lůžko. Díky tomu seniori vyžadují asistovanou evakuaci a celý proces evakuace je zdlouhavý. Pro usnadnění evakuace byly vyvinuty evakuační pomůcky, které usnadňují evakuaci jak po rovině, tak i po schodišti dolů. Mezi tyto pomůcky patří evakuační matrace, evakuační podložky a evakuační vozíky, které mohou být ve formě nosítek či s pohyblivými pásy.

MODEL EVAKUACE Z DOMOVA PRO SENIORY

Pro ověření, zda je evakuace z budov bezpečná, je možné využít modelování evakuace. Softwarů, které umožňují modelování evakuace z budov je mnoho a liší se zpracovaností a nástroji, které nabízejí. K evakuaci domovů pro seniory je vhodný například software Pathfinder, který od verze 2017.1 nabízí možnost modelovat asistovanou evakuaci. Nejen pro zhodnocení této funkce byl vytvořen model, v kterém je simulována evakuace jednoho oddělení domova pro seniory Centrum pro seniory Zahrada v Bystřici pod Hostýnem. Toto oddělení bude v září cvičně evakuováno ve spolupráci s HZS ČR a průběh evakuace z modelu bude porovnán s reálným průběhem cvičné evakuace. Půdorys modelovaného oddělení je zobrazen na Obr. 2. Cvičná evakuace bude probíhat pouze po vnitřním schodišti a ukončena bude v rámci objektu, aby osoby nemusely být vystaveny případnému nepříznivému počasí.

Modelované oddělení se nachází ve druhém nadzemním podlaží. V objektu jsou výtahy, které neslouží jako evakuační, proto probíhá evakuace pouze po schodišti. Na evakuovaném oddělení se nachází 10 jednolůžkových pokojů a 2 dvoulůžkové. Je zde ubytována jedna osoba schopná samostatného pohybu bez kompenzačních pomůcek, jedna osoba, která využívá hůl, pět osob, které používají rolátor, pět osob na mechanickém vozíku a dvě osoby jsou ležící. Celkem je tedy na oddělení ubytováno 14 osob. Modelované oddělení a náhodné rozmístění osob v rámci místností je zobrazeno na Obr. 3.



Obr. 2 Půdorys modelovaného oddělení s vyznačeným směrem úniku

Fig. 2 Floor plan of the modelled compartment

Pro modelování bylo potřeba shromáždit vhodná data, která byla do modelu následně vložena. Vstupní data jsou zobrazena v Tab. 1. Tato data se týkají rozměrů osob, rychlosti pohybu osob po rovině a po schodišti a době do zahájení pohybu. Díky používaným kompenzačním pomůckám se prostor, který osoby potřebují k pohybu, značně zvětšuje, což ovlivňuje hustotu osob a rychlost jejich pohybu. Zároveň je u osob s omezeným pohybem nutné určit rychlost pohybu, jak po rovině, tak po schodišti dolů. U osob na mechanickém vozíku a osob ležících byla také určena rychlost asistentů, kteří provádějí asistovanou evakuaci. Poslední, neméně důležitá informace, která je osobám přiřazena, je doba do zahájení

pohybu. Vzhledem k tomu, že evakuované osoby budou o cvičné evakuaci dopředu informovány, nebude doba do zahájení pohybu nijak dlouhá. Použity jsou hodnoty, které byly naměřeny při cvičné evakuaci nemocnice v Glasgow [6] a to proto, že není dostupná žádná studie, která by se zabývala přímo dobou do zahájení pohybu u seniorů.

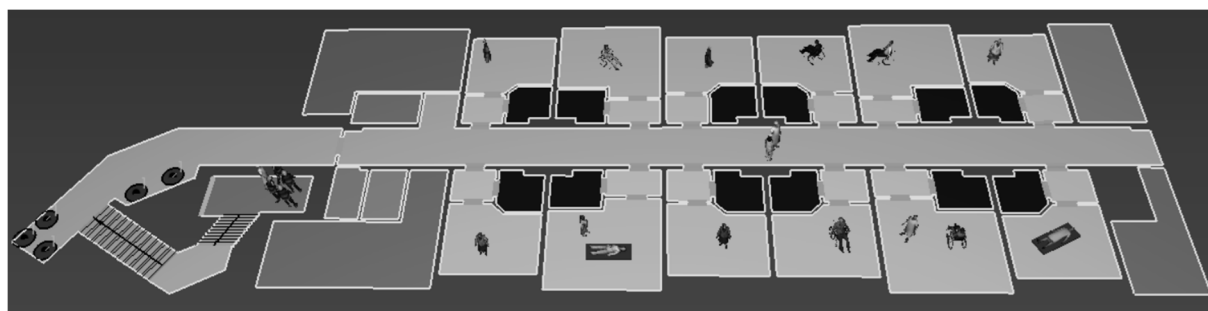
V rámci modelování byly vytvořeny dvě situace. V první situaci pomáhají s asistovanou evakuací dva hasiči a dva se věnují zajištění požářiště. Ve druhé situaci se účastní asistované evakuace čtyři hasiči. Doba dojezdu hasičů byla stanovena výpočtem na 5 minut. V modelu se hasiči vyskytují od začátku, ale pohybovat se začínají až se zpožděním právě 5 minut. Osoby s holí a rolátorem se po celou dobu evakuace pohybují samostatně. Osoby na mechanickém vozíku se pohybují samostatně ke schodišti, kde vyčkávají na příchod asistentů. Pro asistovanou evakuaci osob na vozíku je zapotřebí asistence tří osob. Osoby ležící jsou evakuovány na evakuačních matracích, k čemuž je potřeba asistence dvou asistentů. V první situaci asistuje dohromady 5 osob (3 zaměstnanci + 2 hasiči), ve druhé situaci asistuje celkem 7 osob (3 zaměstnanci + 4 hasiči).

Tab. 1 Vstupní hodnoty

Tab. 1 Input data

Charakteristika osoby	Rychlost po rovině [m/s]			Zdroj	Rychlost po schodišti dolů		Zdroj	Doba do zahájení pohybu [s]		Zdroj
	Průměrná rychlost	σ	Rozpětí		Průměrná rychlost	Poměr		Min	Max	
Samost. chodící	0,70	0,30	-	[3]	0,47	0,67	[3]	30	90	[6]
S jednou holí	0,43	0,30	-	[3]	0,2	0,47	[3]	30	90	[6]
S rolátorem	0,57	0,29	0,10 - 1,02	[4]	0,16	0,28	[4]	30	90	[6]
Na mech. vozíku	0,89	-	0,85 - 0,93	[4]	0,57	0,64	[5]	180	300	[6]
Ležící	0,90	0,32	-	[5]	0,62	0,69	[5]	-	-	-
Personál	1,25	0,32	0,82 - 1,77	[4]	0,7	0,56	[4]	120	120	[6]
Hasiči	1,25	0,32	0,82 - 1,77	[4]	0,7	0,56	[4]	300	300	-

Celková doba evakuace znamená čas, který uplyne od okamžiku, kdy EPS zaznamená požár a odešle signál o požáru na operační středisko HZS a dva ze zaměstnanců zahajují evakuaci. Třetí zaměstnanec nejprve vyhledává pokyny k evakuaci do domácího rozhlasu a až poté zahajuje evakuaci.



Obr. 3 Model evakuovaného oddělení

Fig. 3 Model of the evacuated compartment

Výpočet každé situace byl spuštěn desetkrát. Po spuštění situace se dvěma a čtyřmi hasiči byly osoby vždy náhodně přeuspořádány v rámci místnosti a byly jim náhodně přerozděleny přidělené vstupní hodnoty. Výsledná průměrná doba evakuace, minimální a maximální doba evakuace a směrodatná odchylka jsou zobrazeny v Tab. 2. Je nutné podotknout, že při simulaci cvičné evakuace není možné namodelovat průběh evakuace přesně tak, jak bude probíhat v realitě a to především proto, že lidské chování je nevyzpytatelné. Snahou tedy je se reálné situaci co nejvíce přiblížit. V reálné situaci budou zřejmě asistenti pomáhat osobám na mechanickém vozíku již při pohybu po rovině, k čemuž je potřeba asistence pouze

jedné osoby. V evakuaci po schodišti by následně museli dopomocť další dva asistenti. Software Pathfinder ovšem neumožňuje měnit počet asistentů v průběhu evakuace. Osoby na vozíku se tedy v modelu po rovině pohybují samy a na asistovanou evakuaci vyčkávají až u schodiště. V modelu zároveň nelze přímo zahrnout proces, kdy je osoba přemístována z lůžka na evakuační matraci. Nelze nastavit žádný časový prostoř mezi příchodem asistenta k evakuované osobě a začátkem asistované evakuace. Tyto časové prostoře jsou zahrnuty tak, že asistentům byla přiřazena průměrná rychlost pohybu zdravých osob, ač se předpokládá, že jejich rychlost bude při evakuaci vyšší.

Tab. 2 Zjištěná doba evakuace

Tab. 2 Measured evacuation time

Doba evakuace [min]														
Simulace	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Průměr	Min	Max	σ
2 hasiči	8,0	7,9	10,3	10,7	9,6	7,7	6,9	7,6	8,9	8,3	8,6	6,9	10,7	1,3
4 hasiči	6,9	7,1	10,4	10,7	8,7	7,2	6,5	6,7	7,7	7,1	7,9	6,5	10,7	1,5

ZÁVĚR

Článek shrnuje fakta, která dokazují stárnutí populace a nutnost zaměřit se na problematiku evakuace seniorů z domovů pro seniory, po jejichž službách se průběžně zvyšuje poptávka. Je popsán model jednoho oddělení domova pro seniory, vytvořený v softwaru Pathfinder, kde bude v rámci diplomové práce provedena cvičná evakuace, a data získaná z této cvičné evakuace budou porovnána s daty získanými modelováním. Článek také upozorňuje na fakt, že ač prošel program Pathfinder značným vývojem, funkce modelování asistované evakuace neposkytuje dokonalé a neomezené možnosti k přesnému namodelování situace. Výsledky modelování cvičné evakuace ukazují, že průměrná doba evakuace daného oddělení je 8,6 min v případě asistence 5 osob a 7,9 minut v případě asistence 7 osob. Je nutné podotknout, že tato doba evakuace zahrnuje relativně krátkou dobu do zahájení pohybu, protože evakuované osoby budou o evakuaci dopředu informovány. V situaci reálného požáru by byla celková doba evakuace jistě delší a to především v noci, kdy je doba do zahájení pohybu značná.

LITERATURA

- [1] *Centrum pro seniory Zahrada - obecně prospěšná společnost* [online]. [vid. 2018-03-08]. Dostupné z: <http://www.cpszahrada.cz/>
- [2] *Database - Eurostat* [online]. [vid. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
- [3] KHOLSHEVNIKOV, V., D. SAMOSHIN a R. ISTRATOV. *The problems of elderly people safe evacuation from senior citizen health care buildings in case of fire*. In: *Human Behaviour In Fire: Proceeding of 5th International Symposium*. 2012, s. 587–593.
- [4] BOYCE, K. E., T. J. SHIELDS a G. W. H. SILCOCK. *Toward the Characterization of Building Occupancies for Fire Safety Engineering: Capabilities of Disabled People Moving Horizontally and on an Incline*. *Fire Technology* [online]. 1999, **35**(1), 51–67. ISSN 0015-2684, 1572-8099. Dostupné z: doi:10.1023/A:1015339216366
- [5] ADAMS, A. P. M. a E. R. GALEA. *An Experimental Evaluation of Movement Devices Used to Assist People with Reduced Mobility in High-Rise Building Evacuations*. In: R. D. PEACOCK, E. D. KULIGOWSKI a J. D. AVERILL, ed. *Pedestrian and Evacuation Dynamics* [online]. Boston, MA: Springer US, 2011 [vid. 2018-05-11], s. 129–138. ISBN 978-1-4419-9724-1. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4419-9725-8_12
- [6] OHNSON, C. W. *Using Computer Simulations to Support A Risk-Based Approach For Hospital Evacuation*. Glasgow Accident Analysis Group. 2005, 24.

EXPERIMENT EVAKUACE OSOB Z VLAKOVÉHO VOZU CITYELEFANT**EVACUATION EXPERIMENT FROM THE CITYELEFANT TRAIN CAR****Bc. Veronika Pešková****Abstract**

This paper deals with the issue of emergency evacuation of passengers from a railway rolling stock. The theoretical part of the paper is focused on the earlier experiments and the knowledge which these experiments have brought. This theoretical background will be used to create the evacuation scenarios of planned evacuation experiment of evacuation from a train car, which will attempt to achieve the outputs, applicable in mathematical modeling. As a practical part is mentioned an author's research on the composition of passengers according to their age and physical abilities in a train. The collecting data will serve as a template for recruiting figurants for the planned experiment.

Key words: Evacuation; train; total evacuation time; emergency; flow rate.

ÚVOD

Při navrhování požární bezpečnosti se můžeme setkat se dvěma odlišnými přístupy, které nám v České republice ukládá Zákon České národní rady o požární ochraně (zákon č. 133/1985). Prvním z nich je tzv. klasický přístup, čili postup návrhu stanovený českou technickou normou. V případě požární bezpečnosti se jedná o normy řady ČSN 73 08xx. Další možností návrhu je tzv. „požárně inženýrský přístup“ (PIP). Výstupem tohoto přístupu jsou technické dokumenty, které prokazují bezpečnost a správnost vytvořeného návrhu.

Mezi kapitoly návrhu pomocí požárně inženýrského přístupu patří i evakuace z budov, z dopravních prostředků či z tunelů. Nástrojem pro ověřování bezpečných návrhů konstrukcí budov či vlaků jsou v dnešní době především počítačové modely. V programech si může uživatel namodelovat danou konstrukci a zadává charakteristické hodnoty. U matematických modelů, které jsou nástrojem pro ověřování celkové doby evakuace, je nezbytné znát hodnoty týkající se evakuovaných osob. Těmito hodnotami jsou například doba před zahájením pohybu, rychlost osob při evakuaci s ohledem na jejich věk a fyzickou zdatnost, hustota či tok proudu osob v kritických místech, kterým mohou být zúžené prostory, atd. Znalost těchto parametrů opět vychází z již provedených cvičení či experimentů, kterých k dnešní době není mnoho. Proto bude přínosem získat díky plánovanému experimentu evakuace osob další klíčové a cenné hodnoty, jak parametry pohybu osob, tak další poznatky získané při cvičné evakuaci týkající se lidského chování. Experiment evakuace osob z vlakového vozu EPJ 471 (CityElefant) proběhne 13. června 2018 ve spolupráci ČVUT v Praze a Výzkumného ústavu kolejových vozidel a.s.

V MINULOSTI PROVEDENÉ EXPERIMENTY

Kvůli náročnosti reálných evakuačních zkoušek (jak finanční tak časové), je dobré při jejich plánování vycházet nejprve z podobných již provedených experimentů za účelem využitelnosti získaných dat.

V letech 2005 a 2006 byly v USA provedeny zaměstnanci Volpe Center dva experimenty evakuace [1]. U prvního z nich opouštěli figuranti prostor vozu buď přímo na nástupiště či do vedlejšího vagónu v podmínkách nouzového osvětlení. Výsledkem tohoto cvičení byla naměřená celková doba evakuace cestujících z vnitrostátního vlakového vozidla. Výstupy tohoto experimentu sloužily především k verifikaci počítačových modelů. Další experiment se skládal ze dvou stěžejních scénářů, u kterých se lišil typ výstupu figurantů. V prvním případě opouštěli figuranti vůz po schodech na nestabilní dlážděný povrch (obr. 1a) a v druhém případě po schodech na úroveň nižšího rovného nástupiště (obr. 1b). Díky odlišnému typu výstupu z roku 2005 a 2006 tak mohly být výsledky těchto experimentů porovnány.



Obr. 1 Výstup z vozu (A) na dlážděný povrch; (B) na úroveň terénu [2]

Fig. 1 (A) Side-door stairway steps; (B) Side-door stairway and low platform (pavement) [2]

V roce 1999 provedla Greenwichská univerzita dva netradiční experimenty, při nichž bylo evakuováno 32 osob z převráceného vlaku [1]. Vůz měl otevřené únikové dveře a cestující leželi na spodní boční straně vozu simulující situaci, kdy při převrácení vozu vypadli ze sedadel. Rozdílem obou experimentů byla simulace požáru netoxickým kouřem. Při prvním cvičení se uskutečnily dva běhy, kdy v prvním případě byly otevřeny únikové dveře na obou koncích vlaku (celkový čas evakuace 3 min 34 s), při běhu druhém byl cestujícím k dispozici pouze jeden východ a celkový čas evakuace se navýšil téměř na dvojnásobek (7 min 8 s). Při druhém experimentu, kdy byl prostor vozu naplněn netoxickým kouřem simulujícím požár, se celkový čas evakuace opět navýšil téměř na dvojnásobek (13 min 19 s). Postupně se podařilo celkový čas evakuace v zakouřeném prostoru snížit díky posádce, která na evakuaci dohlížela a pomohla ji koordinovat.

Univerzita v Cranfieldu provedla v roce 1991 dva experimenty zaměřené na porovnání soutěžních a nesoutěžních běhů [1]. Účastníky experimentu byli především studenti, kterým byla při soutěžním scénáři přislíbena finanční odměna (£10 za účast při experimentu a dalších £5, pokud vlak opustí mezi první polovinou všech zúčastněných). Při soutěžních podmínkách evakuace, kdy byli figuranti motivováni dostat se z vozu co nejrychleji, byl celkový čas evakuace 39 s. Při nesoutěžních podmínkách se navýšil na 53 s.

V roce 2008 provedli odborníci z Vídně experiment evakuace zaměřený na simulaci prostoru v tunelu [3]. Experimentu se zúčastnili z největší části mužští zaměstnanci depa. Vzorek těchto figurantů není dostatečně reprezentativní a můžeme jej nazvat homogenní skupinou. Hlavní pozorování bylo soustředěno na těsnou geometrii uličky mezi stěnou vozu a tunelem. V tomto místě může docházet ke kritickému křížení proudu vystupujícího z vozu a proudu unikajícího podél vlaku na bezpečné místo. Kvůli bezpečnosti experimentu byl tento prováděn mimo tunel na volném prostranství se simulací tunelového prostoru. Při výstupu museli cestující překonávat výškový rozdíl terénů 1,0–1,2 m, proto byla později z videozáznamů pořízených během experimentu sledována také technika překonávání výškového rozdílu.

VÝBĚR FIGURANTŮ PRO EXPERIMENT

Při plánování experimentu evakuace osob z jednotky CityElefant se jedním z hlavních pozorovaných parametrů stal vliv heterogenity davu na celkovou dobu evakuace, jelikož u většiny provedených experimentů bylo využíváno davu homogenního (věk figurantů od 18 do 55 let). Pod pojmem „heterogenní dav“ si můžeme představit skupinu figurantů, kteří mají odlišné vlastnosti (senioři, děti, zdravotně tělesně postižení). V tomto případě jsou myšleny pohybové schopnosti, které se během evakuace promítnou na rychlosti, hustotě a toku osob na kritických místech ve voze. Ve snaze napodobit reálnou situaci, kdy vlakem cestují lidé různého věku a pohybové zdatnosti, je výběr dobrovolníků tohoto experimentu zaměřen na takové složení figurantů, které by co nejvíce odpovídalo běžně cestujícím osobám. Výběr figurantů tedy nebude směřovat jen na studenty a zaměstnance Depa kolejových vozidel, kteří by představovali homogenní skupinu cestujících díky podobností svých pohybových schopností a zdatnosti, ale také na osoby vymykající se této kategorii.

Vlastním průzkumem složení cestujících ve vloženém voze EJ 041 bylo zjištěno průměrné složení cestujících, které bude sloužit jako šablona pro stanovení předběžných počtů jednotlivých skupin figurantů za účelem snahy napodobit reálnou situaci. Jako základní parametr, kterým se řídí rozdělení figurantů do skupin pro potřeby cvičné evakuace, je jejich věk. Nejpřesnějším určením stáří cestujících v jednotlivých vozech je zcela nepochybně jejich oslovování a dotazování se. Kvůli časové náročnosti tohoto postupu byl zvolen odhad věku cestujících s přihlédnutím také k jejich fyzické zdatnosti. Předem zvolené skupiny jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1 Věkové rozhraní jednotlivých skupin a jejich předpoklady

Tab. 1 Age dividing line of individuals groups and their assumptions

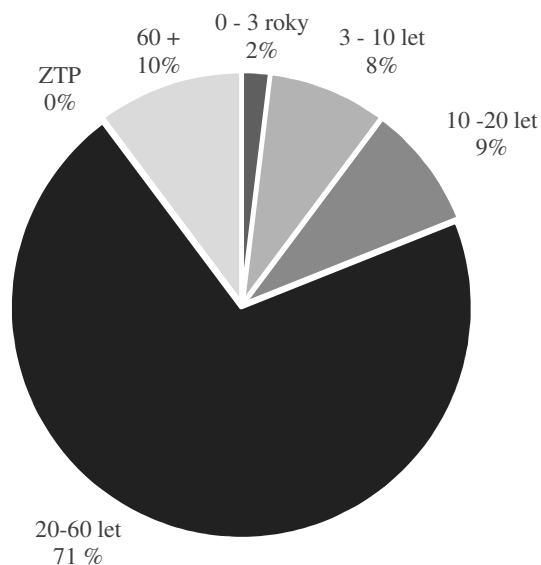
Skupiny	Předpoklady jednotlivých skupin
0–2	děti přibližně do dvou let se při hromadném opuštění vlaku zcela jistě nebudou pohybovat sami, ale v náručí rodičů či jiných blízkých osob
2–10	děti od tří do deseti let budou pohybovat sami, ale v těsné blízkosti u rodičů či známých, budou následovat jejich pokyny, při překonávání výstupu mohou být závislé na pomoci druhých a zároveň nemají fyzické předpoklady pro to druhým pomoci
10–20	mládež od deseti do dvaceti let nebude mít s rychlým pohybem problém, může mít však v nouzových situacích méně zkušeností
20–60	osoby od dvaceti do šedesáti let jsou fyzicky zdatní a „bezproblémoví“
60 a více	Osoby starší šedesáti let se budou pohybovat pomaleji a mohou mít problém s překonáváním výškového rozdílu při výstupu, mohou být závislí na pomoci druhých
ZTP ¹	Pohyb zdravotně tělesně postižených či zraněných osob (například se sádrou na noze) bude pomalý a tito lidé budou závislí na pomoci druhých
¹⁾ Zdravotně tělesně postižení	

Jelikož je elektrická jednotka CityElefant využívána především na trasách mezi Prahou a Středočeským krajem, byly pro průzkum zvoleny jak pražské tak meziměstské spoje. Jejich načasování bylo zvoleno tak, aby bylo možné porovnat složení cestujících, kteří v ranních hodinách či koncem víkendu dojíždějí do hlavního města za prací či studiem a opačným směrem jízdy v tutéž dobu, rozdíl mezi složením ve všedních dnech a o víkendech či obsazenost vozů jednotlivých spojů. Jednotlivé jízdy jsou spolu s jejich trasami a načasováním uvedeny v tab. 2.

Tab. 2 Složení cestujících ve voze EPJ 041 při konkrétních jízdách

Tab 2 Composition of passengers in EPJ 041 for specific rides

Spojení Čas	Věková kategorie						Spojení Čas	Věková kategorie					
	0-2	2-10	10-20	20-60	60+	Celkem		0-2	2-10	10-20	20-60	60+	Celkem
Pražské spoje													
Praha - Holešovice → Praha - Hlavní nádraží													
Út 16:58	1	3	0	40	6	50	Ne 12:58	2	8	3	34	8	55
So 16:58	1	4	6	24	9	43	Ne 14:58	2	3	0	45	0	50
Praha - Masarykovo nádraží → Praha - Horní Počernice													
Pá 7:51	0	3	0	15	2	20	Pá 7:51	1	0	15	12	4	32
Praha - Horní Počernice → Praha - Masarykovo nádraží													
Pá 8:17	0	1	3	62	7	73	Pá 8:17	0	2	0	84	2	88
Meziměstské spoje													
Poděbrady → Kostomlaty nad Labem													
Ne 17:46	0	5	4	7	3	19	Ne 17:46	1	10	3	19	7	40
Praha - Masarykovo nádraží → Kostomlaty nad Labem													
Čt 11:51	2	7	2	16	4	31	Čt 15:51	0	1	6	31	2	40
Děčín → Praha - Hlavní nádraží													
Ne 13:26	2	7	5	16	12	42	Ne 17:26	1	2	12	73	3	91



Obr. 2 Rozdělení cestujících dle věku a pohybových schopností
 Fig. 2 Distribution of the passengers by age and physical abilities

Z obr. 2 je jasně patrné, že nejčastější zastoupení mezi cestujícími mají osoby ve věku 20–60 let. Tuto skutečnost můžeme odůvodnit tím, že ze všech pozorovaných skupin má právě tato největší věkový rozptyl a že se jedná o skupinu, která nejvíce využívá kolejovou dopravu. Při průzkumu cestujících na daných linkách nebyla zpozorována žádná zdravotně tělesně postižená či zraněná osoba.

Při náboru dobrovolníků pro experiment bude snahou získat alespoň 80 figurantů, z toho přibližně 2 děti do dvou let, 5 dětí ve věku od dvou do deseti let, 8 osob ve věkovém rozmezí 10 až 20 let, 58 osob ve věku od 20 do 60 let, přibližně 7 osob starších šedesáti let a 1 až 2 figuranti budou namaskováni tak, aby byl jejich pohyb omezen (simulace sádry na noze). Figuranti budou rozděleni do dvou skupin, z nichž jednu budou tvořit pouze osoby ve věku přibližně 20 až 60 let bez jakýchkoli pohybových omezení (homogenní dav) a druhou osoby všech kategorií (heterogenní dav).

ZÁVĚR

Z výše zmíněných evakuačních zkoušek, které byly již minulosti provedeny, se ani jedna netýkala pozorování vlivu heterogenního davu na celkovou dobu evakuace. Vliv osob se sníženou schopností pohybu jistě přinese s plánovaným experimentem zajímavé výsledky dále použitelné v počítačových modelech.

LITERATURA

- [1] MARKOS, Stephanie H. a John K. POLLARD. *Passenger Train Emergency Systems: Review of Egress Variables and Egress Simulation Models* [online]. 2013 [vid. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://www.fra.dot.gov/eLib/details/L04506>
- [2] MARKOS, Stephanie H. a John K. POLLARD. *Passenger Train Emergency Systems: Single-Level Commuter Rail Car Egress Experiments*. 2015
- [3] OSWALD, M., H. KIRCHBERGER a C. LEBEDA. *Evacuation of a High Floor Metro Train in a Tunnel Situation: Experimental Findings*. 2008

CITLIVOSTNÍ ANALÝZA MODELŮ EVAKUACE OSOB Z VLAKOVÉHO VOZU

SENSITIVITY ANALYSIS OF EVACUATION MODELS FROM A TRAIN VEHICLE

Bc. Lukáš Kuklík

Abstract

The key objective of this paper is a sensitivity analysis of train evacuation models. The theoretical part sums up current understanding of sensitivity analysis and critically reviews previous research studies, current methodologies and overall the applications of sensitivity analysis in fire safety. The practical part is devoted to a case study, which is focused on a multi-parameter sensitivity analysis of selected evacuation model scenarios selected from Pathfinder. The sensitivity analysis anticipates only the exit type and its width as a variable.

Key words: Fire safety; evacuation; passenger train; evacuation models; sensitivity analysis

ÚVOD

Matematické evakuační modely se v současné době používají stále častěji, a to díky jejich finanční a časové úspornosti, dostupnosti a širokému spektru použitelnosti. Za pomoci matematického modelování lze simulovat evakuaci vlaku bez organizačně, časově a finančně náročných fyzických zkoušek, při kterých hrozí i riziko zranění účastníků. Nevýhodou matematického modelování je riziko chybného použití těchto nástrojů uživatelem. Za předpokladu vhodného postupu může být dalším omezením obtížné získávání relevantních dat vstupních parametrů. Zefektivnění tohoto procesu by bylo určitě několik vstupních parametrů, které mají významný vliv na sledovaný výstupní parametr. Díky tomu by bylo možné zaměřit se především na tyto parametry a stanovit pro ně přesnější data a tím i zpřesnit výsledky simulace. Pro odhalení těchto významných vstupních parametrů lze využít nástroje citlivostní analýzy.

RANÁ HISTORIE CITLIVOSTNÍ ANALÝZY MODELŮ V POŽÁRNÍ BEZPEČNOSTI

V této části jsou uvedeny a shrnuty dřívější publikace vztahující se k citlivostní analýze počítačových modelů v požární bezpečnosti. Shrnutí je určeno k ocenění současného stavu poznání a nesnaží se přednést vyčerpávající přehled dřívějších publikací.

Většina studií citlivostní analýzy v oblasti požární bezpečnosti byla provedena na zónových nebo analytických modelech. Jednou z prvních aplikací nástrojů citlivostní analýzy na počítačové modely se v roce 1982 zabýval Ndubizu a kol. pro model „liquid pool fire“ za použití programu FAST (předchůdce dnešního programu CFAST) [1]. V roce 1996 Fu a Fan zkoumali citlivost dvouzónového modelu pro požáry budov [2]. Citlivostní analýza byla provedena, aby se zjistily vlivy některých modelových parametrů, a to konvektivní součinitel přestupu tepla, vodivost, šířka okna a šířka dveří, na rychlost uvolňování tepla a strhávání prachu. V roce 1998 Bukowski a kol. studoval citlivost evakuačního modelu airEXODUS pro komerční letadla [3]. Jedním z cílů této studie bylo identifikovat ty proměnné, které mohou mít největší vliv na předpokládaný výstupní čas, a tedy i proměnné, které by měly být pečlivě kontrolovány, aby se zajistily spolehlivé odhady výstupního času. Tito výše uvedení autoři získali hodnoty citlivosti tím, že postupně změnili některé nominální hodnoty a poté vyhodnotili poměr procentní změny výstupu k procentuální změně vstupu. Naproti tomu Peacock a kolektiv [4] odvodili soubor citlivostních rovnic z množiny rovnic z programu ASET-B, který použili k simulaci vývoje požáru a kouře v jedné místnosti. Následně tyto odvozené rovnice vyřešili a tím získali citlivosti parametrů. Ve svém článku ale také přiznávají, že pro složitější modely požáru může být tato metoda nekontrolovatelná.

Zajímavým přínosem byla v roce 2002 provedená citlivostní analýza jednoduchých analytických formulací pro odhad zvýšení teploty chráněných ocelových konstrukcí za požáru [5]. Práce zkoumala vliv tepelně izolačních vlastností materiálů na rychlost nárůstu teploty. Významnými vstupními parametry byly koeficienty přenosu tepla, tloušťka izolace a tepelné vlastnosti izolačních materiálů. Výsledky této

citlivostní analýzy ukázaly, že pro izolaci s relativně vysokou hustotou a vysokou vodivostí (jako je beton), formulace Eurokódu 3 může poskytnout výsledky, které se významně liší od přesného řešení. Pomocí citlivostní analýzy bylo pro určité parametry upozorněno na omezení analytického modelu Eurokódu 3.

CITLIVOSTNÍ ANALÝZA EVAKUAČNÍCH MODELŮ

Tato kapitola na konkrétních výzkumech ukazuje možnosti a přínosy, které nabízí užití citlivostní analýzy v oblasti modelování toku a evakuace osob. Takovou studii se zabýval Duives a kol. [6], kdy za pomoci citlivostní analýzy byly uskutečněny první kroky v kalibraci a validaci modelu kontinua. Pomocí čtyř případových studií byla testována citlivost predikce modelu s ohledem na parametry, které řídí simulaci chování při chůzi v rámci pohybu davu. Na základě výsledků se dospělo k závěru, že začlenění lokálního chování volby trasy a vyvážení schopností chodců s ohledem na vlastní třídu a jiné třídy jsou nezbytné pro správnou predikci dynamiky pohybu davu. V tomto modelu třída popisuje všechny chodce, kteří chodí ze stejného počátku do stejného cíle a mají stejné fyzické schopnosti. Citlivostní analýza odhalila dále dvě chyby v současném modelu, a to že není schopna simulovat anticipace a zónu s nízkou hustotou za rohem. Tyto problémy mohou být díky tomu v budoucnu zmírněny. Citlivostní analýzu na parametry nového evakuačního modelu aplikoval také Yan a kol. [7]. Modifikace nového mikroskopického evakuačního modelu na principu buněk spočívala především ve zlepšení statického podlahového pole. Výsledky studie citlivosti ukázaly, že doba evakuace je citlivá na tři kognitivní koeficienty a parametry modelu.

Zajímavou ukázkou citlivostní analýzy v oblasti evakuace je studie zabývající se modelem spolehlivosti bezpečné evakuace osob z veřejných shromažďovacích prostorů [8]. Případová studie se zabývala prostorem nákupního střediska a evakuační čas byl stanoven ručním výpočtem. Byly analyzovány jak koeficienty citlivosti, tak citlivostní parametry. Dalším příspěvkem v této oblasti, který stojí za zmínku, je článek zabývající se optimalizací požární bezpečnosti pomocí kritérií přijatelnosti [9], kde byla provedena citlivostní analýza času ASET a RSET. Měřítka citlivosti se použila k odhalení vlivu nejistoty ohledně odhadu rizika. Tento přístup byl použit například pro optimalizaci minimální požadované šířky dveří maloobchodních budov. Zjištěnými významnými parametry byly rychlost rozhořívání a hustota osob, důkladným stanovením těchto parametrů se mohlo významně snížit přidružené zkrácení při posuzování rizik.

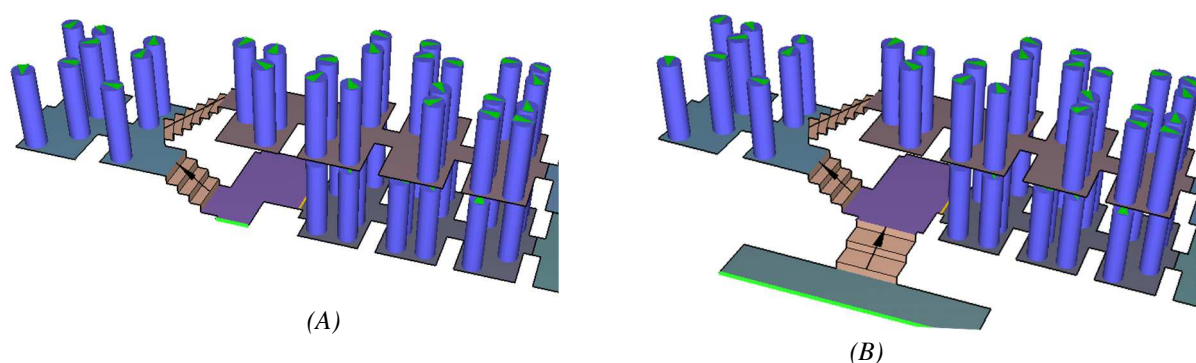
NÁSTROJE CITLIVOSTNÍ ANALÝZY

Citlivostní analýzu lze dělit do tří základních skupin [10]. Nejjednoduššími jsou *lokální metody*, které jsou zaměřeny na jeden konkrétní bod v celém modelu. Mezi tyto metody patří například jednocestná citlivostní analýza. V případech, kdy je model tak komplikovaný a rozsáhlý, že není možné jiným způsobem citlivostní analýzu provést, se používají *screeningové metody* citlivostní analýzy. Tyto metody se používají v případech, kdy je v modelu nezbytné identifikovat nejdůležitější parametry. Hlavními požadavky na screeningové metody jsou výpočetní jednoduchost a zároveň poskytování kvalitních informací o tom, které parametry jsou fixní. Následně po identifikování nejdůležitějších parametrů, mohou být modely dále zpracovávány výpočetně daleko náročnějšími metodami. Ty představují *globální metody*, které jsou nejkompaktnější a nejnáročnější. Globální metody se snaží objasnit celý prostor, nebo alespoň část prostoru, kde je vysoce pravděpodobné, že se mohou pohybovat skutečné hodnoty těchto parametrů. Tyto metody poskytují nejpodrobnější informace o zkoumaném modelu, ale jsou také výpočetně nejnáročnější.

Obecně se nejčastěji používají metody Monte Carlo ve spojení s různými strategiemi vzorkování. Analýza citlivosti je v tomto kontextu zaměřena mimo jiné na stanovení priorit a určení toho, který faktor nejvíce potřebuje přesnější určení a díky tomu lze identifikovat slabé články (ty, které šíří nejvíce rozptylu ve výstupu). Citlivostní analýza se v této souvislosti často provádí podle regresních technik, jako jsou standardizované regresní koeficienty. Regresní koeficient pro daný faktor hraje roli měřítka citlivosti pro tento faktor. Výhodou regresní analýzy je, že je jednoduchá a má nízké výpočetní náklady.

PŘÍPADOVÁ STUDIE

Řešená případová studie je zaměřena na analýzu citlivosti geometrických parametrů evakuačního modelu. Evakuační scénáře byly modelovány v programu Pathfinder, verze 2018 a víceparametrová citlivostní analýza byla provedena v programu Simlab. Zkoumaným výstupním parametrem je celkový čas evakuace z vlakového vozu a analyzovanými vstupními parametry jsou druh výstupu z vlakového vozu a šířka nástupního prostoru. Modelované evakuační scénáře byly vybrány záměrně, neboť v souvislosti s navazujícím výzkumem proběhne také reálný experiment, který bude zahrnovat tyto scénáře. Jedná se o dva evakuační scénáře, při kterých bude využito zrcadlové symetrie a vlakový vůz bude obsazen pouze na jedné polovině. První variantou je výstup z vozu dveřmi na nástupiště, Obr. 1 (A). Druhou variantou je pak výstup dveřmi na schodiště a na úroveň okolního terénu, Obr. 1 (B). Pro obě varianty výstupů (nástupiště, schodiště) byly postupně modelovány různé rozměry zábran v nástupním prostoru. V závislosti na tom se měnila šířka výstupních dveří, a to v rozmezí 740 až 1340 mm. Omezení prostoru, rozmístění osob a druhy výstupů jsou patrné z Obr. 1.

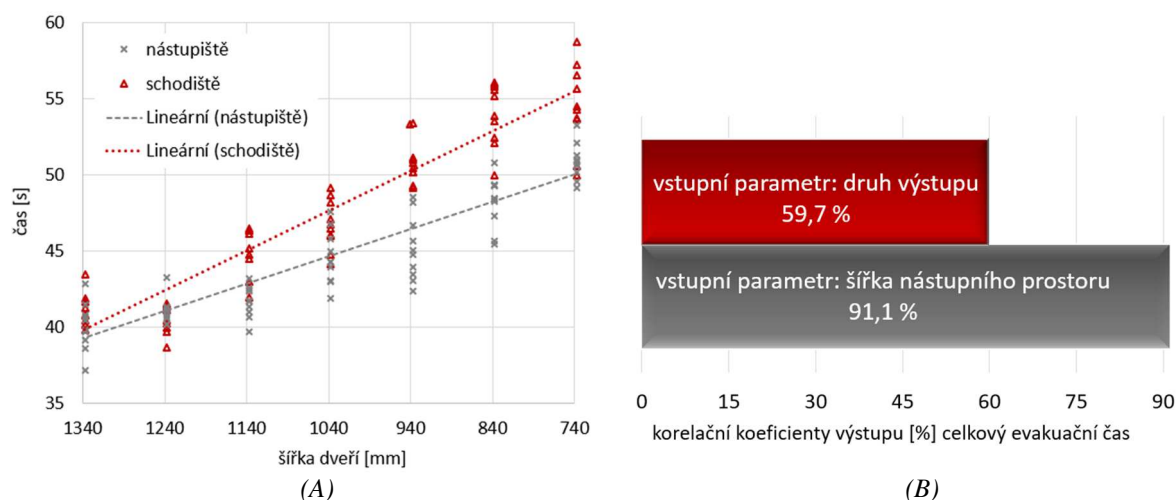


Obr. 1 Vizualizace modelovaného prostoru (A) šířka dveří 740 mm, druh výstupu – nástupiště; (B) šířka dveří 1340 mm, druh výstupu – schodiště

Fig. 1 Visualization of model space (A) door width 740 mm, output type – platform; (B) door width 1340 mm, output type - staircase

VÝSLEDKY

Sledovaným výstupním parametrem byla doba evakuace, kdy konec modelu byl uvažován ve vstupních dveřích. S ohledem na stochastickou povahu výpočetního programu bylo provedeno 10 opakování každé simulované šířky nástupního prostoru, a to pro obě varianty výstupu. Na následujícím grafu Obr. 2 (A) jsou vidět výsledné evakuační časy v závislosti na typu výstupu a šířky dveří.



Obr. 2 (A) Celkové doby evakuace; (B) Parciální korelační koeficienty

Fig. 2 (A) Total evacuation times; (B) Partial correlation coefficients

Pomocí lineárních čar, které jsou proloženy výsledky je znázorněn trend závislosti evakuačního času na šířce nástupního prostoru. Je patrné, že se zmenšujícím se nástupním prostorem rostou celkové časy evakuace u typu výstupu se schodištěm více než u typu na nástupiště. Tomu odpovídají i získané koeficienty z citlivostní analýzy, Obr. 2 (B). Sledovaný výstupní parametr (celkový čas evakuace) má větší citlivost na šířku nástupního prostoru než na parametr druhu výstupu. Program Simlab označil jako významné oba vstupní parametry (šířku nástupního prostoru i druh výstupu).

ZÁVĚR

Oproti jiným odvětvím v požární bezpečnosti je citlivostní analýza evakuačních modelů vlaků celkem opomíjená. Přitom v omezeném prostoru vlaku, ve kterém mohou být ztížené podmínky evakuace, kde se mohou vyskytovat různě pohybově omezení lidé a vlak se může nacházet v různě složitém prostředí, je velké množství vstupních parametrů a nejistot. Aplikace citlivostní analýzy v této oblasti tedy má význam a může přinést zajímavé poznatky. Na konkrétních výzkumech jsou v článku představeny možnosti a přínosy, které nabízí užití citlivostní analýzy v oblasti modelování toku a evakuace osob. Dále je v článku řešená případová studie a výsledkem provedené citlivostní analýzy vybraných evakuačních scénářů je prokázána citlivost celkového času evakuace na geometrické parametry vlaku.

LITERATURA

- [1] NDUBIZU, C. C., D. E. RAMAKER, P. A. TATEM a F. W. WILLIAMS. *A model of freely burning pool fires*. Combustion science and technology. 1983, 31(5–6), 233–247.
- [2] FU, Zhuman a Weicheng FAN. *A Zone-type Model for a Building Fire and Its Sensitivity Analysis*. *Fire and Materials* [online]. 1996, 20(5), 215–224. ISSN 1099-1018. Dostupné z: doi:10.1002/(SICI)1099-1018(199609)20:5<215::AID-FAM575>3.0.CO;2-M
- [3] BUKOWSKI, Richard W., Richard D. PEACOCK a Walter W. JONES. *Sensitivity Examination of the airEXODUS Aircraft Evacuation Simulation Model*. NIST [online]. 1998 [vid. 2018-03-17]. Dostupné z: <https://www.nist.gov/publications/sensitivity-examination-air Exodus-aircraft-evacuation-simulation-model>
- [4] PEACOCK, Richard D., Paul A. RENEKE, C. Lynn FORNEY a Michael M. KOSTREVA. *Issues in evaluation of complex fire models*. *Fire Safety Journal* [online]. 1998, 30(2), 103–136. ISSN 0379-7112. Dostupné z: doi:10.1016/S0379-7112(97)00061-1
- [5] WONG, M. B. a J. I. GHOJEL. *Sensitivity analysis of heat transfer formulations for insulated structural steel components*. *Fire Safety Journal* [online]. 2003, 38(2), 187–201. ISSN 0379-7112. Dostupné z: doi:10.1016/S0379-7112(02)00057-7
- [6] DUIVES, Dorine C., Winnie DAAMEN a Serge P. HOOGENDOORN. *Continuum modelling of pedestrian flows — Part 2: Sensitivity analysis featuring crowd movement phenomena*. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* [online]. 2016, 447, 36–48. ISSN 0378-4371. Dostupné z: doi:10.1016/j.physa.2015.11.025
- [7] YAN, Xu, Huang HAI-JUN a Yong GUI. *Modified Static Floor Field and Exit Choice for Pedestrian Evacuation*. *Chinese Physics Letters* [online]. 2012, 29(8), 080502. ISSN 0256-307X. Dostupné z: doi:10.1088/0256-307X/29/8/080502
- [8] MAO, Zhanli, Honglin MU, Huahua XIAO, Jinhua SUN a Lijing GAO. *Reliability Analysis of Occupant Safety Evacuation in Public Assembly Occupancies*. *Procedia Engineering* [online]. 2013, 62, 9th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology, 493–500. ISSN 1877-7058. Dostupné z: doi:10.1016/j.proeng.2013.08.092
- [9] DE SANCTIS, Gianluca a Mario FONTANA. *Risk-based optimisation of fire safety egress provisions based on the LQI acceptance criterion*. *Reliability Engineering & System Safety* [online]. 2016, 152, 339–350. ISSN 0951-8320. Dostupné z: doi:10.1016/j.ress.2016.04.001
- [10] SALTELLI, Andrea. *Sensitivity analysis: Could better methods be used?* *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* [online]. 1999, 104(D3), 3789–3793. ISSN 0148-0227. Dostupné z: doi:10.1029/1998JD100042

POŽÁRNÍ RIZIKA PROVĚTRÁVANÝCH FASÁDNÍCH SYSTÉMŮ

FIRE HAZARDS OF VENTILATED FACADES

Bc. Richard Salad'ák

Abstract

Facades form dominant elements of buildings from an aesthetic point of view. For these purposes there are often used cladding materials made on natural and artificial base. Between a cladding and thermal insulation is a ventilated gap, which requires a great deal of attention for interior design of buildings. However, such a construction involves risks in the field of fire safety. The introduction of the article summarizes the current state of knowledge of an air distribution through building cavities. The next part is devoted to the simulation of the mathematical model of a typical façade sample. This model is a continuous sample of a façade, under which a burning source is located and is covered by a window sill to simulate a window opening. Model is monitored for gas temperature in the cavity and the rate of hot gas flow in the cavity.

Key words: *Ventilated façade; cavity; flow velocity; gas temperature; FDS*

ÚVOD

Fasádní systémy s provětrávanou vzduchovou mezerou, i navzdory širšímu zastoupení kontaktních zateplovacích systémů, mají důležitou pozici na poli výstavby. Jejich výhodou jsou zejména výborné vlhkostní parametry, tudíž jsou vhodné nejen do novostaveb, například vyšších administrativních objektů, ale i při rekonstrukcích budov s vyšší vlhkostí stávajících konstrukcí, kde vzduchová dutina umožňuje snadnější odvětrání zkondenzovaných vodních par.

Do správného návrhu obvodové konstrukce patří i zhodnocení rizik v oblasti požární bezpečnosti jednak fasády samotné, tak i jejího vlivu na celou budovu. Proto je důležité se zabývat tím, jak větraná dutina ve fasádě poskytuje cestu k rozšíření požáru a jak ovlivňuje reakci na oheň použitých výrobků [1]. Nicméně prozatím není k dispozici dostatek studií věnující se tomuto tématu, avšak v současné době probíhá evropský projekt věnující se možnému sjednocení velkorozměrových zkoušek fasádních systémů [2]. Též jsou nedostatečně popsány požadavky na větrané fasády v české legislativě [3], kde je prostor věnován převážně kontaktním zateplovacím systémům. Cílem práce je právě upozornit na problematiku řešení dvouplášťových fasádních systémů. Řešenou studií je prvotní seznámení s požární problematikou větraných fasádních systémů prostřednictvím matematického modelu a zjištění charakteru chování požáru v dutině.

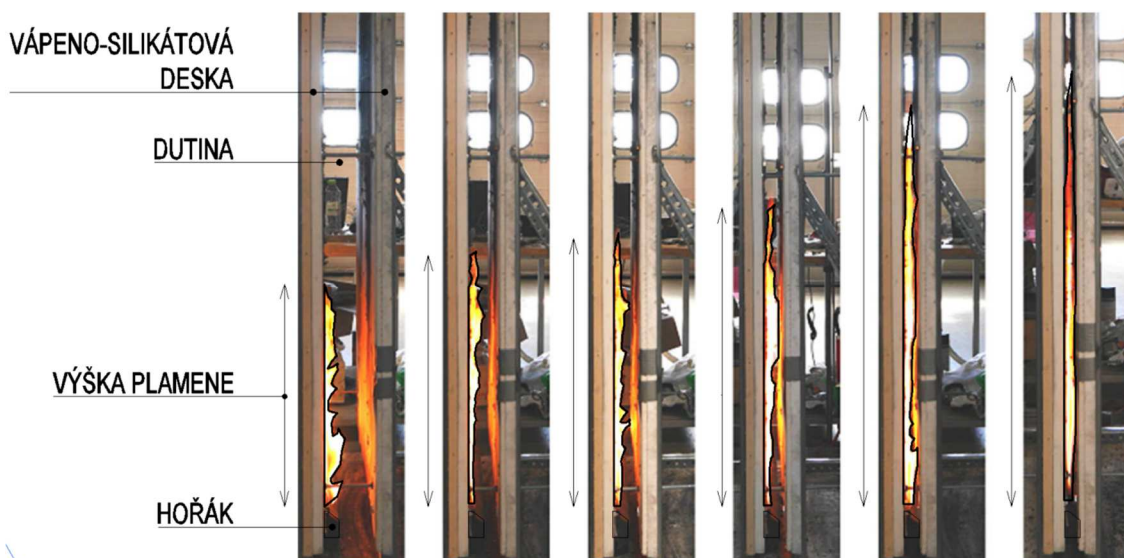
VZDUCHOVÁ DUTINA

Klíčovým elementem pro zajištění funkčnosti větrané fasády je vzduchová dutina. Dosahuje šířky minimálně 20 mm, obvykle však 40 až 60 mm a primárně slouží k odvádění kondenzující vodní páry, a též i ke snižování tepelných zisků. Důležité je posouzení potřeby osazení příčných přepážek do dutiny zabraňujícím nadměrné tvorbě komínového efektu [4]. V současnosti s touto souvislostí vyvstává nový problém, a to je šíření ohně při požáru zmíněnou dutinou.

CHOVÁNÍ POŽÁRU V ÚZKÉ STAVEBNÍ DUTINĚ

V roce 2017 byl proveden experimentální program za účelem zkoumání vlivu šířky stavební dutiny při požáru. Účelem programu bylo sledování požáru v takovémto prostředí a hodnocena byla výška plamene, rychlost proudících plynů a tepelný tok v dutině [1]. Experimentální konfigurace sestávala ze dvou vápeno-silikátových desek tl. 20 mm a proměnným faktorem byla vzdálenost mezi deskami, která se pohybovala v rozmezí 20 až 100 mm (Obr. 1). Povrchy desek směrem do dutiny byly opatřeny keramickou vrstvou o tloušťce 2 mm. Tepelný zdroj byl ve formě úzkého propanového hořáku, který

těsně přiléhá k vnitřnímu povrchu jedné z desek, a jeho výkon byl další proměnou veličinou (16,5 až 40,4 kW na metr délky hořáku) [1].



Obr. 1 Fotografie z průběhu testování, proměnná šířka dutiny zleva: 100 mm; 60 mm; 50 mm; 40 mm; 30 mm a 20 mm [1]

Fig. 1 Photographs from testing, variable cavity width from the left: 100 mm; 60 mm; 50 mm; 40 mm; 30 mm and 20 mm [1]

Uspořádání experimentu umožnilo obsáhnout celý plamen mezi deskami, plameny se nedostávaly ven po stranách. S dutinou šířky 40 mm až 100 mm plameny nevyplňovaly celou šíři dutiny (Obr. 1), namáhána byla zejména strana přilehlá ke zdroji. Naopak výška plamene příliš nezávisela na tepelném výkonu zdroje, pouze v konfiguraci s vysokým výkonem a úzkou dutinou došlo ke zvýšení plamene 2,2krát. Plameny dosahovaly největších výšek ve všech sestavách uprostřed vzhledem k poloze zdroje. Rychlost výtoku horkých plynů měla ve všech sestavách stejný průběh, po počátečním rychlém nárůstu se již výrazně neměnila po dobu zkoušky (3 minuty). Rychlost proudících plynů se však měnila po vodorovné délce vzorku, uprostřed byla nejvyšší a směrem k okrajům se výrazně snižovala. Celkový tepelný tok na vnitřním povrchu desky přilehlé k hořáku byl dopočítáván z hodnot změřených termočlánky a nejvyšších hodnot bylo dosaženo při nižších výkonech zdroje. Nicméně vzhledem k použitým výpočetním postupům jsou tyto hodnoty aplikovatelné při komparaci s experimentálními výsledky. Tato dysbalance je způsobena odchylkami měření samotných termočlánků, rozsahu přesnosti sběru dat, kalibračními testy a přenosy tepla konvekční složkou jsou pouze ve formě předpokladů [1].

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Řešený příklad v této práci je zaměřený na sledování a hodnocení chování provětrávaného fasádního systému v podmínkách zkoušky středního rozměru [5], tato zkouška je zvolena pouze jako prostředek pro simulaci. Příklad je řešen pomocí matematického modelu požáru za použití programu FDS (Fire Dynamics Simulator, verze 6), který spadá do kategorie deterministického modelu typu pole CFD (Computational Fluid Dynamics) založeného na algoritmech výpočtového proudění tekutin.

Příklad (Obr. 2) je simulován ve výpočetní oblasti výšky 2 m, šířky 0,4 m a délky 1 m. V modelovaném prostoru jsou umístěny 3 kvádry (pískový propanový hořák, tepelný izolant a obklad), na horní hraně je vzorek zakryt parapetní deskou s okapnicí a obklad snížen za účelem vytvoření spáry pro odvod vzduchu z dutiny do okolního prostředí. Toto uspořádání má za úkol napodobit stav, kdy se ve fasádě nachází okenní otvor. Materiály jsou zvoleny z nehořlavých výrobků ve formě minerálních vláken tl. 200 mm, keramického obkladu tl. 25 mm a ocelového parapetu modelovaným jako konstrukce s nulovou tloušťkou. Mezi tepelnou izolací a obkladem je vytvořena dutina tl. 50 mm. Definované vlastnosti jsou shrnuty

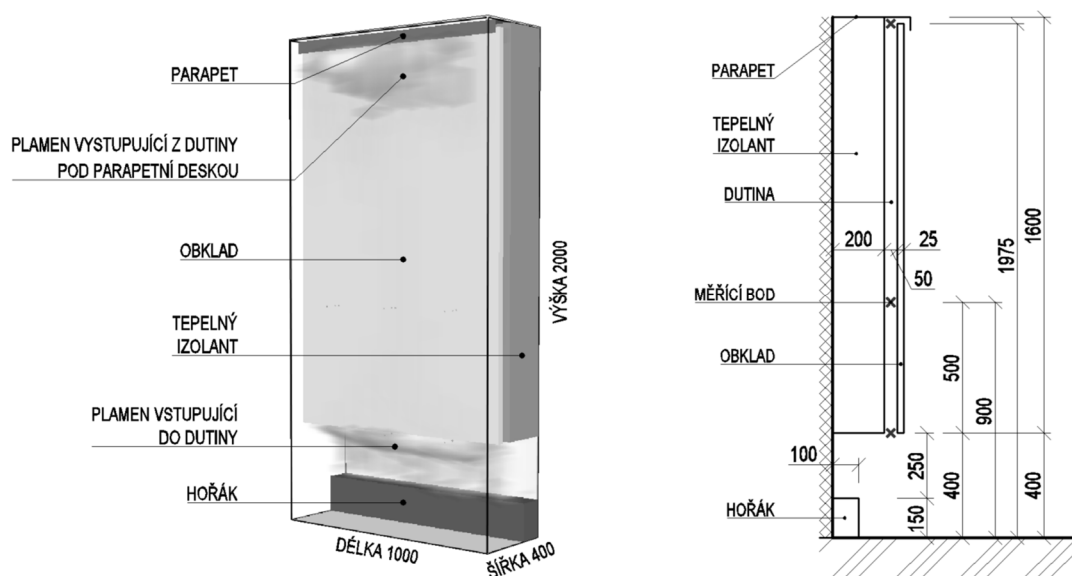
v Tab. 1, jedná se o měrnou tepelnou kapacitu („ c “), součinitel tepelné vodivosti („ λ “) a objemovou hmotnost („ ρ “).

Tab. 1 Vstupní parametry pro CFD model

Tab. 1 Input parameters for the CFD model

Materiál	d [m]	c [J/(kg*K)]	λ [W/(m*K)]	ρ [kg/m ³]
Minerální vlákno	0,2	840	0,034	40
Keramika	0,025	840	1,01	2000
Ocel	-	460	50	7850

Jako zdroj je použit propanový hořák o průřezu šířky 100 mm, výšky 150 mm a délce 1 m, simulace trvá 30 minut a po celou je dobu je výkon nastaven na konstantní hodnotu 100 kW. Vzorek fasády je umístěn 250 mm nad horní hranou hořáku.



Obr. 2 Vizualizace modelu s plameny, vpravo svislý řez s rozmístěním měřících bodů
Fig. 2 Visualization of the model with flames, on the right location of the measuring points

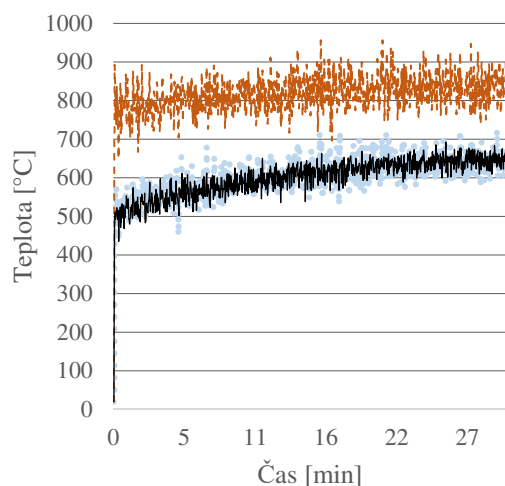
VÝSLEDKY

Hlavními faktory u konstrukcí, ve kterých jsou použity výhradně nehořlavé výrobky, jsou teploty plynů. Další důležitou oblastí je rychlost proudění plynů v dutině s ohledem na jejich možné šíření tímto prostorem. Proto jsou k hodnocení zvoleny naměřené teploty horkých plynů a jejich rychlost proudění ve větrané dutině. Měření těchto veličin je provedeno na spodní hraně modelované vzorku, v oblasti 500 mm nad touto spodní hranou a 25 mm pod parapetní deskou (Obr. 2). V každé z těchto úrovní jsou změřeny 3 hodnoty a výsledkem je jejich aritmetický průměr.

Teploty proudícího horkého vzduchu v ose větrané dutiny (Obr. 3) mají ve všech měřených úrovních podobné průběhy, avšak vlivem měnící se rychlosti a směru proudících plynů je vidět větších rozptyl naměřených hodnot, zejména na spodní hraně vzorku. Spodní hrana dosahuje nejvyšších teplot, ačkoliv po úvodním dramatickém nárůstu o cca 750 °C je nárůst téměř nezatelný (vlivem rozptylu je nejvyšší průměrná teplota 957 °C). Teploty vzduchu v úrovni 500 mm nad spodní hranou a 25 mm pod parapetem mají téměř shodné průběhy, teplota pod parapetem má však nižší rozptyl hodnot. Zvyšování naměřených teplot je v obou případech po úvodním rychlém nárůstu opět pozvolné konkávního charakteru, maximální dosažené teploty jsou též podobné (725 °C v úrovni 500 mm nad spodní hranou a pod parapetem 693 °C).

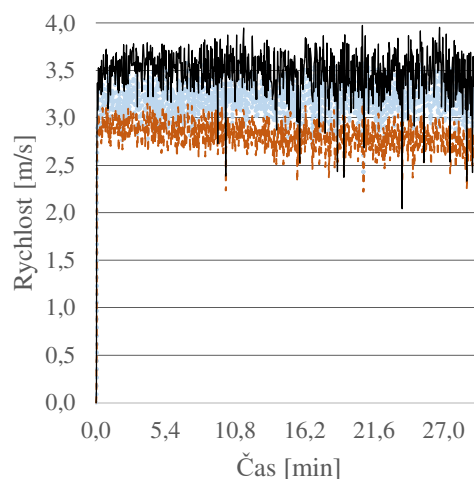
Druhou sledovanou veličinou je rychlost proudících horkých plynů v dutině. Obecně je nejvyšších rychlostí dosahováno uprostřed dutiny, směrem k okrajům vzorku rychlost klesá, mnohdy byly zjištěny též

záporné hodnoty (tzn. plyny proudily směrem dolů, vytvářely se turbulence). Průměrné rychlosti vzduchu v dutině (Obr. 4) vykazují konstantní průběh po celou dobu simulace, též je viditelná fluktuace hodnot v rámci cca 1 m/s. Rychlost po výšce dutiny postupně stoupá, nejnižší rychlosti jsou naměřeny na spodní hraně vzorku (max. 3,1 m/s), nejvyšší hodnoty je dosaženo 25 mm pod parapetní deskou (max. 3,9 m/s). Tento jev je způsoben úzkou spárou (25 mm) pod parapetem v obkladu, kterou se odvádí vzduch z větrané dutiny šířky 50 mm.



••••• 500 mm nad spodní hranou
 - - - - - Spodní hrana
 ————— 25 mm pod parapetem

Obr. 3 Teploty plynů v dutině
 Fig. 3 Air temperatures in the cavity



••••• 500 mm nad spodní hranou
 - - - - - Spodní hrana
 ————— 25 mm pod parapetem

Obr. 4 Rychlosti proudění plynů v dutině
 Fig. 4 Air velocities in the cavity

ZÁVĚR

Cílem práce je přinést pohled na chování požáru v dutině provětrávaných fasád za pomoci zjednodušeného matematického modelu, který je umístěn v prostředí zkoušky středního rozměru [5]. Materiály jsou zvoleny nehořlavé, simulovaný model měl napodobit umístění okenního otvoru ve fasádě. Tento scénář poukázal na skutečnost, že hlavním problémem větraných fasádních systémů je dutina pod obkladem. Horké plyny pohybující se komínovým efektem dosahovaly rychlosti až 4 m/s ($\approx 14,4$ km/h) a v případě vyšších objektů by mohlo dojít velmi rychle k rozšíření požáru do vyšších podlaží. Dalším zajímavým místem se ukázalo být místo přímo parapetní deskou, kam nárazově prošlehávaly plameny a kumulovaly se zde horké plyny. Tyto faktory by mohly působit problém u předsazených okenních výplních z hlediska průniku horkých plynů prostřednictvím spár kolem oken do interiéru.

LITERATURA

- [1] LIVKISS, Karlis, Stefan SVENSSON, Bjarne HUSTED a Patrick VAN HEES. *Flame Heights and Heat Transfer in Façade System Ventilation Cavities*. Fire Technology [online]. 2018 [vid. 2018-04-17]. ISSN 0015-2684, 1572-8099. Dostupné z: doi:10.1007/s10694-018-0706-2
- [2] DUFEK, Jaroslav. *Posuzování požárních vlastností fasád v EU a ČR*. In: Konference PKPO - Požární bezpečnost staveb. B.m.: Profesionální komora požární ochrany, 2018.
- [3] ČSN 73 0810 *Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení*. B.m.: Praha: ÚNMZ. 2016
- [4] PUŠKÁR, Anton, Jozef FUČILA, Ivan ŘEHÁK a Boris VAVROVIČ. *Obvodové pláště budov - Fasády*. B.m.: Bratislava: Jaga group, v.o.s., 2002. ISBN 80-88905-72-9.
- [5] ČSN ISO 13785-1 *Zkoušky reakce na oheň pro fasády - Část 1: Zkouška středního rozměru*. B.m.: Praha: ÚNMZ. 2010

ANALÝZA TEPELNÉHO NAMÁHÁNÍ EXPONOVANÝCH KONTAKTNÍCH ZATEPLOVACÍCH MATERIÁLŮ

ANALYSIS OF THERMAL LOADING OF EXPOSED CONTACT HEAT INSULATING MATERIALS

Bc. Eliška Fišerová

Abstract

This article is focused on modelling in FDS program and includes a model wall with exposed contact heat insulating material which is loaded by heat flow from the radiant panel. Used modified heat insulation materials include: expanded polystyrene, grey expanded polystyrene, polyurethane foam, polyisocyanurate foam and extruded polystyrene.

Key words: *External thermal insulation composition system; fire dynamics simulator; derivative thermogravimetric; heat release rate; expanded polystyrene; polyurethane foam; polyisocyanurate foam; extruded polystyrene*

ÚVOD

Kontaktní zateplovací systém sám o sobě je významnou součástí stavebního průmyslu. Jedná se o odvětví, které je zkoumáno ze všech možných stran a úhlů. Neustále dochází k vývoji nových materiálů a technologií, na které se musí rychle reagovat, čímž vznikají nové a nové požadavky na zateplovací systémy. Stanovení požadavků je uvedeno v požárních normách. [1]

Důležitou otázkou ohledně zateplování a požární bezpečnosti je to, při které tloušťce tepelného izolantu může dojít k nebezpečnému sálání tepla. Tento aspekt souvisí s rychlostí uvolňování tepla v čase v požárně nebezpečném prostoru, který může ovlivnit celý návrh daného projektu. V normě ČSN 73 0810 (2016) je uvedeno, že při použití materiálu, který vykazuje třídu reakce na oheň nejhůře B pro ucelené sestavy vnějšího zateplení, je nutné v případě tloušťky tepelně izolačního materiálu většího než 200 mm zhodnotit množství uvolněného tepla z 1 m² plochy zateplení a určit, jestli tedy nejde o požárně otevřenou plochu. [1]

Důležitým parametrem pro pozorování se tedy stává množství uvolněného tepla z daného tepelného izolantu. Odstupová vzdálenost v normě je stanovena pomocí hraniční hodnoty 18,5 kW/m². Tento prostor je označován jako požárně nebezpečný prostor. Zajímavým problémem k řešení se pak stala otázka, proč je zrovna tato hodnota stanovena v této výši a zdali nějak ovlivní rozšíření požáru.

MODELOVANÝ PROSTOR

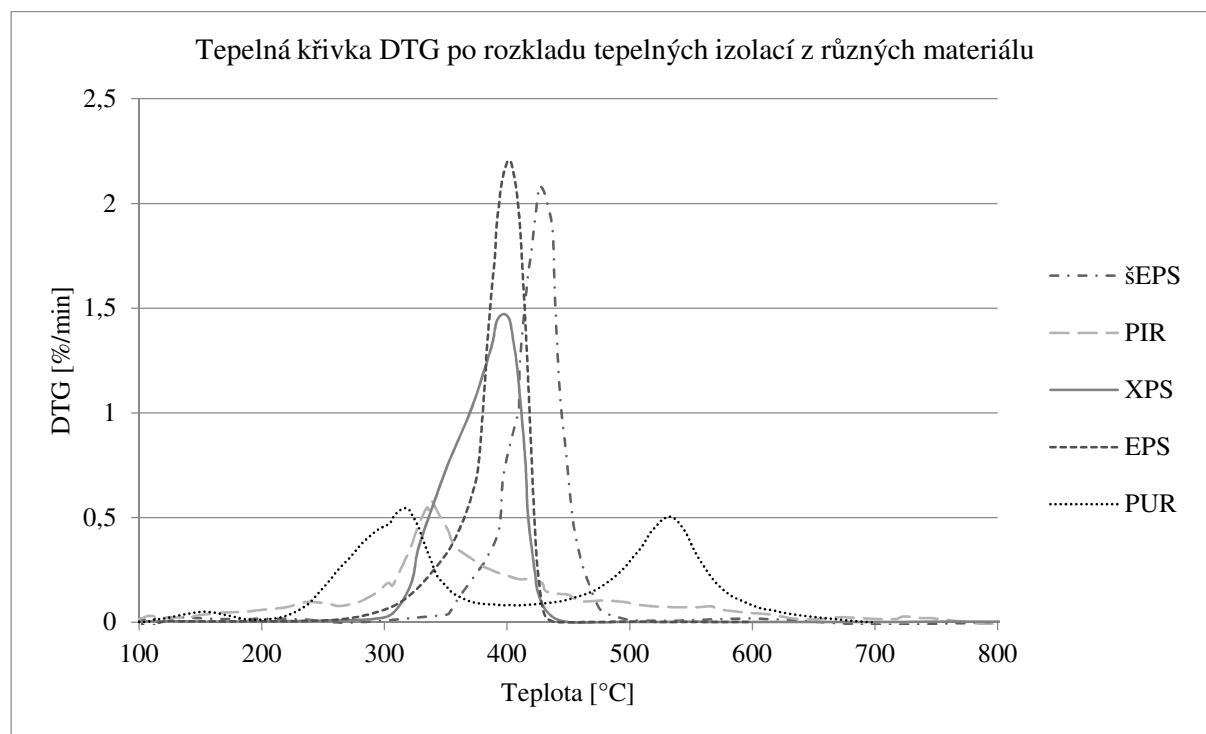
V softwaru Fire Dynamics Simulatoru (FDS) založeném na výpočtu dynamiky tekutin, byl vytvořen funkční model, který se týká kontaktního zateplovacího systému. Jedná se o obvodovou stěnu z póro-betonu o tloušťce 100 mm, na které se nachází exponovaný zateplovací materiál o tloušťce 200 mm. Tento kontaktní zateplovací systém je exponovaný a je definován pomocí specifických hodnot různých pro každý typ zateplovacího materiálu. Bylo provedeno pět modelací, pokaždé s jiným tepelným izolantem. Tato stěna byla zatěžována tepelným tokem ze sálavého panelu, který se nachází v takové vzdálenosti, aby na povrch tohoto zateplovacího materiálu dopadal tepelný tok o 18,5 kW/m². Nejdůležitějším poznatkem je to, že takováto tepelná izolace degraduje mnohem dříve než při hodnotě 18,5 kW/m² dosažené na svém povrchu.

METODY VYUŽITÉ K MODELACI – TGA ANALÝZA

Široce používaná analýza využívající termováhy pro sledování fyzikálně-chemických veličin, zkoumá změnu hmotnosti zahřívaného vzorku. Pokud vybraný vzorek zahříváme, dojde k uvolnění plynných složek, tudíž ke snížení hmotnosti dané látky. Může také nastat situace, kdy zkoumaný prvek zvýší svoji hmotnost a to v závislosti na vzniku reakcí s plynem. Touto analýzou můžeme, zjistit informace o složení polymerních směsí a jejich termickém rozkladu.

Od vytvořených TG křivek jdou vytvořit jejich derivační křivky tzv. DTG. Ty vykazují podobnost s křivkami diferenční termické analýzy a dovolují do jisté míry jejich vzájemné srovnání. Díky těmto křivkám lze zjistit prvou derivaci změny hmotnosti, což nám napomáhá k modelování hoření daných materiálů. [2]

Termogravimetrickou degradační metodou byly zjištěny tepelné rozklady izolačních materiálů. Jejich grafické znázornění se vyskytuje na obr. 1. Z tohoto obrázků můžeme odvodit reakční teplotu a degradační rozsah (rozsah pyrolýzy). Můžeme i zjistit kolika rozkládajícími reakcemi při tepelném zatížení materiál prošel. Příkladem takového materiálu je PUR materiál, který se rozkládal pomocí třech reakcí, a tudíž je popsán pomocí třech pyrolýzních oblastí (od toho se vyvíjí rozsah pyrolýzy) s třemi reakčními teplotami. Tyto hodnoty byly použity pro vytvoření tzv. zdrojového kódu ve formě textového souboru, který byl následně využit k výpočtu v FDS programu.

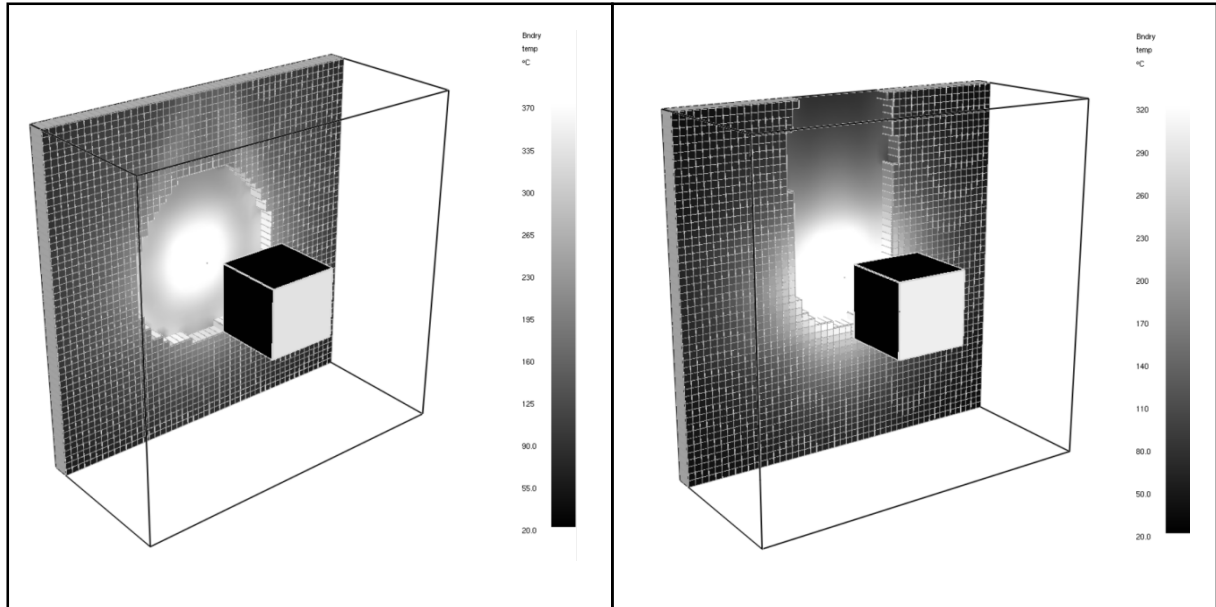


Obr. 1 Tepelný rozklad použitých tepelně izolačních materiálů
Fig. 1 Thermal decomposition of used thermal insulation materials

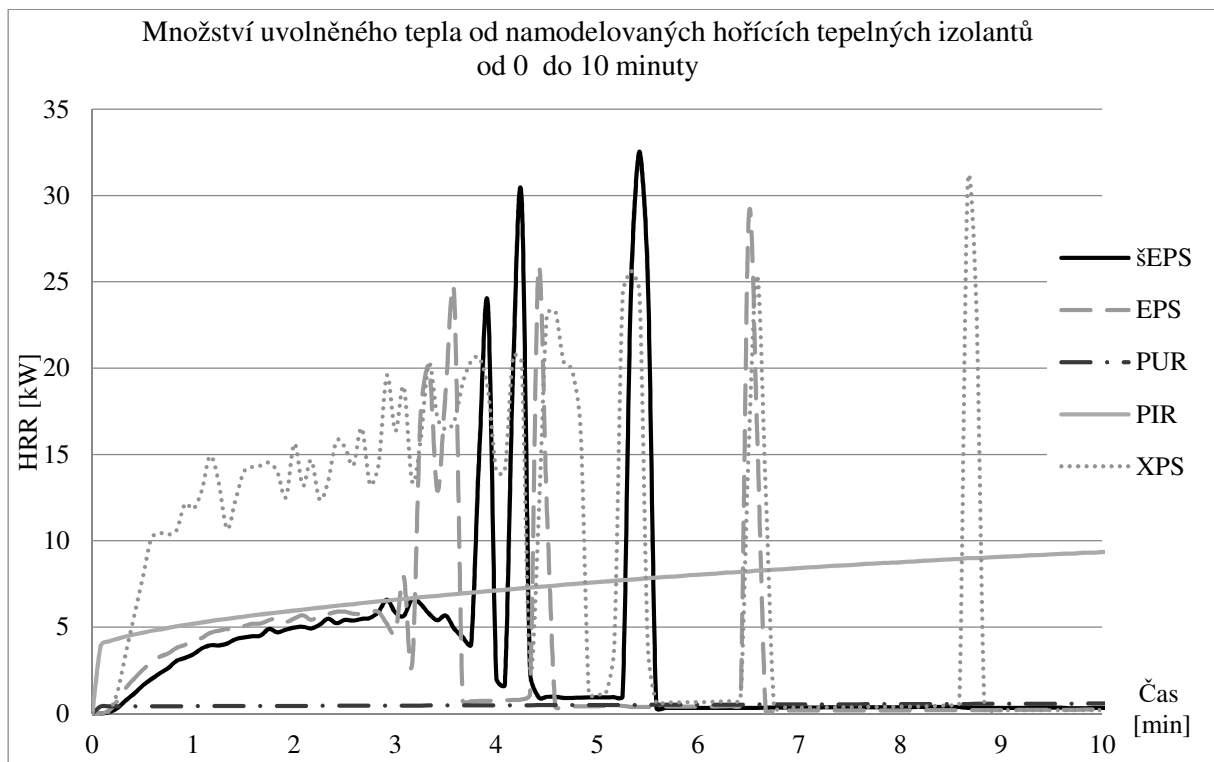
GRAFICKÉ POROVNÁNÍ

Pro grafické zobrazení výsledků výpočtů z programu FDS byl využit softwarový nástroj, pracující jako post-processor, Smokeview. Tento nástroj umožňuje přehrát průběh simulace se zvýrazněnými určitými hodnotami. Pro naše porovnání byly zobrazeny teploty obvodové stěny. Díky tomuto nástroji nám bylo taktéž umožněno sledovat postupné odhořívání zateplovacích materiálů. Porovnání bylo provedeno v 5000 sekundě a grafický výstup se nachází na Obr. 2. Z grafického porovnání je patrné rozložení teplot a také kolik zateplovacího materiálu stihlo odhořet. Pro představu je uvedeno odhořívání XPS a PIR materiálu.

Pro šedý EPS, EPS a XPS materiál jsme zjistili, jak odhořívání funguje směrem vzhůru. Nejvíce v tomto čase odhořel XPS materiál, nejméně pak šedý EPS. PUR a PIR materiál na rozdíl od předešlých odhořívá po celém obvodu přibližně stejně. Z těchto dvou materiálů je to právě PIR materiál, který rychleji odhořívá. Co se týče rozložení teplot u těchto materiálů, nejvyšší teploty se nacházejí u stěny zateplené PIR materiálem.



Obr. 2 Rozložení teploty na stěně zateplené PIR a XPS materiálem (čas 5000 s)
 Fig. 2 Temperature distribution on the wall insulated with PIR and with XPS material (time 5000 s)



Obr. 3 Graf zaznamenaného HRR do 10 minuty
 Fig. 3 Graph of recorded HRR within 10 minutes

HODNOTOVÉ POROVNÁNÍ

Díky hodnotám zaznamenaným v grafu na Obr. 3 můžeme vidět rozmanitost jednotlivých materiálů, sloužících jako tepelné izolanty, v množství uvolněného tepla v závislosti na čase. Pro dostatečnou přehlednost je uvedeno měření pouze do 10 minuty.

Izolanty EPS a šedý EPS mají stejné hodnoty v počátcích uvolňování, zatímco XPS má podstatně rychlejší nárůst hodnot uvolněného tepla. Nejrychlejší nárůst HRR má izolant PIR, tj. během prvních 5 sekund dosahuje bezmála 4 kW. U materiálu XPS jsou během prvních 5 minut (300 s) zaznamenány hodnoty nárůstu od 10 po 20 kW, kdežto EPS a šedý EPS mají zaznamenány hodnoty okolo 5 kW. U obou EPS okolo 5. minuty dochází k značnému navyšování HRR. Nejvyšších hodnot dosáhl tepelný izolant z EPS, tj. až 49,16 kW a to v čase 36,50 minut (2190 s), obdobně jako XPS s hodnotami 44,57 kW v čase 41,33 min (2480 s).

Tepelný izolant PUR během prvních 5 sekund dosáhne značně nízkých hodnot, v porovnání s ostatními materiály (0,42 kW), a poté jsou téměř konstantní. Podobný záznam má i materiál PIR, který dosáhne maximálně 11,11 kW a po celou dobu simulace nemá žádné zvláštní výkyvy.

ZÁVĚR

V FDS programu je namodelována stěna s exponovaným kontaktním zateplovacím materiálem, která je zatěžována tepelným tokem ze sálavého panelu. Mezi modelované použité materiály pro zateplení byly využity: expandovaný polystyren, šedý expandovaný polystyren, polyurethanová pěna, polyisokianurátová pěna a extrudovaný polystyren.

Z hodnotového porovnání můžeme vyvodit závěr, že materiály PUR a PIR uvolňují v poměru s ostatními řešenými izolanty malé množství tepla po celou dobu vystavení tepelnému namáhání. Materiály šedý EPS, EPS a XPS dosahují znatelně vyšších hodnot a s časem se zvyšují. Největší nárůst hodnot, tj. dosažení nejvyšších hodnot během prvotního vystavení tepelnému namáhání, pozorujeme u tepelného izolantu XPS.

Zajímavým zjištěním je to, že nejvíce záleží na materiálovém složení daného prvku. Není ani tak podstatné kolik prvku při tepelném zatěžování stihne odhořet, ale jaké množství tepelného toku dokáže uvolnit. Určitá provázanost mezi těmito skutečnostmi existuje, ovšem není v tomto ohledu podstatná, protože nemá významný vliv na uvolňování tepla. Tento faktor ovlivňuje pouze z toho hlediska, že na začátku tepelného zatěžování je povrch zatěžován pouze z jedné strany, ale při postupném odhořívání je povrch zatěžován ze dvou, tří, i čtyř stran. Tím se uvolní větší teplo, ale jedná se o výkyvy, které se díky velmi omezené době uvolňování dají zanedbat.

Na základě těchto výsledků je zřejmé, že záleží na rychlosti uvolňování tepla. Některé izolace odhořívají pomaleji, některé rychleji. A přesto, při hodnocení požární bezpečnosti se počítá pouze s celkovým uvolněným teplem. Musím ale upozornit, že zkoušeny byly provedeny pouze s exponovanými tepelnými materiály, tedy bez krycí vrstvy, čemuž by mohla odpovídat situace například při montáži.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení (2016). ÚNMZ : Praha.
- [2] PŘINDIŠ, Jan. *Termogravimetrická analýza kompozitních materiálů* [online]. 2009. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/10508/p%20indi%20_2009_dp.pdf?sequence=1

POŽÁRNÍ RIZIKA FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN NA OBÁLCE BUDOVY**FIRE RISK OF PHOTOVOLTAICS POWER ON THE BUILDING ENVELOPE****Bc. Martin Dvořák****Abstract**

The content of this article is the analysis of fire risks of photovoltaic power plants on the envelope of the buildings. The first part of the article deals with the issue of photovoltaic power plants in terms of fire safety. There are described causes that may lead to a photovoltaic power plant fire. The second part of the article focuses on the separation distance of the photovoltaic panel. It was determined at what distance from the photovoltaic panel the critical heat flux value was found.

Key words: *Photovoltaics; photovoltaics power plants; photovoltaic panel; fire risk; rate of heat release*

ÚVOD

V dnešní době se můžeme setkat s pojmy fotovoltaika a fotovoltaická elektrárna poměrně často. Tyto pojmy nejsou ve spojení s obnovitelnými zdroji energie nikterak cizí. Vzhledem k možnostem získání ekonomického příspěvku na instalaci fotovoltaické elektrárny na obálky budov v podobě dotace Nová zelená úsporám, lze předpokládat, že instalace těchto technologických zařízení bude častěji využívána. Ve spojení s tímto faktem je třeba se zaměřit na fotovoltaické elektrárny z hlediska požární bezpečnosti. Instalace takovéto technologie na obálku budovy v sobě nese rizika vzniku či šíření požáru. Existuje několik případů, které by mohly vést k požáru zapříčiněným právě fotovoltaickou elektrárnou. V minulosti jsme se mohli setkat s několika událostmi, kdy například chybná instalace fotovoltaické elektrárny zapříčinila vznik požáru. V případě požáru fotovoltaické elektrárny může dojít k šíření požáru nejen na ostatní fotovoltaické panely, ale i na samotnou konstrukci objektu či jiné okolní budovy. Důležité tedy je, aby se fotovoltaické panely nenacházely v požárně nebezpečném prostoru jiných technologických zařízení, či okolních objektů. Jelikož se problematice požárně nebezpečného prostoru fotovoltaických panelů dosud nikdo nevěnoval, je článek zaměřen právě na tuto problematiku. Z popsaných skutečností je třeba upozornit, že tématu požární riziko fotovoltaických elektráren na obálce budov je třeba věnovat pozornost a vzít v potaz, že požár těchto zařízení může způsobit újmu na majetku a zdraví osob.

PROBLEMATIKA FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN Z HLEDISKA POŽÁRU

Fotovoltaické elektrárny jsou, co do podstaty, elektrická zařízení, která přináší určitá nezanedbatelná bezpečnostní rizika. Pro možnost tvorby preventivních opatření, ale i provedení efektivního hasebního zásahu, je vždy nezbytná identifikace relevantních rizik. Tato rizika lze z pohledu požární bezpečnosti rozdělit do dvou skupin. První skupinou jsou scénáře mající příčinnou souvislost se vznikem požáru, přičemž druhou skupinu představují úskalí se samotným hasebním zásahem.

V rámci tématu nebezpečí vzniku požáru fotovoltaické elektrárny se lze setkat s několika různými informacemi, popisujícími příčinu vzniku požáru fotovoltaických systémů. Příčinou vzniku požáru může být chybný návrh jednotlivých komponent fotovoltaického systému, poddimenzování kabeláží či technická závada. Jedná se o problém, kde samotné působení elektrického zkratu je poruchový jev, při kterém dochází k silnému vývinu tepla, přičemž teplota v prostoru působení jevu může dosáhnout až 3750 °C. Jelikož se v konstrukci elektrických rozvodných zařízení vyskytují plasty a hořlavá izolace kabeláží s teplotou vznícení 380 až 550 °C, může při výskytu elektrického zkratu snadno dojít k překročení teploty vznícení zmiňovaných materiálů, čímž pak dochází ke vzniku nežádoucího jevu, požáru.

Dalším nebezpečím, kdy může vzniknout požár fotovoltaické elektrárny, je konstrukce, na které jsou jednotlivé fotovoltaické panely instalovány, ať už se jedná o konstrukce střech či obvodových stěn budovy. Při umístění fotovoltaické elektrárny na střeše budovy je třeba upozornit, aby konstrukce střechy splňovala požadovanou požární odolnost. V případě střechy, na které není umístěna fotovoltaická elek-

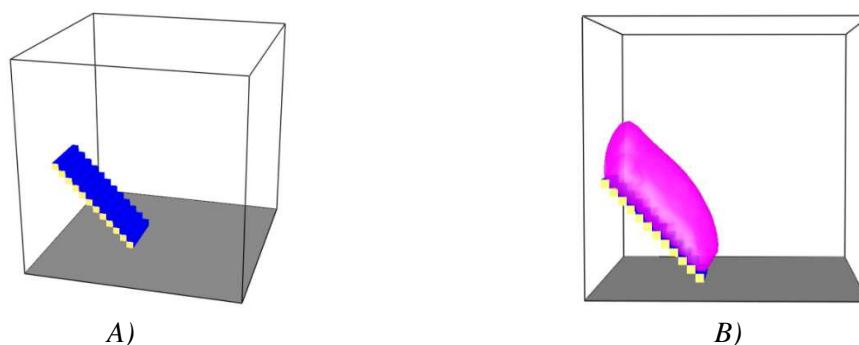
trárna, musí být požární odolnost (R)EW. Pokud je na konstrukci střechy instalována fotovoltaická elektrárna, nachází se na střeše nahodilé požární zatížení vlivem fotovoltaických panelů, a tudíž musí konstrukce střechy splňovat odolnost REI. Dále musí být splněny požadavky na požárně technické charakteristiky střešního pláště. V oblasti instalovaných fotovoltaických panelů je nutné, aby střešní plášť splňoval požadavek $B_{\text{roof}}(t_3)$. Dále index šíření plamene po povrchu střešního pláště $i_s = 0,0$ mm/min.

Problém může nastat tehdy, dojde-li k požáru uvnitř objektu, například v půdním prostoru. V tu chvíli nastává úkol okolních konstrukcí zamezit šíření požáru mimo budovu, aby nedošlo k požáru fotovoltaické elektrárny. Pokud by došlo k tomu, že se požár rozšíří na venkovní fotovoltaické panely, je potřeba brát zřetel na požadavky střešního pláště, aby nedošlo k rozšíření požáru v celé ploše střechy. Ve spojení s tímto faktem je dobré zmínit, že v případě instalace fotovoltaické elektrárny na střešní konstrukci, je potřeba zvolit nehořlavou střešní krytinu, což nemusí být splněno v případě, kdy fotovoltaické panely nepokrývají celou plochu střechy.

ODSTUPOVÁ VZDÁLENOST OD FOTOVOLTAICKÉHO PANELU

Výše popsaná rizika souvisejí s problematikou odstupových vzdáleností od fotovoltaických panelů a velikostí požárně nebezpečného prostoru. V současné době neexistuje v České republice norma zabývající se požární bezpečností fotovoltaických elektráren. Ve spojení s fotovoltaickými elektrárnami a jejichmi požárními riziky by se mohlo hovořit o mnoha faktech, která doposud nebyla stanovena nebo nejsou známa. V současnosti se odstupy od fotovoltaických elektráren řeší podle ČSN 73 0804, kde vzhledem k neznalosti vlastností a chování těchto zařízení dochází k tomu, že se odstupové vzdálenosti řeší jednoduchým způsobem podle kapitoly odstupových vzdáleností od otevřených technologických zařízení, kde v těchto případech je odstupová vzdálenost 6,5 m. [1] Tato hodnota odstupové vzdálenosti je stejná i pro samostatný fotovoltaický panel. Umístění novostaveb na pozemku vzhledem k hranicím sousedních pozemků je v současnosti minimálně 3,0 m. Z toho důvodu může být umístění fotovoltaických panelů na budově limitující vzhledem k okolním pozemkům a stavbám. V důsledku této skutečnosti jsem se zaměřil na zjištění odstupové vzdálenosti od fotovoltaického panelu pomocí CFD (Computational fluid dynamics) modelu. V německém institutu byly provedeny zkoušky hořlavosti fotovoltaických panelů, ze kterých vzešly průměrné a maximální hodnoty rychlosti uvolňování tepla (Tab. 1). Na základě těchto výsledků byl vytvořen model požáru fotovoltaického panelu pomocí programu FDS (Fire Dynamics Simulator), kde se pomocí zjištěných hodnot rychlosti uvolňování tepla zjišťovalo, v jaké vzdálenosti od fotovoltaického panelu se nachází kritická hodnota tepelného toku $18,5$ kW/m².

Pomocí programu FDS byl vymodelován fotovoltaický panel (Obr. 1) o rozměrech 1680 x 880 mm, který je umístěn na ploché střeše ve sklonu 45°. Modelovacím prostorem byla krychle o rozměrech 3,0 x 3,0 x 3,0 m. Podlaha krychle simuluje vrstvu šterku na ploché střeše, která je na Obr. 1 znázorněna šedou barvou. Boční a horní stěny byly modelovány jako otevřené plochy. Jelikož program FDS umožňuje modelování pouze v pravoúhlém systému, byly pro model fotovoltaického panelu vymodelovány hranoly o stejných rozměrech. Délka hranolů odpovídá skutečné šířce zvoleného panelu, tedy 880 mm. Dvěma plochám hranolů představující plochu fotovoltaického panelu, byly přiřazeny hodnoty rychlosti uvolňování tepla v závislosti na čase. Pro zjištění odstupové vzdálenosti od fotovoltaického panelu byla použita maximální hodnota rychlosti uvolňování tepla z druhé zkoušky v německém institutu 246,6 kW (Tab. 1). Po vymodelování fotovoltaického panelu (Obr. 1) byla pomocí příkazu nastavena hodnota tepelného toku na $18,5$ kW/m², aby pro následnou analýzu bylo možné určit, v jaké svislé vzdálenosti se tato kritická hodnota tepelného toku nachází.



Obr. 3 A) Model FV panelu na ploché střeše; B) Oblast kritické hodnoty tepelného toku
Fig. 3 A) Model of the FV panel on a flat roof; B) The area of the critical heat flow value

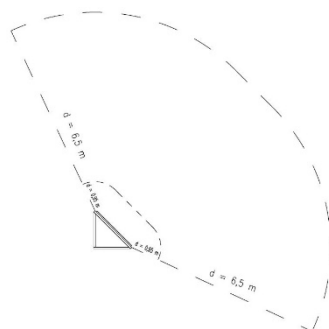
Tab. 1 Požárně technické charakteristiky FV panelu [2]

Tab. 1 Fire technical characteristics of the FV panel [2]

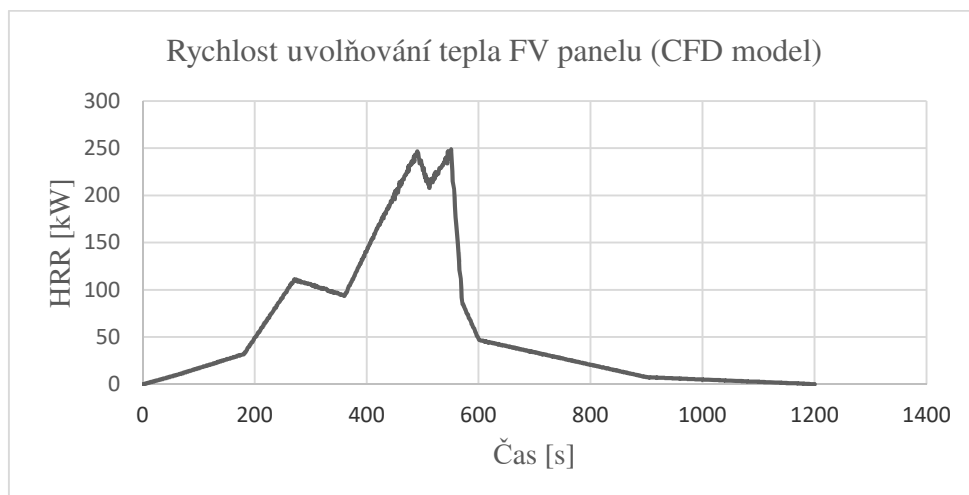
	Experiment 1A	Experiment 1B	Experiment 1C
Doba trvání zkoušky [s]	1200	1200	600
Maximální rychlost uvolňování tepla [kW]	29,2	246,6	272,9
Průměrná rychlost uvolňování tepla [kW]	6,4	49,3	46,2
Celkové uvolnění tepla [kJ]	7631	59197	27747
Maximální rychlost tvorby kouře [m²/s]	0,12	0,78	2,05
Průměrná rychlost tvorby kouře [m²/s]	0,03	0,15	0,12

VÝSLEDKY A POROVNÁNÍ

Jelikož doba trvání zkoušky v německém institutu byla 1200 s, byla stejná doba trvání, resp. výpočtu zvolena i pro model požáru fotovoltaického panelu v programu FDS. Po skončení výpočtu byla zjištěna oblast, kde se nachází kritická hodnota tepelného toku ve vzdálenosti 0,95 m ve svislém směru. Tato oblast je znázorněna na Obr. 2 v čase 490 s, kdy byla při výpočtu zjištěna zároveň maximální hodnota rychlosti uvolňování tepla 247,0 kW. Srovnáním modelu se zkouškami hořlavosti fotovoltaického panelu zjistíme, že se model fotovoltaického panelu od těchto zkoušek příliš neliší, jelikož při zkoušce hořlavosti byla naměřena maximální hodnota rychlosti uvolňování tepla 246,6 kW v čase 488 s. Dá se tedy konstatovat, že průběh požáru pomocí CFD modelu je relevantní s experimentem německého institutu. Dále byl z programu FDS vygenerován graf průběhu rychlosti uvolňování tepla v závislosti na čase (Obr. 3) a porovnán s průběhem rychlosti uvolňování tepla zjištěného při zkoušce hořlavosti. Porovnáním lze říct, že průběh rychlosti uvolňování tepla dle modelu je v základním chování relevantní s průběhem požáru při zkoušce 1B (Tab. 1). [2] Díky tomuto výsledku mohl být porovnán rozdíl mezi velikostmi požárně nebezpečného prostoru fotovoltaického panelu dle ČSN 73 0804 a dle programu FDS. Toto porovnání je patrné z Obr. 2.



Obr. 4 Porovnání odstupových vzdáleností od FV panelu dle ČSN 73 0804 a dle FDS
Fig. 4 Separation distance comparison from PV panel according to ČSN 73 0804 and according to FDS



Obr. 5 Rychlost uvolňování tepla dle CFD modelu
 Fig. 5 Rate of heat release according to the CFD model

ZÁVĚR

Vzhledem k zjištěným skutečnostem je nutné podotknout, že by se problematice požární bezpečnosti fotovoltaických elektráren na obálce budovy měla věnovat pozornost. Problémem je, že když se fotovoltaické elektrárny začaly rozrůstat z hlediska počtu a velikosti instalací, nebyla dostatečná informovanost o tom, jak se vlastně toto zařízení chová při požáru, jak a co všechno u fotovoltaické elektrárny kontrolovat a v jakých časových periodách tyto kontroly provádět. V rámci zkoušek hořlavosti v německém institutu bylo zjištěno, že fotovoltaické panely jsou hořlavá zařízení, a je tedy potřeba, aby byl brán zřetel na problematiku odstupových vzdáleností, jelikož je třeba zajistit, aby se vzniklý požár nepřenášel z fotovoltaických panelů na ostatní panely či na obvodový plášť objektu. Byly tedy porovnány odstupové vzdálenosti od těchto malých technologických zařízení, která se běžně mohou vyskytovat na střeších rodinných domů, administrativních budov apod. Podle výsledků CFD modelu lze konstatovat, že pokud se dodrží odstupová vzdálenost od fotovoltaického panelu alespoň 0,95 m, a zároveň umístění hořlavého materiálu u kompletačních konstrukcí bude za zjištěnou vzdáleností, nemělo by dojít k rozšíření požáru na okolní konstrukce. Dále byla graficky porovnána odstupová vzdálenost fotovoltaického panelu dle ČSN 73 0804 se zjištěnou vzdáleností v programu FDS. Z těchto porovnání plyne, že požárně nebezpečný prostor od fotovoltaického panelu by nemusel být tak markantní, jako uvádí ČSN 73 0804.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 0804 - Požární bezpečnost staveb - Výrobní objekty (2010). B.m.: ÚNMZ : Praha.
- [2] SEPANSKI, Annett, Florian REIL, Willi VAABEN, Eckart JANKNECHT, Uwe HUPACH, Nicolas BOGDANSKI, Bettina VAN HEECKEREN, Heribert SCHMIDT, Georg BOPP, Hermann LAUKAMP, Robin GRAB, Severin PHILIPP, Horst THIEM, Josef HUBER, Ralf HASELHUHN, Heinrich HÄBERLIN, Andreas KRUTZKE, Benedikt NEU, Armin RICHTER, Björn BANSEMER a Michael HALFMANN. *Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung*. Březen 2015

NEBEZPEČNÉ SPOJENÍ PODZEMNÍCH PODLAŽÍ A PŘEDMĚTŮ NA CHÚC**DANGEROUS CONNECTION OF UNDERGROUND FLOORS AND SUBJECTS ON PROTECTED ESCAPE ROUTE****Bc. Petra Zámorská****Abstract**

One of the greatest threats of fire is smoke and gaseous fumes. People's safety in buildings are provided with protected escape routes with fire ventilation. This article is focused on the design of fire ventilation of protected escape routes in a natural way, specifically the ventilation with the openings in the top floor and the entrance floor with a focus on the underground part of the escape route. The evacuation of persons from the building can be adversely affected by the storage objects on protected escape routes. If the staircase is designed to be underground, it is a place where the burning of the object may have the greatest impact on the ventilation function. The analysis of these risks was dealt with as an example, which was modelled using the FDS calculation program.

Key words: Fire ventilation; protected escape route; buoyancy; chimney effect; smoke; FDS

ÚVOD

Mezi prioritní vlivy ohrožující bezpečnost osob při požáru řadíme kouř a plynné zplodiny hoření. Právě tyto produkty termického rozkladu zapříčiní téměř 50 % všech obětí při požárech a více než třetinu obětí přináší smrt [1]. Lidský život je velmi důležitý a nejdůležitějším faktorem pro přežití je dýchání, resp. příjem kyslíku. Vyskytuje se ve světě mnoho staveb, které jsou řešeny špatným způsobem. V roce 2016 bylo v ČR zaznamenáno 16 235 požárů, z nichž nejvyšší podíl mají právě požáry domácností a obytných domů s počtem 5 012 požárů. Důsledkem bylo úmrtí 84 osob. Pouze za loňský rok bylo evidováno 328 osob hospitalizovaných kvůli otravě oxidem uhelnatým [2]. Na základě toho si můžeme představit, jakou důležitost a jak velkou roli hraje požární větrání v oblasti bezpečnosti osob. Proto požární větrání stavíme mezi jednu z nejdůležitějších problematik projektování staveb.

PODZEMNÍ PODLAŽÍ

U objektů s požární výškou do 22,5 m a s maximálně 1 podzemním podlažím můžeme použít návrh chráněné únikové cesty typu A. Jednou z možností požárního větrání u tohoto typu je pomocí tzv. komínového efektu. Komínový efekt je fyzikální jev vznikající působením tepelného vztlačení. Jeho princip je založen na tlakovém rozdílu vyvolaném různými hustotami vnějšího a vnitřního vzduchu v důsledku jejich rozdílné teploty. Tento typ přirozeného větrání vyžaduje minimální plochu větracích otvorů 2 m². Přívod vzduchu je v nejnižším a odvod v nejvyšším podlaží. Mimo to normy v ČR povolují přirozené větrání s přívodem vzduchu ve vstupním podlaží. Problém, který může u návrhu CHÚC s komínovým efektem nastat, se týká větracích otvorů. Minimální požadovaná plocha nemusí být ve všech případech dostatečná pro efektivní větrání. Další riziko při přívodu vzduchu ve vstupním podlaží nastává, že podzemní část únikové cesty zůstane nevětraná. Podzemní podlaží vytvoří ideální podmínky pro zakouření prostoru.

PŘEDMĚTY NA CHRÁNĚNÉ ÚNIKOVÉ CESTĚ

Riziko při požárech si však sami ještě navyšujeme, a to když nerespektujeme důležitost požadavků, tj. požadavky na materiály a předměty, které se mohou vyskytovat na chráněné únikové cestě (CHÚC). Ať už z důvodu nevědomosti či lhovosti. V bytových domech mají rodiny omezený prostor pro žití. Obytné buňky jsou relativně malé s minimálním úložným prostorem. Z toho důvodu je možné předpokládat, že lidé budou odstavovat prostorné věci do společné chodby. Na Obr. 1 je zachycen jeden z mnoha takových případů. Jednou z často odkládaných věcí je například kočárek. Kočárky, ačkoliv jsou skladné a vejdu se do kufru auta, zabírají mnoho místa. Velmi často jsou stavěny na chodby před

byty, a mohou tak způsobit velké potíže při mimořádných situacích. Ještě horší scénář nastává, pokud jde o CHÚC, jelikož právě tato úniková cesta má zajistit nejbezpečnější únik s eliminací jakéhokoliv ohrožení. Nejen že takové předměty mohou znemožnit evakuaci osob, ale mohou také značně přispívat k rozvoji požáru a ohrozit všechny evakuované.



Obr. 1 - Věci uskladněné na CHÚC (autor: M. Mlsal, iDnes.cz)

Fig. 1- Obstacles stored on a protected escape route (author: M. Mlsal, iDnes.cz)

MODELOVÝ PŘÍKLAD V FDS PROGRAMU

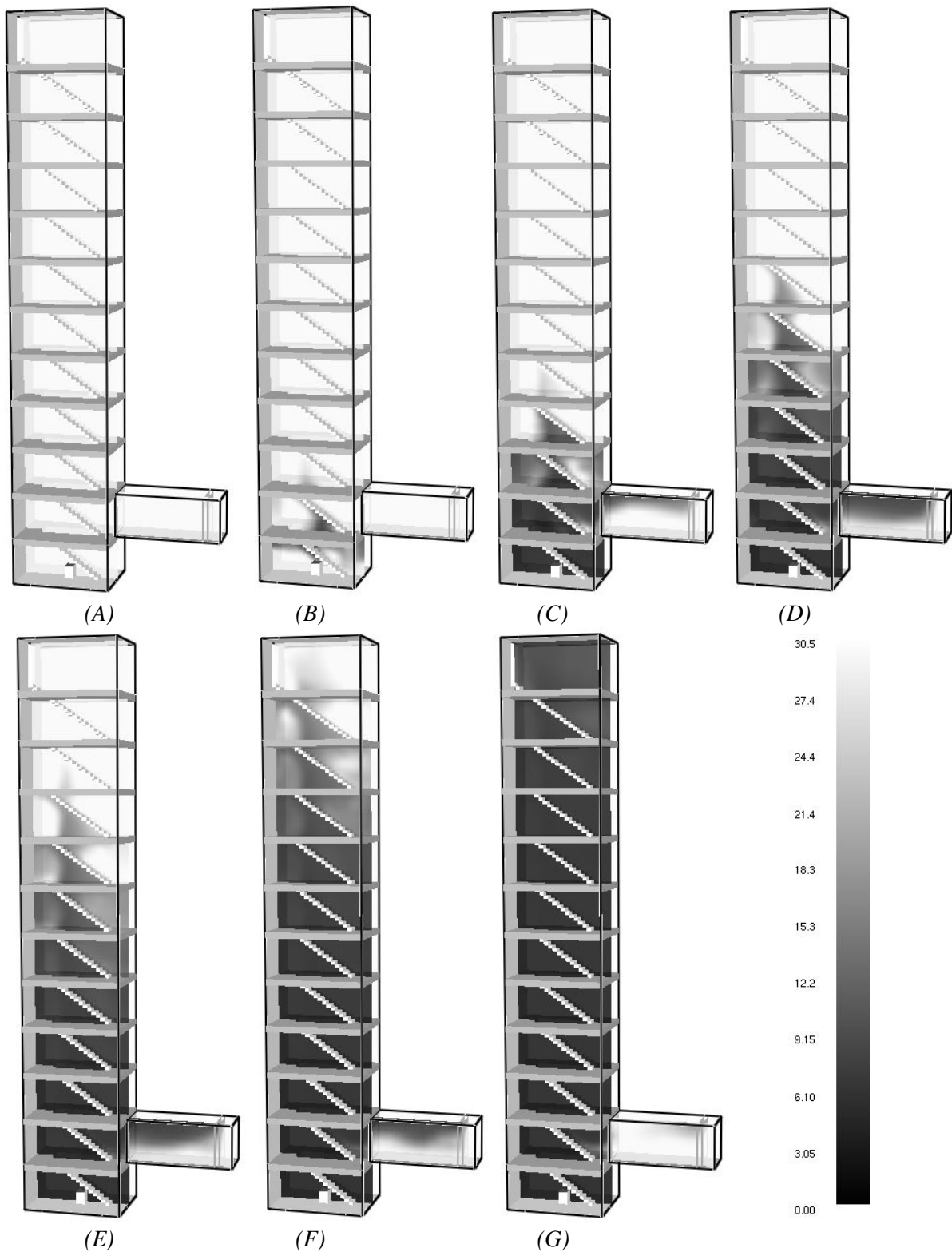
K ověření míry nebezpečí vznikající vlivem předmětu na CHÚC, který začne hořet, byl zvolen výpočetní program FDS za pomoci grafického zobrazení ve Smokeview. Pro analýzu funkčnosti přirozeného větrání CHÚC s komínovým efektem byl vybrán model bytového domu s vnitřní dispozicí schodišťového prostoru ve středu objektu. Díky tomu není možné uvažovat o větrání přirozeným způsobem jiného typu. Vzorem pro simulaci je panelový dům ze 70. let se 4 bytovými jednotkami na každém nadzemním podlaží, který je tímto způsobem řešen. Nejedná se o typický příklad větrání CHÚC tohoto druhu. Panelový dům má 10 nadzemních podlaží, což je o jedno podlaží více, než kolik jich dovolují normy požárního kodexu pro CHÚC typu A. Navzdory odchýlení se od platných projektových norem se jedná o příklad doposud velmi častého a schváleného řešení bytových objektů v ČR. Důvodem, proč jsem zvolila tento objekt, je četnost obdobných případů a ověření schváleného stavu.

POŽÁRNÍ SCÉNÁŘ

Zvolený panelový dům má schodišťový prostor uprostřed objektu. Ze schodiště, tj. CHÚC, se vstupuje přímo do jednotlivých bytů. Pro ověření modelového příkladu je použit požár dětského kočárku. Vzhledem k rozvržení objektu je předpokládáno uložení předmětu přímo na CHÚC. Z hlediska bezpečnosti je důležité stanovit nejprůzračnější umístění takového předmětu pro rozvoj požáru. V modelovém scénáři bude kočárek umístěn pod schody v nejnižším podlaží. Jedná se o místo, kde by zahoření předmětu mohlo mít s velkou pravděpodobností nejhorší dopad na funkci CHÚC. Při požáru kočárku dochází k rapidnímu zakouření prostoru a znesnadnění úniku osob či zásahu JPO. Požár dětského kočárku může trvat i 7 minut za uvolnění až 200 MJ. Při plně rozvinutém požáru se může uvolnit z kočárku přes 1,0 MW (data z experimentu v Požární laboratoři UCEEB ČVUT v Praze 04/2017).

Namodelovaná situace by měla simulovat stav dostačující k chodu přirozeného větrání komínovým efektem za přítomnosti otevřených vstupních dveří a dveří vedoucích na střechu. Při tomto stavu by mělo

nastat přísávání venkovního vzduchu vstupními dveřmi a odvod kouře a horkých plynů otvorem v nejvyšším místě za účinku vzlaku. Tok tekutin ve schodišťovém prostoru by měl proudit směrem vzhůru a v ideálním případě by nemělo dojít k zaplnění CHÚC kouřem.



Obr. 2 - Viditelnost [m] (A) v 0. sekundě; (B) v 50. sekundě; (C) ve 100. sekundě; (D) ve 150. sekundě; (E) ve 200. sekundě; (F) ve 250. sekundě; (G) ve 300. sekundě

Fig. 2 – Visibility [m] (A) in 0 seconds; (B) in 50 seconds; (C) in 100 seconds; (D) in 150 seconds; (E) in 200 seconds; (F) in 250 seconds; (G) in 300 seconds

ANALÝZA VÝSLEDKŮ

Pomocí modelu si můžeme zobrazit proudění vzduchu v prostoru i viditelnost, která přímo závisí na množství kouře. Na základě toho můžeme sledovat i míru zakouření. Při prostupu vzduchu schodišťovým prostorem dochází k víření vzduchu v každém podlaží u obvodových stěn pod stropy jednotlivých mezipater. Z modelu je patrné, že v něm nastávají stejné fyzikální pochody, ke kterým dochází i při komínovém efektu. Vzduch proudí chráněnou únikovou cestou s rychlostí až 1,5 m/s. Kouř je sice postupně odváděn větracím otvorem v nejvyšším místě, avšak proces je pomalý a větrání je nedostatečné. Přiváděný vzduch z exteriéru proudí pouze vstupní chodbou a tento prostor není zcela zaplněn kouřem. Potvrzuje se hypotéza, že nastává zaplnění podzemního podlaží a viditelnost v něm je nulová. V polovině druhé minuty začíná kouř zaplňovat první nadzemní podlaží a částečně vstupní chodbu. Viditelnost v modelu je značně omezena. Schodiště zaplňuje kouř již po polovině druhé minuty a je postupně rozptýlen po celé jeho výšce vlivem vztlaku. Po uplynutí 300 s (5 minut) dochází k zaplnění celého prostoru kouřem doprovázeného nulovou viditelností. Viditelnost na této únikové cestě je ve většině podlaží nulová již po krátkém časovém intervalu a evakuaci osob z 10podlažního panelového domu není možné zajistit do 2 minut od vzniku požáru. Z modelu je patrné, že se jedná o nepříznivé řešení požárního větrání obdobných chráněných únikových cest, které nezajišťuje bezpečnou evakuaci osob. V modelu ani po 1200 sekundách (20 minut) nedochází k dostatečnému odvětrání kouře mimo objekt. Viditelnost v časových intervalech 50 sekund značící míru zakouření CHÚC je zobrazena na Obr. 2.

ZÁVĚR

Na základě tohoto výpočetního modelu můžeme předpokládat, že v bytovém objektu, dle kterého byla simulace vytvořena, bude požární větrání probíhat stejně shodně. Příklad je pouze modelový. Nebyly v něm zahrnuty negativní vlivy detekce požáru, otevření větracích otvorů se zpožděním nebo vliv větru. Ale již teď je možné říct, že jde o situaci nezajišťující bezpečnost osob v objektu, pokud dojde k požáru na chráněné únikové cestě. V příkladu jsou navrženy otvory splňující požadavky na minimální plochu větracích otvorů v CHÚC typu A, přesto požární větrání není dostatečně efektivní. Při požáru by tato skutečnost mohla mít vážný dopad na lidské zdraví a v nejhorších případech by mohla způsobit i úmrtí. K zajištění lepších výsledků bych doporučila zvolit větší aerodynamickou plochu přívodního i odvodního otvoru a umístění přívodu vzduchu do podzemního podlaží. Modelová situace nám také ukazuje, jak nebezpečné jsou předměty umístěné na chráněné únikové cestě. Tato skutečnost zesiluje důležitost přílohy č. 6 vyhlášky 23/2008 Sb. [3] stanovující požadavky na předměty, které se mohou vyskytovat v prostorech chráněných únikových cest.

LITERATURA

- [1] POKORNÝ, Jiří. *Zplodiny hoření, jejich tvorba, vliv na bezpečnost osob a alternativní metoda posuzování*. Conference Paper. 2003.
- [2] ÚSTAV ZDRAVOTNICKÝCH INFORMACÍ A STATISTIKY ČR, ENBRA, HASIČSKÝ ZÁCHRANNÝ SBOR ČESKÉ REPUBLIKY a CENTRUM HYPERBARICKÉ MEDICÍNY V OSTRAVĚ. *Otrav oxidem uhelnatým v Česku dlouhodobě přibývá, největší nárůst bývá vždy v zimě*. TZB-info [online]. [vid. 2018-05-07]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vyta-pime-plynem/16780-otrav-oxidem-uhelnatym-v-cesku-dlouhodobě-pribyva-nejvetsi-narust-byva-vzdy-v-zime>
- [3] *Vyhláška č. 23/2008 Sb. Vyhláška o technických podmínkách požární ochrany staveb*. Praha: Ministerstvo vnitra, 2008.

ZMENŠENÝ MODEL ROOM CORNER TESTU**REDUCED SCALE MODEL FOR ROOM CORNER TEST****Bc. Kryštof Kaňok****Abstract**

This article deals with the issue of reducing the scale of the classic Room Corner Test to preserve the mechanical, thermal and chemical similarities as with the unmodified model. Physical patterns of scale changes in a fire are described by Froude modeling. Subsequently, a CFD model for the Room Corner Test and three three-dimensionally reduced Room Corner Test models are created, in which variable torque values are being modelled and the characteristics examined and compared.

Key words: Room Corner Test; scaling; reduced model; Froude modeling; Froude number

ÚVOD

V současné době se požadavky na požární ochranu stále zvyšují, čímž roste i množství požárních výrobků. Room Corner Test je vhodný pro velkorozměrové testování staveních výrobků z hlediska rychlosti uvolňování tepla a reakce na oheň. Zkoušky v reálném měřítku jsou nákladné a časově náročné. Cílem pokusu je dokázat, že ve stejné místnosti ve třetinovém měřítku lze dosáhnout stejného účinku požáru jako v místnosti nezmenšené. Finanční náklady a časová náročnost pro otestování výrobků by se tak značně zmenšily. Porovnání kritérií modelů v plném měřítku a ve zmenšeném měřítku lze pozorovat v tab. 1.

Tab. 1 Srovnání systémů modelování požárů [1]

Tab. 1 Comparing of fire modelling systems [1]

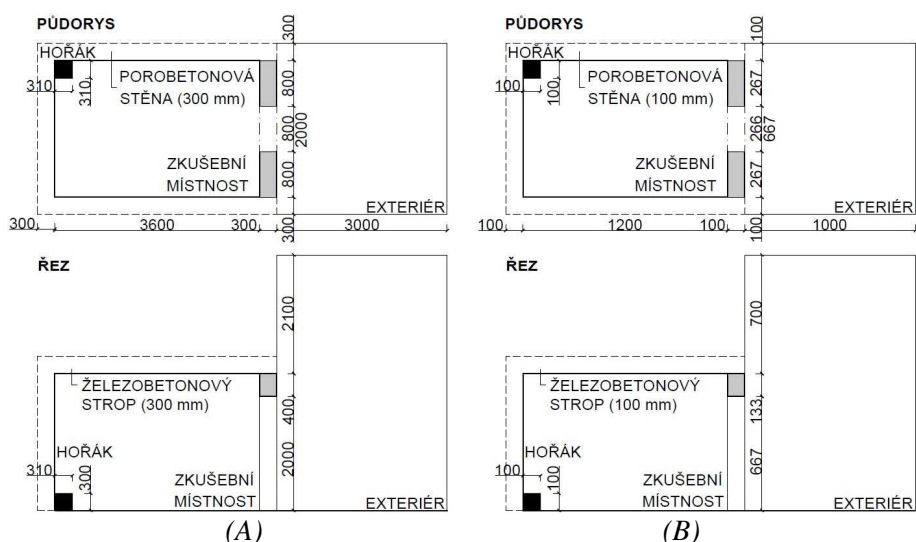
Kritéria	Plné měřítko modelu	Zmenšený model
Přesnost	Vysoká	Vysoká
Poměrná cena (€)	Desetitisíce	Stovky
Profesní kompetence	Vysoce pokročilá	Vysoce pokročilá
Čas přípravy	Měsíce	Týdny
Množství opakování	Velmi omezeno	Omezeno

Prosté lineární zmenšení geometrických rozměrů pro zmenšený model však není postačující. Pravidla potřebná pro dodržení těchto podobností mohou být odvozena z dimenzionální analýzy nebo základních rovnic popisujících fyzikální a chemické jevy [2].

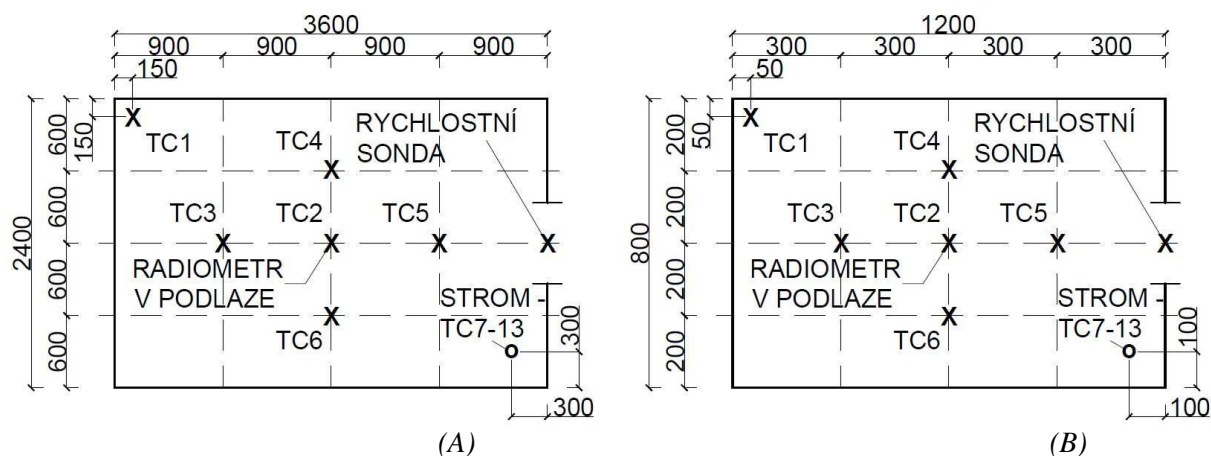
Nejznámější a nejrozšířenější fyzikální zákonitosti změn měřítka jsou známy jako Froudeho modelování, které je použitelné například také pro proudění při požáru. Froudeho číslo vyžaduje zachování poměru vztahových sil k setrvačným silám [2].

ROOM CORNER TEST (RCT)

RCT je normově stanovená zkouška, tudíž je nutné zachovat veškeré parametry, které norma [3] uvádí. Dodržení vlastností a rozměrů je nutné i u třikrát zmenšeného modelu. Základní rozměry klasického i redukovaného modelu včetně umístění propanového hořáku lze vidět na obr. 1. Hodnoty, které se v RCT měří a ve zmenšeném modelu by měly být dodrženy, jsou následující: Teploty plynu, povrchové teploty (obr. 2), sálavý tepelný tok a optická hustota kouře. Navíc je v rámci experimentu sledována výška kouřové vrstvy.



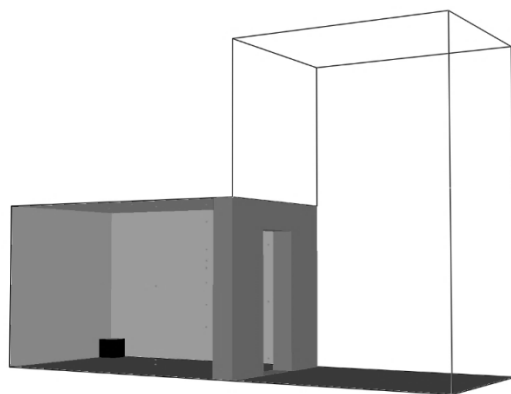
Obr. 1 Rozměry pro: (A) RCT; (B) zmenšený RCT
 Fig. 1 Dimensions of (A) RCT; (B) reduced scale RCT



Obr. 2 Rozmístění termočlánků pro: (A) RCT; (B) zmenšený RCT
 Fig. 2 Position of thermocouples in: (A) RCT; (B) reduced scale RCT

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Cílem řešeného příkladu bylo vytvoření několika CFD modelů, ve kterých byly pozorovány a porovnávány fyzikální a chemické jevy. V programu FDS byl sepsán zdrojový kód pro klasický RCT (obr. 3) a tři zmenšené s proměnným výkonem hořáku (tab. 2).



Obr. 3 Model Room Corner Testu v FDS programu
 Fig. 3 Model of Room Corner Test in FDS program

Tab. 2 Popis CFD modelů

Tab. 2 Description of FDS model

Popis modelu	Výkon hořáku [kW]		
	0-600 sekund	600-1200 sekund	1200-1500 sekund
RCT	100	300	0
RCT mini	58	173	0
RCT 1/3	33	100	0
RCT 1/9	11	33	0

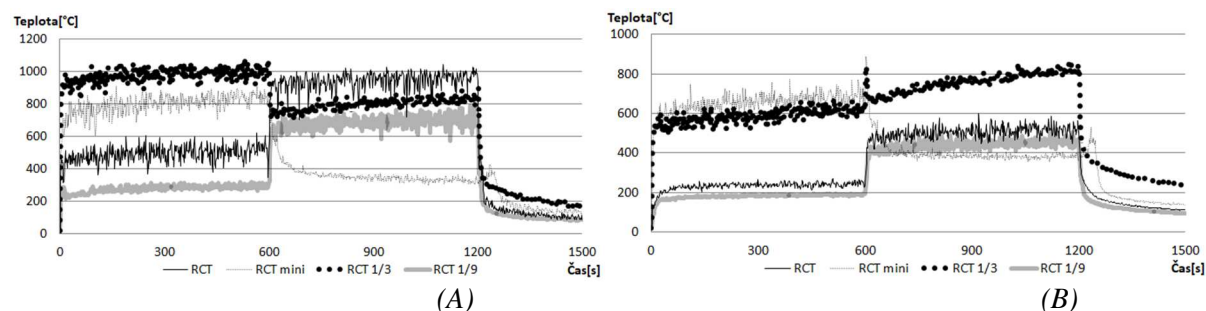
Výkon hořáku pro RCT mini byl určen na základě dodržení Froudeho čísla (rovnice 1), avšak místo rychlosti proudění byl dosazen výkon hořáku pro klasický RCT. Dále byl vytvořen model RCT 1/3 z důvodu prokázání, že při třetinovém měřítku nestačí na třetinu zmenšit i výkon hořáku pro zachování stejných podmínek. Na obr. 4-6 lze pozorovat, že se hodnoty v modelech RCT mini ani RCT 1/3 neshodují s klasickým RCT, proto byl vytvořen model RCT 1/9, který redukuje výkon hořáku na 1/9, což je stejný poměr, jako je objem zmenšené místnosti. Froudeho číslo je možné stanovit na základě následujícího vzorce:

$$Fr = \frac{u^2}{g \cdot D} \quad (1)$$

ucharakteristická rychlost proudění [m/s]

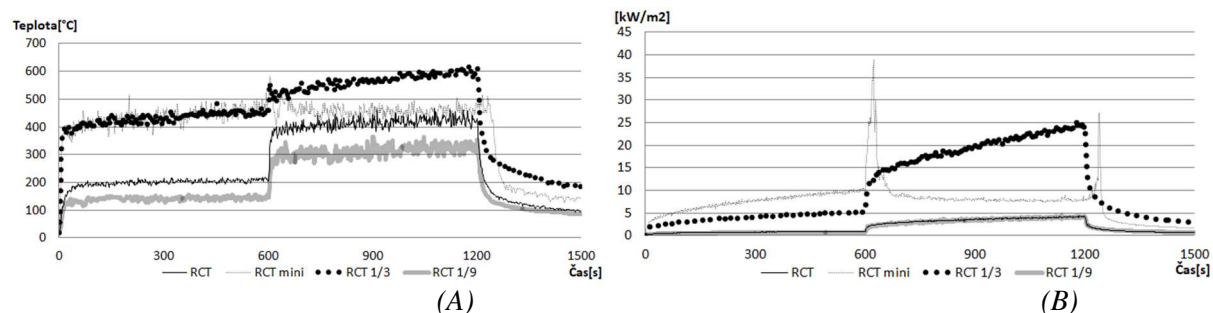
ggravitační zrychlení [m/s²]

Dprůměr průtoku zdroje [m]



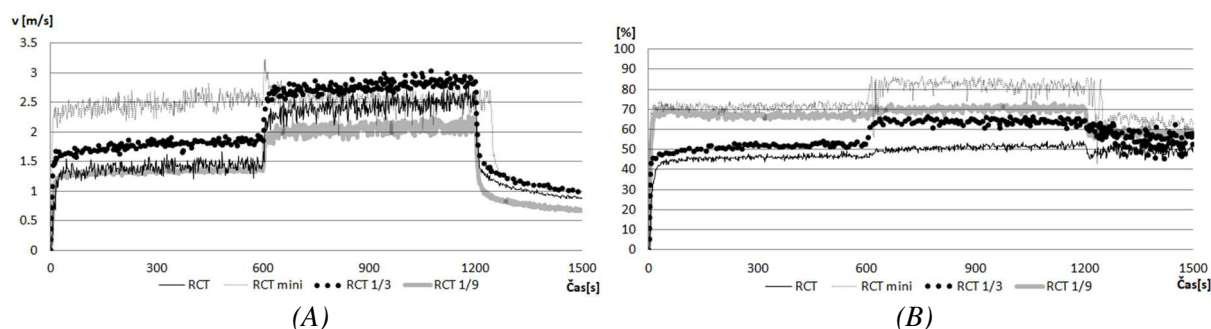
Obr. 4 Povrchová teplota stropu: (A) nad hořákem; (B) ve středu místnosti
 Fig. 4 Surface temperature of ceiling: (A) above the burner; (B) in the middle of the room

Na obr. 4 (A) lze vidět, že teploty v prvních 600 sekundách jsou u modelu RCT mini a RCT 1/9 až dvojnásobně vyšší a v následujících 600 sekundách při zvýšení výkonu hořáku teploty klesají. To je způsobeno tím, že k vytvoření plamenů, a tím i vyšších teplot, dochází až blíže dveřnímu otvoru, jelikož místnost nestíhá nasávat venkovní vzduch. Stejné chování pro model RCT mini lze pozorovat i u obr. 4 (B). Teplotní křivky pro RCT a pro RCT 1/9 vykazují normální průběh, kdy dojde ke zvýšení teplot na termočláncích společně se zvýšením výkonu hořáku.



Obr. 5 (A) Teplota plynu v nejvyšším bodě stromu s termočláncí; (B) Sálavý tepelný tok na podlahu
 Fig. 5 (A) Gas temperature in highest point of measuring device; (B) Radiative heat flux to floor

Na obr. 5 (B) lze pozorovat, že sálavý tepelný tok na podlahu pro model RCT a RCT 1/9 je téměř identický. Nejvyšších nárazových hodnot opět dosahuje model RCT mini, ve chvíli, kdy se zvýší výkon hořáku a v momentě, kdy se vypne. Způsobeno je to tím, že v těchto okamžicích dojde k vytvoření plamene přímo nad radiometrem umístěným v podlaze.



Obr. 6 (A) Rychlost proudění plynů ve dveřním prostoru ve výšce 1,8 m; (B) Výška zakouřené vrstvy v procentech

Fig. 6 (A) Gas velocity in high of 1,8 m of doorway; (B) Percentage of smoke layer in the room

Na obr. 6 (A) lze spatřit, že hodnoty pro model RCT a RCT 1/9 jsou v prvních 600 vteřinách porovnatelné, nicméně při zvýšení výkonu hořáku se rychlosti proudění u modelu RCT zvýší více, než pro model RCT 1/9.

ZÁVĚR

Z výsledků programu FDS lze pozorovat, že žádným modelem se zcela nepodařilo docílit podobných povrchových teplot, teplot plynu, sálavého tepelného toku, rychlosti proudění ani výšky kouřové vrstvy, jako v nezmenšeném RCT. Prokázalo se tím, že Froudeho modelování se nepodařilo využít na změnu výkonu propanového hořáku pro zachování stejných účinků požáru při změně měřítká. Dále se modelem ověřilo, že při lineárním zmenšení geometrických rozměrů společně s výkonem hořáku nelze dosáhnout stejných hodnot, jako v nezmenšeném modelu. Posledním modelem se prokázalo, že redukování výkonu hořáku ve stejném poměru, jako se redukuje objem místnosti, také nevykazuje shodné hodnoty s nezmenšeným modelem. Podobné účinky požáru vystihoval nejvíce model RCT 1/9, který byl sice v teplotách poddimenzován, nicméně sálavý tepelný tok na podlahu a rychlost proudění plynů ve dveřním prostoru ve výšce 1,8 m jsou téměř shodné.

LITERATURA

- [1] KRAJČÍR, Maroš a Jana MÜLLEROVÁ. *3D Small-scale Fire Modeling Experiments*. Procedia Engineering [online]. 2017, 192, 474-479
- [2] KUČERA, Petr a Zdeňka PEZDOVÁ. *Základy matematického modelování požáru*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2010. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-095-1.
- [3] *ISO 9705-1:2016 Reaction to fire tests – Room corner test for wall and ceiling lining products – Part 1: Test method for a small room configuration*. Switzerland ISO Copyright office.

MĚŘENÍ TEPLoty A RYCHLOSTI PROUDĚNÍ PLYNŮ V PODMÍNKÁCH ZKOUŠKY ROOM CORNER TEST

MEASUREMENT OF TEMPERATURE AND GAS FLOW VELOCITY IN THE TEST CONDITIONS OF ROOM CORNER TEST

Bc. Lucie Spourová

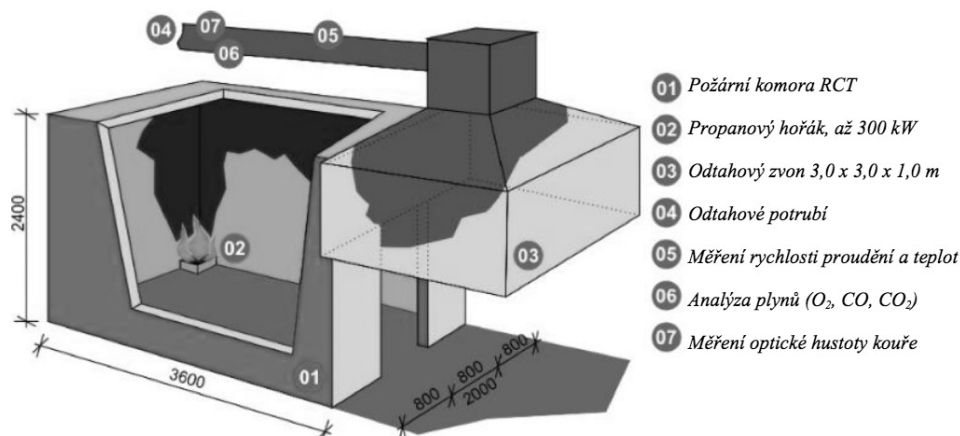
Abstract

The goal is a summary of the problems of measuring the temperature and velocity in the Room Corner Test, especially types used gauges and measurement principles required per unit, as well as options and the impact of the installation (attachment) gauges. The main objective is to perform and evaluate the sensitivity of the analysis, which means the influence of the different diameters of the used gauges (specifically thermocouples) on the measured values with the same temperature conditions.

Key words: Sensitivity analysis; measurement of temperature; pitot tube; bi-directional probe; Room Corner Test; flow velocity; thermocouple

ÚVOD

Motivací k řešení této problematiky je získávání správných výsledků při provádění požárních zkoušek ve zkušebním zařízení Room Corner Test (obr. 1), které slouží pro velkorozměrové požární zkoušky. Výsledky z těchto zkoušek jsou závislé na používaných měřidlech, pro která je klíčové jejich provedení, umístění i způsob připevnění. Právě na provedení i umístění se soustředí řešený příklad. Metodika je dána normou [1], která popisuje zkušební zařízení i používaná měřidla a požadavky na ně. Tento článek se soustředí konkrétně na termoelektrické články (dále TC; měření povrchových teplot a teplot plynů) a na obousměrné rychlostní sondy (dále OS; měření rychlosti proudění plynů).



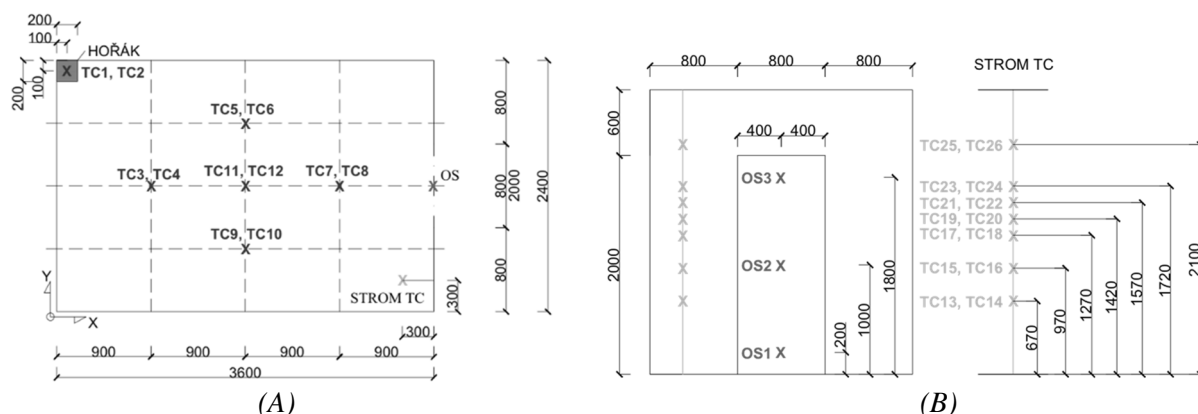
Obr. 1 Dispozice Room Corner Test [2]
Fig. 1 Room Corner Test layout [2]

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Cílem řešeného příkladu bylo především provedení citlivostní analýzy při měření teplot povrchových (TC pod stropem) i plynů (strom TC), dále měření rychlosti proudění plynů ve třech výškových úrovních. Citlivostní analýza spočívala ve sledování vlivu rozdílných průměrů TC. Do míst určených normou [1] byly umístěny vždy dva TC o dvou různých průměrech – jeden průměru dle normy, druhý zvětšený. Přesné rozměry jsou následující:

- povrchové teploty (TC1-TC12) 0,25 mm 3,0 mm (12x větší)
- teploty plynů (TC13-TC26) 0,05 mm 0,5 mm (10x větší)

Dále se do otvoru vedoucího do volného prostoru umístila tři zařízení pro měření rychlosti proudění (OS). Rozmístění měřících zařízení je zobrazeno na obr. 2 (kótováno v milimetrech).



Obr. 2 Rozmístění měřících zařízení: (A) Půdorys; (B) Pohled na stěnu s otvorem z vnitřní strany
 Fig. 2 Location of measuring devices: (A) Floor plan; (B) View on the wall with an opening from the inside

V programu FDS byl sepsán zdrojový kód pro výpočet a vytvořena zjednodušená samotná místnost včetně rozmístění měřících zařízení. Stěny místnosti byly z pórobetonu tl. 200 mm, podlaha a strop z betonu také tl. 200 mm. Celkový čas simulace byl 25 min (1500 s) s následujícím scénářem:

- 1. až 10. minuta 1. až 600. sekunda výkon hořáku 100 kW
- 11. až 20. minuta 601. až 1200. sekunda výkon hořáku 300 kW
- 21. až 25. minuta 1201. až 1500. sekunda vypnutí hořáku, chladnutí

VÝSLEDKY SIMULACE – MĚŘENÍ POVRCHOVÝCH TEPLOT A TEPLOT PLYNŮ

Po ukončení výpočtu byly zjištěny výsledky shrnuté v tab. 1, která uvádí maximální hodnoty teplot naměřené na termoelektrických člancích, dále čas, kdy jich bylo dosaženo a v posledním sloupci jsou teploty na konci měření, tedy v čase 25 min = 1500 s.

Tab. 1 Teploty na všech termoelektrických člancích

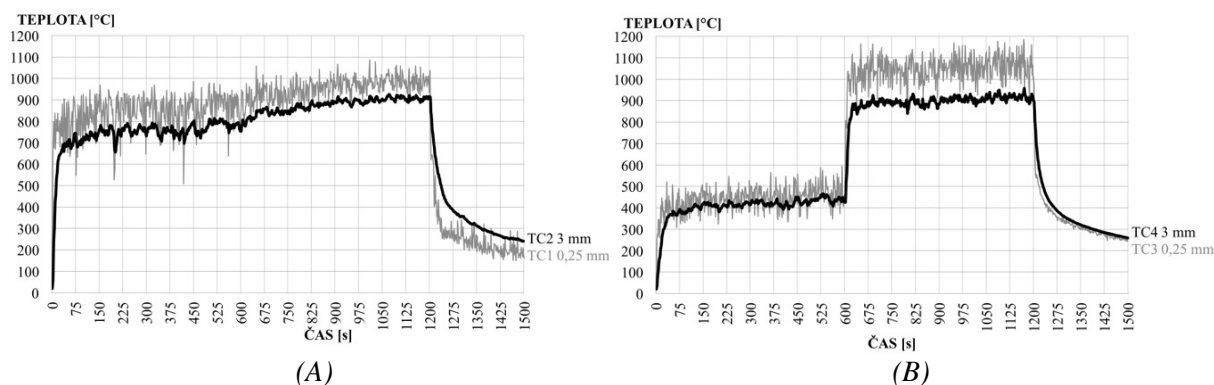
Tab. 1 Temperatures on all thermocouples

TC povrchové teploty	MAXIMÁLNÍ TEPLOTA [°C]	ČAS, KDY JE DOSAŽENO MAX. TEPLoty [s]	1500 s TEPLOTA NA KONCI MĚŘENÍ [°C]
TC1 0,25 mm	1086	1010	160
TC2 3 mm	926	1071	240
TC3 0,25 mm	1185	1169	243
TC4 3 mm	958	1170	259
TC5 0,25 mm	1121	1158	249
TC6 3 mm	913	1199	256
TC7 0,25 mm	885	803	228
TC8 3 mm	743	1140	228
TC9 0,25 mm	998	1091	229
TC10 3 mm	801	1170	236
TC11 0,25 mm	1072	1124	234
TC12 3 mm	862	1137	243

TC teploty plynů	MAXIMÁLNÍ TEPLOTA [°C]	ČAS, KDY JE DOSAŽENO MAX. TEPLoty [s]	1500 s TEPLOTA NA KONCI MĚŘENÍ [°C]
TC13 0,05 mm	128	1197	50
TC14 0,5 mm	161	1200	58
TC15 0,05 mm	222	564	56
TC16 0,5 mm	208	1197	63
TC17 0,05 mm	608	1187	64
TC18 0,5 mm	582	1136	68
TC19 0,05 mm	702	936	76
TC20 0,5 mm	659	1175	76
TC21 0,05 mm	716	1113	84
TC22 0,5 mm	682	1130	84
TC23 0,05 mm	737	1124	99
TC24 0,5 mm	704	1160	104
TC25 0,05 mm	782	1137	169
TC26 0,5 mm	727	1137	169

Jak se na začátku předpokládalo, teploty na TC s nižším průměrem byly ve většině případů vyšší než na těch s průměrem větším. Důvodem je, že menší průměr znamená menší plochu nutnou k ohřátí, tedy rychlejší nárůst teploty. Naopak TC s průměrem větším si déle držely svou teplotu, ty s průměrem menším chladly rychleji. Výjimkou byly TC umístěné na stromu TC v nejnižší úrovni u podlahy. Důvodem je zřejmě proudění vzduchu do místnosti u podlahy a tím i rychlé ochlazování TC s menším průměrem.

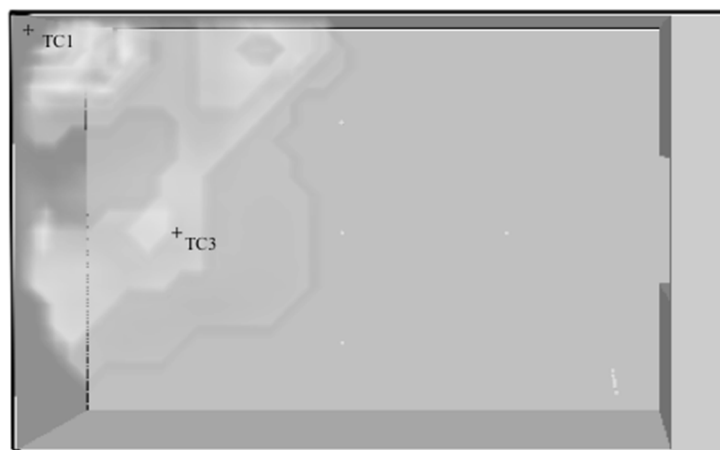
Největší zajímavostí bylo zjištění, že TC1 umístěný na stropě nad hořákem v rohu místnosti dosahoval nižších teplot než TC3, který nad hořákem není. Průběhy teplot jsou patrné na obr. 3, skoky zapříčiňuje zvýšení výkonu hořáku a poté jeho vypnutí.



Obr. 3 Teploty na povrchových termoelektrických člancích: (A) TC1 a TC2 nad hořákem; (B) TC3 a TC4 mimo hořák

Fig. 3 Temperatures on surface thermocouples: (A) TC1 and TC2 above the burner; (B) TC3 and TC4 away from the burner

Důvod, proč TC3 dosahoval vyšších teplot než TC1 umístěný přímo nad hořákem a dosahující teploty menší o cca 99 °C, může být ten, že díky malé ploše hořáku (0,2 × 0,2 m) se plamen šíří od rohu směrem do místnosti rychleji (odráží se od stěn) než ke stropu místnosti (obr. 4).



Obr. 4 Půdorys místnosti a plamen v čase nejvyšší dosažené teploty: 1169 s, 1185 °C
Fig. 4 Horizontal plan of the room and flame at the time of the highest reached temperature: 1169 s, 1185 °C

VÝSLEDKY SIMULACE – MĚŘENÍ RYCHLOSTI PROUDĚNÍ PLYNŮ

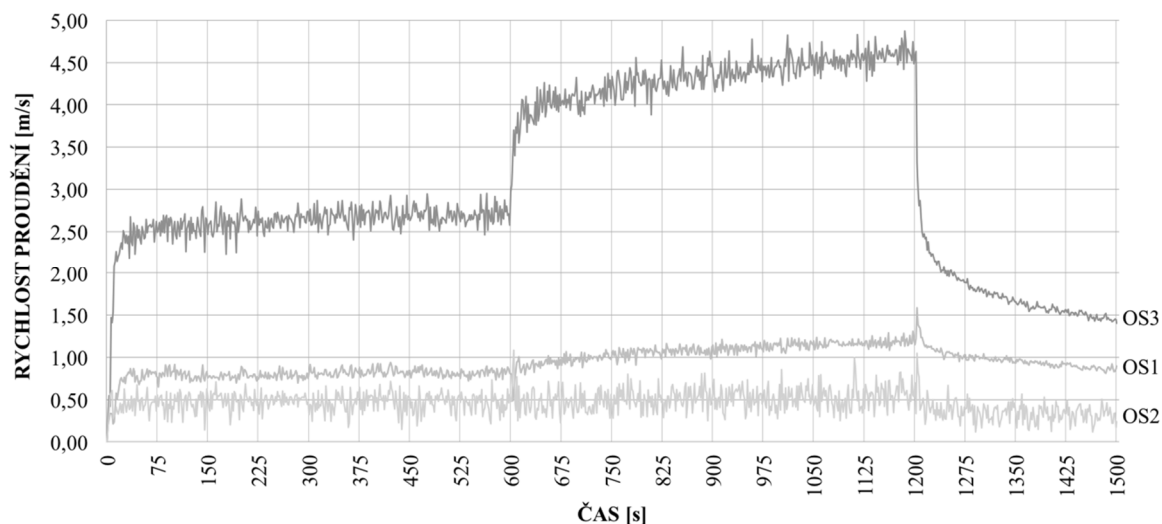
Dalším zkoumaným parametrem byla rychlost proudění plynů. Měřicí zařízení se umístila do středu otvoru ve třech výškových úrovních (obr. 2). Naměřená data jsou shrnuta v tab. 2, která uvádí maximální hodnoty rychlosti proudění naměřené na obousměrných rychlostních sondách, dále čas, kdy jich bylo dosaženo a v posledním sloupci jsou rychlosti proudění na konci měření, tedy v čase 25 min = 1500 s.

Tab. 2 Shrnutí rychlosti proudění plynů

Tab. 2 Summary of gas flow velocity

OS	MAX. RYCHLOST PROUDĚNÍ [m/s]	ČAS, KDY JE DOSAŽENO MAX. RYCHLOSTI PROUDĚNÍ [s]	1500 s – RYCHLOST PROUDĚNÍ NA KONCI MĚŘENÍ [m/s]
OS1	1,59	1203	0,90
OS2	1,08	605	0,24
OS3	4,87	1185	1,41

Nejvyšší rychlost proudění je v nejvyšším místě otvoru OS3, a to z toho důvodu, že horké plyny se shromažďují u stropu, vytváří přetlak v horní vrstvě a proudí ven. Naopak dovnitř do místnosti proudí vzduch z venku u podlahy vlivem podtlaku, proto je v nejnižším místě otvoru OS1 rychlost druhá nejvyšší. Uprostřed otvoru, tedy v místě OS2 (1 m nad podlahou) je nižší rychlost z toho důvodu, že je nejbližší neutrální rovině a rozdíl tlaků se blíží nule. Průběhy zaznamenaných výsledků z obousměrných rychlostních sond jsou vyobrazeny na obr. 5.



Obr. 5 Rychlost proudění plynů v úrovni otvoru ve výšce 0,2 m (OS1), 1 m (OS2) a 1,8 m (OS3)
Fig. 5 Gas flow velocity at the opening at the height of 0.2 m (OS1), 1 m (OS2) and 1.8 m (OS3)

ZÁVĚR

Pomocí programu FDS byly vypočítány zkoumané rychlosti proudění v obousměrných rychlostních sondách i teploty na termoelektrických člancích měřících povrchové teploty a teploty plynu. Bylo potvrzeno, že termoelektrické články s menším průměrem jsou citlivější na okolní změny než ty s několikanásobně zvětšenými průměry, i když jsou definovány v úplně stejném místě. Také se potvrdilo, že rychlosti proudění plynů dosahují vyšších hodnot s rostoucí vzdáleností od neutrální roviny.

LITERATURA

- [1] ISO 9705-1, Reaction to fire tests – Room Corner Test for wall and ceiling lining products – Part 1: Test method for a small room configuration. Geneva: ISO copyright office, 2016.
- [2] POKORNÝ, M. a kol. Virtuální CFD model pro Room Corner Test. Buštěhrad: Energeticky efektivní budovy 2015, sympozium Společnosti pro techniku prostředí, 2015.

MALOROZMĚROVÉ ZKOUŠKY POŽÁRNÍ ODOLNOSTI

SMALL-SCALE FIRE RESISTANCE TESTS

Bc. Jiří Chládek

Abstract

The goal of this research is to create a detailed design of the virtual furnace model for a preliminary assessment of fire resistance on a small scale. Review of fire resistance of building elements, detection methods of fire resistance and test furnaces for small-scale tests is carried out. Furthermore, the solved example is aimed at creating a mathematical model of a virtual furnace for the preliminary assessment of a small scale fire resistance test. There is a brief summary of the solved example in the final chapter.

Key words: *Small-scale test; fire resistance; furnace; CFD; FDS; temperature; thermocouple; plate; thermometer; ISO 834*

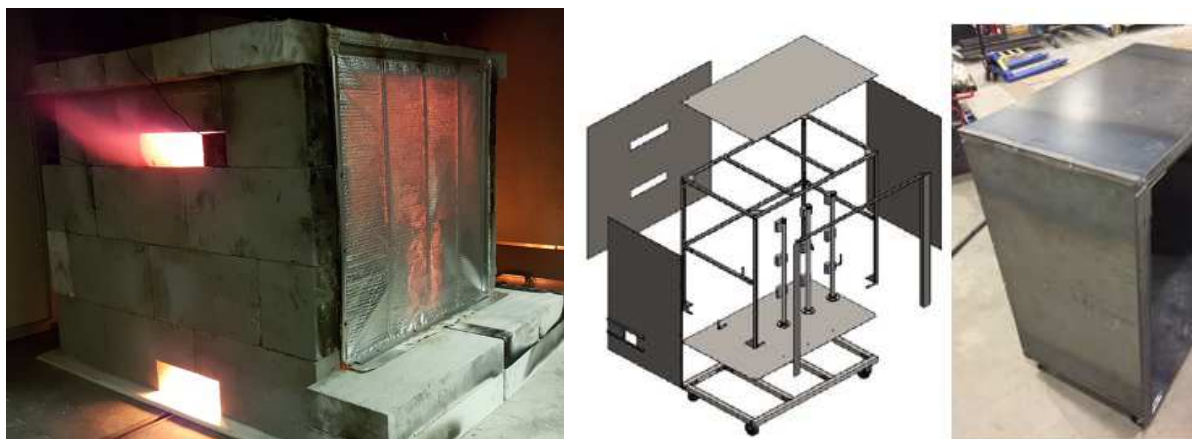
ÚVOD

Při projektování staveb je nutné projektovat pouze ze stavebních výrobků, které při osazení do stavby mají zkouškami prokázané a deklarované vlastnosti. Jednou ze zkoušek, která se u stavebních výrobků a materiálů provádí, je zkouška požární odolnosti. Zkoušky požární odolnosti v akreditovaných laboratořích jsou jak časově, tak finančně nákladné. V dnešní době, kdy firmy přicházejí na trh se stále novými stavebními výrobky z atypických materiálů a skladeb, je vhodné si předběžně ověřit požadované vlastnosti zkouškou v malém měřítku.

ZKOUŠKY POŽÁRNÍ ODOLNOSTI V MALOROZMĚROVÉM MĚŘÍTKU

Malorozměrové zkoušky slouží k předběžnému ověření požární odolnosti, oficiální zkoušky pak probíhají v akreditované zkušební laboratoři. Při malorozměrových zkouškách požární odolnosti je důležité docílit toho, aby zkouška odpovídala v rámci možností co nejvíce normovým požadavkům. Jedním z nejdůležitějších požadavků na zkoušku požární odolnosti je, aby probíhala dle normové nominální teplotní křivky, která charakterizuje fázi plně rozvinutého požáru. Malorozměrová zkouška umožní rychlejší a levnější způsob testování výrobku. Mimo jiné může sloužit jako identifikace, jestli je vývoj nového výrobku na správné cestě. Malorozměrová zkouška zabere mnohem méně času a lze provést více testů v kratší době, což znamená významnou výhodu v souvislosti s vývojovými pracemi a při plánování akreditovaného testu. Na zkoušku pak lze vybrat nejvhodnější výrobek, u kterého si bude výrobce téměř jist, že jím zvolený typ výrobku u zkoušky pravděpodobně obstojí. Zvolené řešení umožňuje ušetřit velké finanční náklady spojené s akreditovanou zkouškou a zjednodušuje vývoj nových výrobků.

Dvě pece pro malorozměrové zkoušky požární odolnosti jsou zobrazeny na Obr. 1. První pec na Obr. 1 (A) slouží pro malorozměrové zkoušky na Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT v Praze (dále jen UCEEB ČVUT v Praze). Při této zkoušce lze ověřovat chování prvků při požáru na svislém vzorku o rozměrech exponované části konstrukce 0,8 m x 1,0 m. Pec je navržena, aby odpovídala nominální normové křivce ISO 834. Druhá zobrazená pec na Obr. 1 (B) byla vytvořena na fakultě Worcester Polytechnic Institute ve Spojených státech amerických (dále jen WPI). Na této peci jde ověřovat prvky při požáru o rozměrech 0,91 m x 1,22 m. Průběh teplot v peci odpovídá standardům pro testování konstrukcí a materiálů dle teplotní křivky ASTM E199.



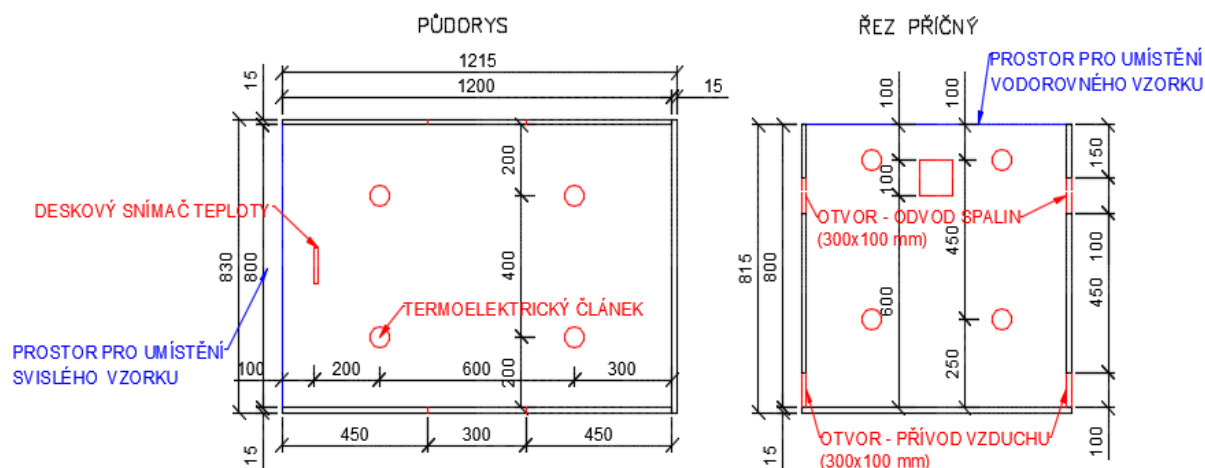
(A)

(B)

Obr. 1 Pece pro malorozměrové zkoušky požární odolnosti: (A) UCEEB ČVUT v Praze (B) WPI
 Fig. 1 Furnaces for small-scale fire resistance tests: (A) UCEEB CTU in Prague (B) WPI

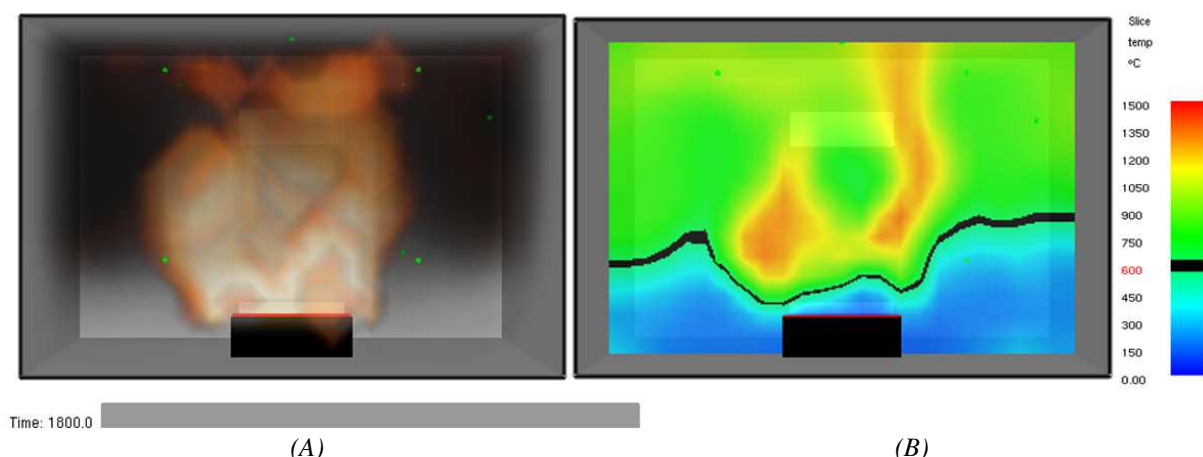
MALOROZMĚROVÁ VIRTUÁLNÍ PEC

Návrh virtuální zkušební pece vychází z požadavků normy ČSN EN 1363-1. Hlavním úkolem této práce bylo navrhnout virtuální pec, kde nejdůležitějším bodem bylo, aby korespondovala s nominální normovou křivkou ISO 834. Z tohoto požadavku se odvíjel návrh otvorů pro přívod vzduchu a odvod spalin, nastavení výkonu plynového hořáku a rozložení termoelektrických článků. V peci je umístěný plynový hořák o délce 300 mm, šířce 100 mm a výšce 100 mm. Maximální výkon hořáku je 200 kW a jako palivo slouží propan. Hořák je umístěný uprostřed pece, pro zajištění rovnoměrného ohřevu. Postupně rostoucí výkon plynového hořáku byl nastaven takovým způsobem, aby průběh teplot na horních termočláncích odpovídal nominální normové křivce ISO 834. Navržená pec umožňuje testovat vodorovné i svislé vzorky. Lze tedy testovat vodorovné vzorky o rozměrech exponované části 1,2 m x 0,8 m, v případě svislých vzorků jde o rozměry 0,8 m x 0,8 m. Výsledný návrh je vidět na Obr. 2.



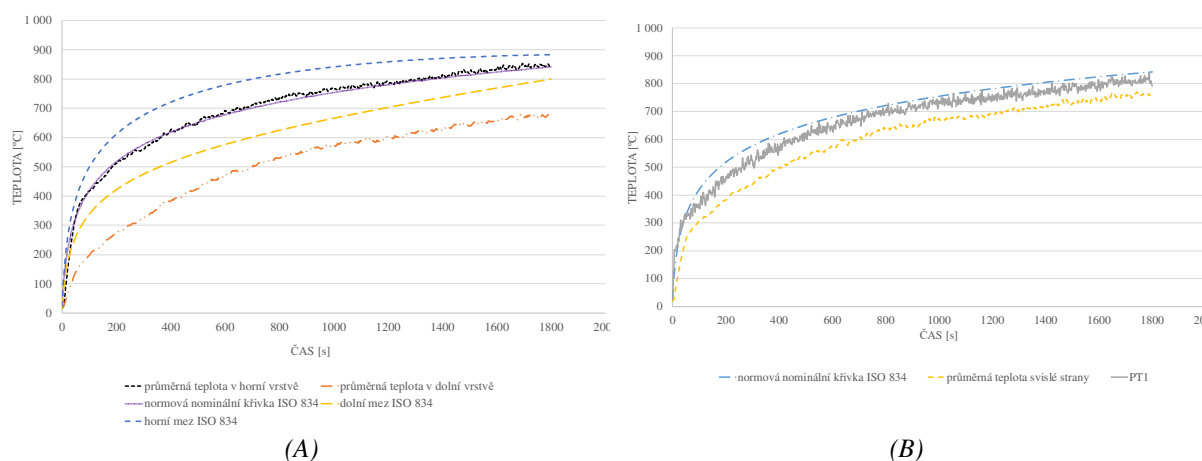
Obr. 2 Navržená virtuální pec
 Fig. 2 Designed virtual furnace

Byla provedena numerická simulace v softwaru FDS, kde byly porovnány změřené průměrné teploty z horních a dolních termočlánců s nominální normovou křivkou ISO 834 (Obr. 3). Simulace probíhala po dobu 30 minut. Ze získaných výsledků je vidět velmi dobrá shoda průměrné teploty z horních termočlánců. Průměrná teplota z dolních termočlánců je mnohem nižší i než je přípustná dolní mez nominální normové křivky ISO 834 (Obr. 4 (A)).



Obr. 3 Teploty v peci: (A) Plamen hořáku (B) rozloží teplot
 Fig. 3 Temperature in furnace: (A) Flame burner (B) Temperature distribution

Dále byl umístěn jeden deskový snímač teploty (PT1) 100 mm v pozici před případný svislý vzorek. Průměrná teplota na svislé straně byla vytvořena jako průměr ze dvou termočlánků ve spodní polovině a dvou termočlánků v horní. Ta byla následně porovnána s naměřenými teplotami deskovým snímačem a nominální normovou křivkou ISO 834 (Obr. 4 (B)). Průměrná teplota svislé strany je nižší než nominální normová křivka ISO 834, což je způsobeno tím, že do průměrné teploty jsou započítány termočlánky v dolní polovině, na které výkon pece nebyl dimenzován. Výsledkem tedy bude nerovnoměrný ohřev svislého zkoušeného vzorku.



Obr. 4 Porovnání teplot (A) v horní vrstvě zkušební pece (B) na svislé straně zkušební pece
 Fig. 4 Comparison of temperatures (A) in the upper layer of the test furnace (B) on the vertical side of the test furnace

ZÁVĚR

Navržená zkušební pec se jeví jako vhodná ke zkoušení vodorovných prvků, kdy po dobu 30 minut teploty působící na vodorovné prvky kopírují nominální normovou křivku ISO 834. V případě svislých prvků dochází částečně k nerovnoměrnému rozložení teplot způsobené přirozeným příivodem vzduchu. V závislosti na umístění navržených otvorů dochází k akumulaci teplot nad otvory určených pro odvod spalin, které kopírují nominální normovou křivku ISO 834. V části pod otvory pro odvod spalin jsou teploty nižší, než je požadováno při zkouškách požární odolnosti. Teploty odpovídající normové nominální křivce ISO 834 jsou přibližně do 2/3 od stropní konstrukce. Tím dochází k nerovnoměrnému ohřátí testovaného svislého vzorku, což může mít vliv na výsledek malorozměrové požární zkoušky.

Při interpretaci výsledků je nutné brát v úvahu, že vzorky jsou nezátížené a v malém měřítku, což ovlivňuje množství spár i kotvících prvků. Výsledné chování výrobku ve velkém měřítku (zabudování do stavby) se může částečně lišit, ve finále tedy záleží na tom, jak jsou výsledky z malorozměrových zkoušek vyhodnoceny a využity pro další vývoj.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 1363-1. *Zkoušení požární odolnosti- Část1: Základní požadavky*. Praha: ÚNMZ, 2013.
- [2] FLÍDR, Václav. *Alternativní zjišťování požární odolnosti stěnových prvků*. B.m.: České vysoké učení technické v Praze. 2017
- [3] ING, Alexander, Kevin LYNCH, Dylan MARTEL a Tara SHARP. *Design of Small-Scale Furnace for Fire Resistance Testing of Building Construction Materials*. B.m.: Worcester Polytechnic Institute. 2017
- [4] CAPOTE, Jorge A a Daniel ALVEAR PORTILLA. *Fire protection and life safety in buildings and transportation systems advanced research workshop*. Santander: GIDAI, 2009. ISBN 978-84-8102-559-0.
- [5] BEYLER, Craig, Jesse BEITEL, Nestor IWANKIW a Brian LATTIMER. *Fire Resistance Testing for Performance-based Fire Design of Buildings*. Final Report. B.m.: The Fire Protection Research Foundation. 2007

ANALÝZA PROCESU HOŘENÍ DŘEVĚNÉ HRANICE

ANALYSIS OF THE PROCESS OF BURNING WOOD CRIB

Bc. Martin Procházka

Abstract

The main goal of this work was to analyse the burning process of wood cribs, introduce things which relates to burning of cribs and also show the way of determining the heat release rate (HRR) for CFD models. In the solved example, two wood cribs are modelled. Firstly, the HRR values from a complex model of the wood crib need to be defined. To successful establishment of the simple model has to be HRR percentage divided on its edges. The purpose of this model is to reduce the computation time as much as possible and to get the HRR values of both models as close as possible.

Key words: Wood crib; FDS; HRR; fire safety; standard temperature curve; experiment

ÚVOD

Analýza procesu hoření dřevěné hranice je v ČR nedílnou součástí stanovování požárního zatížení. Požár dřevěné hranice se svou závislostí teploty na čase nejvíce podobá požáru skutečnému. Analýze procesu hoření hranice se věnovalo ve světě již mnoho výzkumných týmů. Tento výzkum je velice přínosný, jelikož právě dřevěné hranice slouží jako palivo při požárních experimentech z důvodu výše zmíněné závislosti a také díky ceně materiálu. Computational fluid dynamics (CFD) simulace detailní dřevěné hranice představuje vysoké nároky na výpočetní čas. Pro zkrácení výpočetního času lze zadat hranice zjednodušeně jako kvádry a na jejich stěny přidat procentuální podíl hodnoty rychlosti uvolněného tepla (HRR), které bylo simulováno na modelu detailní hranice. Tato práce je zaměřena na hledání ideálního procentuálního poměru, který zajistí vzájemné přiblížení obou křivek HRR.

Byly namodelovány dvě hranice, z nichž jedna byla modelována detailně a druhá byla vymodelována zjednodušeně. Nejprve se z výpočtu detailního modelu hranice stanovily hodnoty HRR, které poté byly přidány v procentuálním poměru na stěny modelu zjednodušené hranice. Snahou této práce a modelu bylo vzájemné přiblížení průběhů křivek HRR těchto hranic a snížení časové náročnosti výpočtu.

EXPERIMENTY NA PROCES HOŘENÍ DŘEVĚNÉ HRANICE

Po celém světě se již řada experimentů zaměřila na sledování tohoto procesu. Sledovány byly například požárně technické charakteristiky při hoření dřevěné hranice v různých nadmořských výškách, kde bylo zjištěno, že tepelný tok a teplota plamene jsou nižší u hranice, která byla umístěna ve vyšší nadmořské výšce [1]. Dalším zajímavým experimentem byl vliv více zápalných zdrojů na požárně technické charakteristiky. V tomto experimentu byly různě zvyšovány počty hořáků a získávaly se hodnoty, které se porovnávaly s hodnotami vypočtenými. Experimenty prokázaly, že větší počet hořáků zvyšuje spalovací efektivitu, ale nemá to žádný vliv na průběh pyrolýzy [2].

DŘEVĚNÁ HRANICE JAKO POŽÁRNÍ RIZIKO V ČSN

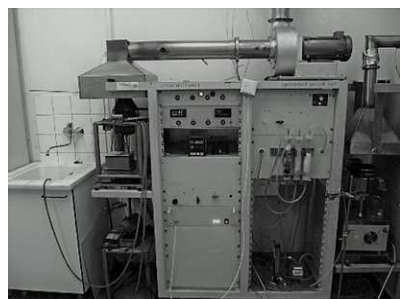
Již v roce 1975 proběhly požární zkoušky na VÚPS v Praze a byla prokázána teorie, že požár dřevěné hranice se svou závislostí teplota – čas, se nejvíce podobá požáru v administrativě a bytových domech [3]. Z těchto poznatků také vyplývá součinitel rychlosti odhořívání z hlediska charakteru hořlavých látek “a“, který rovněž vychází z hoření dřevěné hranice. Pomocí tohoto součinitele se stanovuje výpočtové požární zatížení, které dále slouží pro určení stupně požární bezpečnosti, ze kterého vychází požadavky na požární odolnost konstrukcí.



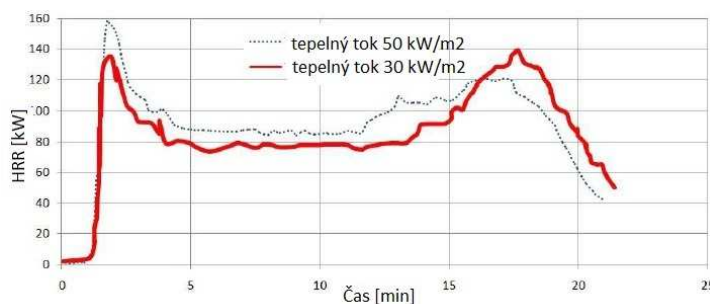
Obr. 1 Požární zkouška Mokrsko
Fig. 1 Mokrsko fire experiment

ZPŮSOB STANOVENÍ HRR PRO DŘEVO

V rámci řešeného příkladu byly hodnoty HRR stanoveny pomocí kónické kalorimetrie. Jedná se o celosvětově nejrozšířenější malorozměrovou požární zkoušku na stanovení HRR. Do kónického kalorimetru se umístí zkušební vzorek, který je po celou dobu zkoušky umístěn na vahách, kde je mimo jiné sledován úbytek hmotnosti. Vzorek je poté vystaven tepelnému sálání standardně po dobu 32 minut.



(A)



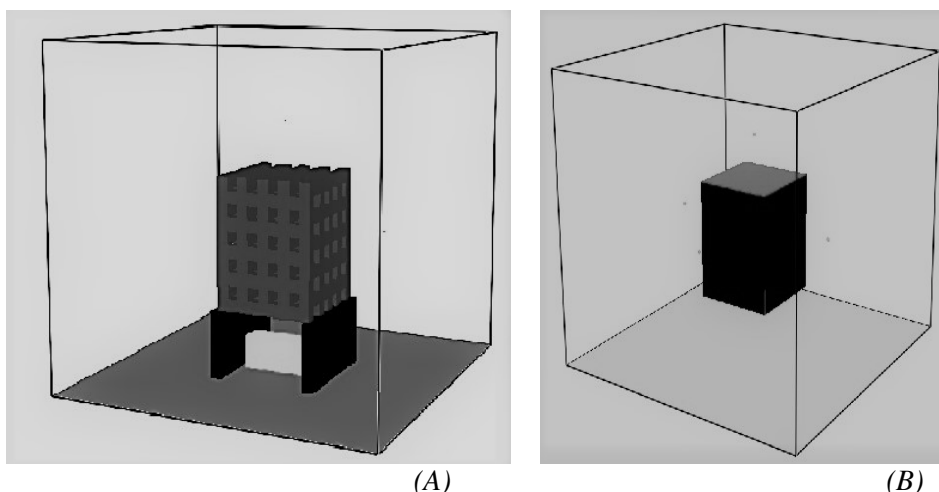
(B)

Obr. 2 (A) Zkušební zařízení kónického kalorimetru [4]; (B) Průběh hodnoty rychlosti uvolněného tepla smrkového dřeva [5]

Fig. 2 Cone calorimeter test equipment [4]; (B) The flow rate of released heat of the spruce wood [5]

POROVNÁNÍ CFD MODELŮ DŘEVĚNÝCH HRANIC

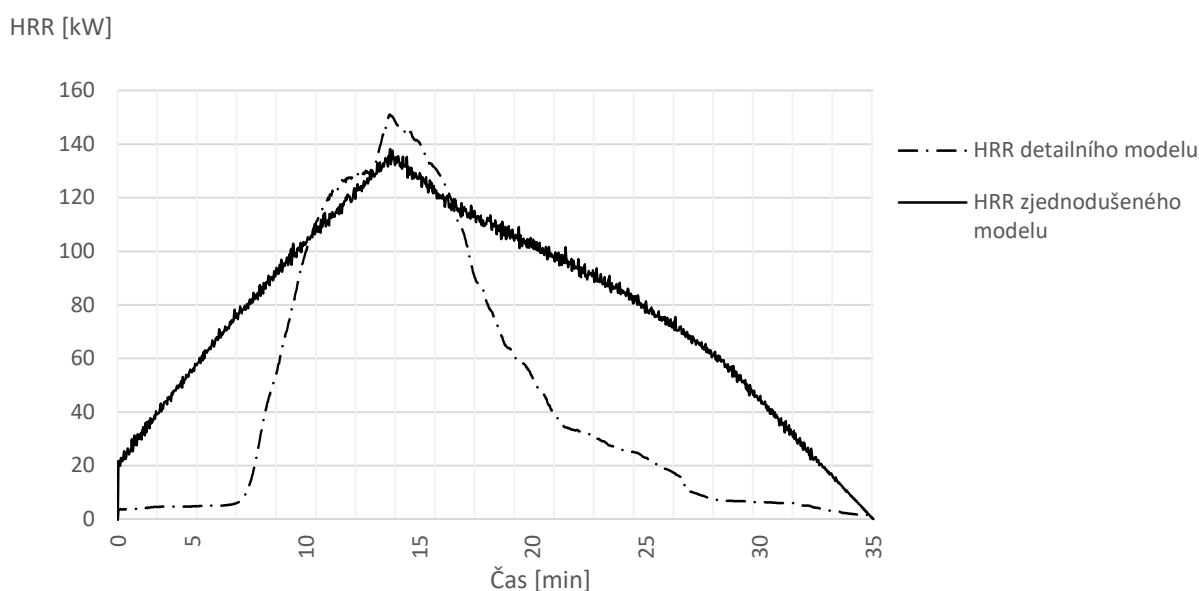
Pro řešený příklad je vymodelována v programu FDS detailní dřevěná hranice, z hranolů o průřezu 40 x 40 mm a délce 360 mm. Celkové rozměry hranice tedy jsou 360 x 360 x 400 mm. Hranice stojí na dvou podkladech z pórobetonových tvárnic (z důvodu případného experimentálního ověření) o rozměrech 40 x 200 x 400 mm. Hranice je umístěna do výpočetního prostoru o rozměrech 1200 x 1200 x 1000 mm. Jako zápalný zdroj je definován plynový pískový hořák o výkonu 5 kW. Tento hořák byl zapnut od první sekundy výpočtu a byl vypnut po 1600 sekundách. Hodnoty HRR smrkového dřeva, které jsou definovány ve výpočtu, jsou převzaty z provedených kalorimetrických zkoušek (Obr. 2B) [5]. Výpočetní čas tohoto modelu byl stanoven na 2100 sekund. Simulovaný průběhu HRR byl dále využit k modelu zjednodušené dřevěné hranice.



Obr. 3 (A) Model detailní hranice; (B) Model zjednodušené hranice

Fig. 3 (A) Model of detailed crib; (B) Model of a simple crib

Hodnoty výsledného průběhu HRR detailní hranice posloužily jako vstupy pro model zjednodušený. Z maximální hodnoty HRR je zvolen poměr, při kterém z horní plochy hranice bude sálat 60 % a ze zbylých stran po 10 % z celkové hodnoty HRR. Rozměry zjednodušené hranice byly shodné s detailním modelem. Rozdíl v těchto modelech spočívá v tom, že u zjednodušeného modelu již nehoří dřevo, ale pouze plochy kvádru, které nahrazují detailní hranici. U zjednodušeného modelu byla také hrubší výpočetní síť. Velikost jedné výpočetní buňky byla 50 x 50 mm, zatímco u modelu detailnějšího to bylo 20 x 20 mm a bylo zde také větší množství sítí. Tento fakt vedl k výraznému snížení výpočtového času zjednodušeného modelu. Při porovnání výpočtového času obou modelů získáváme hodnoty, že detailní model běžel 1620 minut (100 %), kdežto zjednodušený model pouze 101 minut (6,2 %). Z těchto hodnot je zřejmé, že cíl snížit výpočtový čas byl splněn.



Obr. 4 Porovnání průběhů hodnot HRR obou hranic

Fig. 4 Comparing the HRR values of both cribs

ZÁVĚR

Z Obr. 4 lze vidět, že zvolený poměr 60 % na vrchní plochu a 10 % na boční plochy nebyl zcela vhodný. Je zřejmé, že bude potřeba zvýšit procentuální poměr na horní ploše, aby se dosáhlo vyšší hodnoty HRR. Dále je patrné, že ve zdrojovém kódu zjednodušené hranice byl nedostačující počet příkazů popisujících poměr mezi nastavenou a maximální hodnotou výkonu (teploty), což mělo za důsledek rozdílný průběh křivek HRR obou modelů. Maximální hodnota HRR u složitějšího modelu dosáhla hodnoty 151 kW, kdežto u zjednodušené hranice to bylo pouze 138 kW. Maximální teploty modelů se lišily přibližně o 116 °C.

LITERATURA

- [1] LI, Zhen-hua, Yaping HE, Hui ZHANG a Jian WANG. *Proceedings of the Combustion Institute: Combustion characteristics of n-heptane and wood crib fires at different altitudes*. 2009. Pittsburgh, Pa.: The Institute, 2000. ISBN 1540-7489. ISSN 1540-7489.
- [2] KAMIKAWA, Daisuke a Yuji HASEMI. *Proceedings of the Combustion Institute: Experimental study on merged flame characteristics from multifire sources with wood cribs*. 2015. Pittsburgh, Pa.: The Institute, 2000. ISBN 1540-7489. ISSN 1540-7489.
- [3] REICHEL, Vladimír. *Zabraňujeme škodám, navrhování požární bezpečnosti staveb*. Praha, 1978.
- [4] NAJMANOVÁ, Hana; HEJTMÁNEK, Petr; ŠEVČÍK, Libor. <https://imaterialy.dumabyt.cz> [online]. [cit. 10.5.2018]. Dostupný na WWW: <https://imaterialy.dumabyt.cz/obrazek/55e847293f77b/hrr4a.jpg>
- [5] PROCHÁZKA, Jakub. *Konstrukčně subtilní požární stěna s dřevěným rámem*. Praha, 2016. Diplomová práce. ČVUT Fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Marek Pokorný, PhD.

POŽÁRNÍ OCHRANA ŽÁROVÝM ZINKOVÁNÍM

FIRE PROTECTION WITH HOT DIP GALVANIZING

Bc. Sylvie Raszková

Abstract

This article presents an influence of protection with hot dip galvanizing on a surface temperature of a steel member exposed to fire. The article follows an evaluation of experimental research from 2017. It shows surface temperatures in the steel with and without surface treatment due to coefficients of surface emissivity. In the first case, a value of a surface emissivity is given by conservative standard, in the second case, a value is based on the evaluation of the experiment. The article also shows a significance of a coefficient of surface emissivity on a particular example of a steel beam. In this example, an effect of the value of the cross-sectional coefficient on the element's surface temperature is shown. Furthermore, the surface temperature of the element is compared to the critical temperature of the element, which together with the degree of fire utilization is the fire resistance indicator of the structure. For hot-dip galvanized and non-galvanized surfaces the degree of utilization is prepared.

Key words: Emissivity; galvanized steel; hot dip galvanized; fire protection; fire resistance

ÚVOD

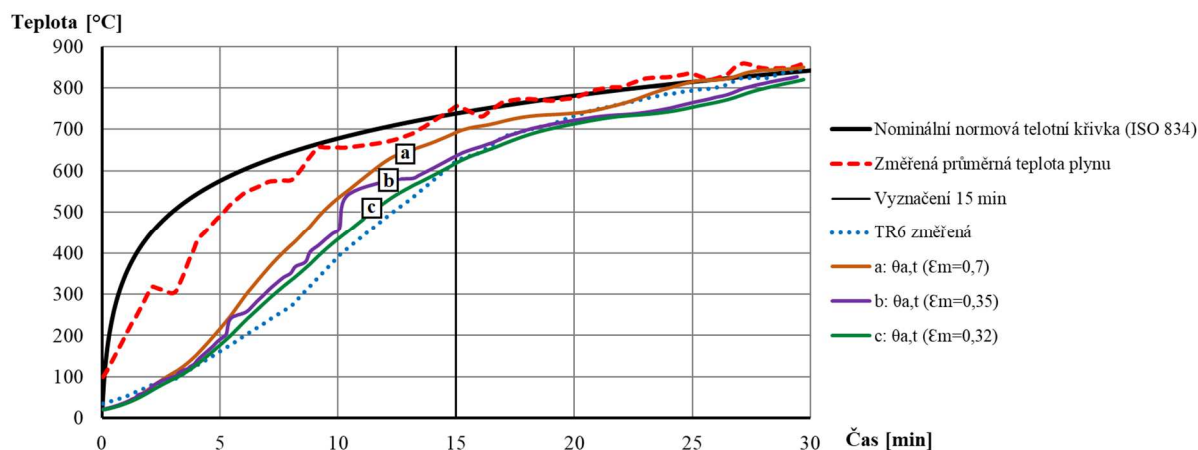
Nechráněné ocelové konstrukce kvůli vysoké tepelné vodivosti a svému obecně subtilnímu charakteru nejsou schopny odolávat vyšším teplotám. Pasivní požární ochrana těchto konstrukcí je cenově nákladná a mnohdy nezbytná v prostorách s vyšším požárním rizikem. Žárově zinkovaná ocel, používána především jako ochrana proti korozi, po několika experimentálních výzkumech přináší díky své lesklé povrchové úpravě pozitivní vliv na snížení povrchové teploty konstrukcí vystavené požáru, a tedy i příznivě ovlivňuje požární odolnost konstrukce.

Odrazivost povrchu je přímo úměrná emisivitě, kterou ovlivňuje právě povrchová úprava prvku. V případě požární ochrany žárovým zinkováním dochází k nanášení ponorem do zinkové lázně za teploty kolem 450 °C. Z toho důvodu zinková ochrana nabývá účinnosti do této teploty, neboť při vyšších teplotách dochází k degradaci ochrany a chráněný prvek postupně přechází v prvek nechráněný. Emisivita požáru (neboli plamenů) se uvažuje obecně jako $\epsilon_f = 1,0$. Emisivita povrchu prvku se navrhuje konzervativně $\epsilon_m = 0,8$. Dle normy EN 1993-1-2 [1] se emisivita povrchu materiálu uhlíkové oceli uvažuje $\epsilon_m = 0,7$. Tato navržená hodnota vychází z požárních experimentů ve vodorovných pecích a je konzervativní. Na základě experimentální části disertační práce [2] byla získána hodnota emisivity zinkovaného prvku $\epsilon_m = 0,32$. Práce z TU Dresden pro R 30 doporučují $\epsilon_m = 0,35$.

Dále je ukázán vliv hodnot emisivit žárově zinkované ochrany prvku ve srovnání s nechráněnou ocelovou konstrukcí. Pro žárově zinkované i nezinkované povrchy je připraven mezní stupeň využití.

POROVNÁNÍ EXPERIMENTÁLNĚ ZMĚŘENÝCH A VYPOČTENÝCH TEPLOT

Pro srovnání vlivu specifických hodnot emisivity povrchu na povrchovou teplotu prvku se použila změřená data první požární zkoušky v rámci série experimentů [2] ve zkušební peci vzorku TR6. Vzorek TR6 představuje uzavřený kruhový průřez o průměru 114,3 mm s tloušťkou stěny 4 mm. Přestup tepla do konstrukce je stanoven pomocí odpovídajícího součinitele přestupu tepla prouděním $\alpha_c = 25 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ [1]. Povrchová teplota prvku vypočtena přírůstkovou metodou s danými časovými přírůstky a se třemi specifickými hodnotami emisivity povrchu $\epsilon_m = 0,32, 0,35$ a $0,7$ (viz výše). Porovnání povrchové teploty vzorku změřené a vypočtené znázorňuje obr. 2. Emisivita je ve výpočtu uvažována konstantní hodnotou, nezávislou na čase.

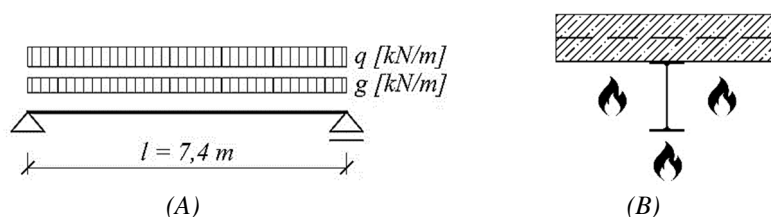


Obr. 1 Teplota ocelového vzorku TR6 dle změřené průměrné teploty plynu
 Fig. 1 Temperature course of the steel sample TR6 according to the measured average gas temperature

Nejlepší shody se změřenou povrchovou teplotou vzorku dosáhl průběh teplot prvku s hodnotou emisivity $\epsilon_m = 0,32$ (křivka c), a to do doby 15 minut, neboť se křivka vypočtená nachází nad křivkou změřenou, tedy na bezpečné straně spolu s vyššími teplotami. Po 15. minutě křivka vypočtená postupně přechází z bezpečné strany pod křivku změřenou a s přibývajícimi minutami se od ní čím dál více vzdaluje. V tomto okamžiku již nemůže být aplikována konstantní hodnota emisivity, neboť je emisivita povrchu proměnná v čase. Ochranná zinková vrstva vlivem stoupajících teplot, kdy při teplotě kolem 450 °C (limitní teplota) dochází k vypařování, tavení a ničení vrstvy zinku, postupně ztrácí svou účinnou odrazivost. Dochází poté ke zvyšování hodnoty emisivity povrchu, která se pozvolně blíží hodnotě nechráněného ocelového prvku ($\epsilon_m = 0,7$).

VÝZNAM SOUČINITELE EMISIVITY POVRCHU NA KONSTRUKCI

Na následujícím příkladu kloubově uloženého prostého ocelového nosníku, jakožto součásti spráženého ocelobetonové stropní konstrukce, se porovnála povrchová teplota ocelového prvku s použitím hodnot emisivity s ohledem na požadovanou požární odolnost R 15, jež definuje stupeň využití průřezu a kritická teplota prvku. Příklad spolu s hodnotami zatížení je převzat z odborného článku [3]. Zatížení ocelového nosníku o rozpětí 7,4 m představuje charakteristická hodnota stálého zatížení g_k (vlastní tíha + skladba podlahy) a užitého zatížení q_k . Pro srovnání jsou použity profily IPE 300 a IPE 500 z oceli pevnostní třídy S 235. Statické schéma nosníku a jeho vystavení požáru znázorňuje obr. 2.



Obr. 2 (A) Ocelový stropní nosník; (B) Nosník vystavený požáru ze tří stran
 Fig. 2 (A) Steel ceiling beam; (B) Steel beam exposed to fire from three sides

Průřezy jsou vystaveny požáru dle nominální normové teplotní křivky (ISO 834) ze 3 stran (obr. 2B). Horní pásnici průřezu chrání sprážená ocelobetonová deska s trapézovým plechem. Stupeň využití při požáru μ_0 je dán vztahem:

$$\mu_0 = E_{f_i,d} / R_{f_i,d,0} = M_{f_i,Sd} / M_{f_i,t,Rd} = 83,3 / 147,7 = 0,563 \quad (1)$$

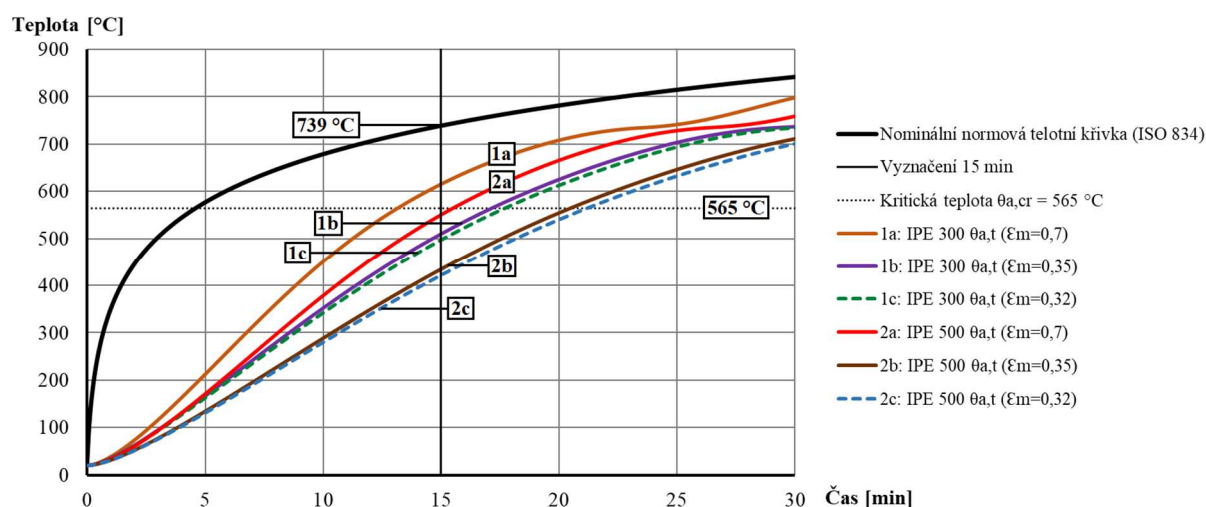
kde: $E_{f_i,d}$ je návrhová hodnota účinku zatížení za požáru nezávislého na čase,
 $R_{f_i,d,0}$ znázorňuje návrhovou hodnotu únosnosti za požáru v čase $t = 0$.

Jedná se tedy o poměr ohybového momentu při požární návrhové situaci $M_{fi,Ed}$ ku momentové únosnosti při požáru $M_{fi,Rd}$ s vlivem nerovnoměrného rozdělení teploty při pokojové teplotě (v čase $t = 0$).

Tomuto stupni využití odpovídá následující kritická teplota určená z ISO 834:

$$\Theta_{a,cr} = 39,19 \ln [1/(0,9674 \cdot \mu_0^{3,833}) - 1] + 482 = 39,19 \ln [1/(0,9674 \cdot 0,563^{3,833}) - 1] = 565 \text{ °C} \quad (2)$$

Hodnota kritické teploty je spočtena pro průřez IPE 300 a zjednodušeně uvažována i pro průřez IPE 500. Pro průřez IPE 500 by kritická teplota měla vyšší hodnotu díky nižšímu stupni využití. Větší průřez má díky většímu plastickému modulu pružnosti větší ohybový moment i momentovou únosnost při požáru. Přestup tepla do konstrukce spolu s povrchovou teplotou prvku stanoven shodným postupem jako v předešlé kapitole. Následující graf (obr. 3) znázorňuje průběh teploty plynu Θ_g , povrchové teploty průřezů $\Theta_{a,t}$ s danými hodnotami emisivity a vyznačuje vypočítanou hodnotu kritické teploty $\Theta_{a,cr}$.



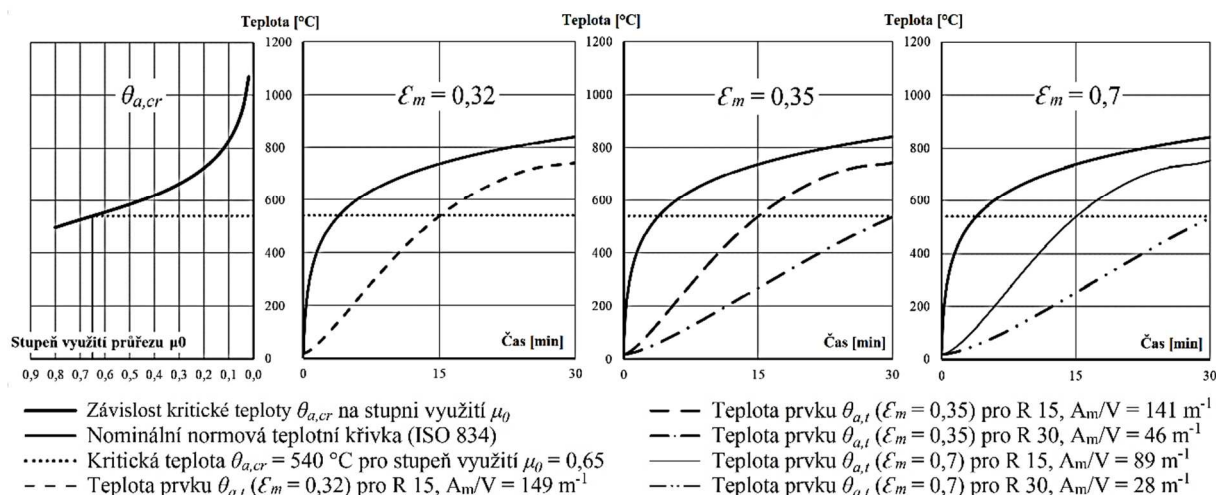
Obr. 3 Průběh teplot ocelových profilů s hodnotami emisivity
Fig. 3 Temperature course of the steel profiles with emissivity values

Teplota plynu v 15. min požáru dosahuje hodnoty 739 °C. Největšího teplotního rozdílu od teploty plynu v této minutě dosahuje profil zinkově chráněný IPE 500 s povrchovou teplotou 422 °C ($\epsilon_m = 0,32$) a 434 °C ($\epsilon_m = 0,35$). Povrchová teplota tohoto profilu bez ochrany činí 551 °C ($\epsilon_m = 0,7$). Čas, potřebný k dosažení kritické teploty $\Theta_{a,cr} = 565 \text{ °C}$ se v případě všech tří hodnot emisivity profilu IPE 500 nachází za vyznačenou linií 15. minuty a lze v tomto případě konstatovat splnění požadované požární odolnosti R 15. Oproti tomu profil IPE 300, kvůli vyššímu součiniteli průřezu A_m/V (udává poměr mezi povrchem (neboli obvodem) vystaveném požáru a průřezovou plochou), dosahuje vyšší povrchové teploty, a to konkrétně 497 °C ($\epsilon_m = 0,32$), 510 °C ($\epsilon_m = 0,35$) a 616 °C ($\epsilon_m = 0,7$). Požadovanou požární odolnost R 15 nesplňuje pouze nechráněný profil IPE 300 s hodnotou emisivity $\epsilon_m = 0,7$.

Tab. 1 Mezní součinitel průřezu pro požadovanou požární odolnost při stupni využití $\mu_0 = 0,65$

Tab. 1 The limit section factor for the asked fire resistance for utilization factor $\mu_0 = 0,65$

Emisivita	Součinitel průřezu A_m/V [m^{-1}] pro požární odolnost		Příklady průřezů splňujících mezní A_m/V pro požární odolnost	
	R 15	R 30	R 15	R 30
0,32	149	-	HEB 200, IPN 300, IPE 550	-
0,35	141	46	HEB 220, IPN 320, IPE 550	TR s tl. stěny 2,2 mm
0,7	89	28	IPN 550, HEB 500	TR s tl. stěny 3,6 mm



Obr. 4 Mezní součinitel průřezu A_m/V pro stupeň využití a kritickou teplotu
 Fig. 4 The limit section factor A_m/V for the degree of utilization a critical temperature

Norma EN 1993-1-2 [1] uvádí pro zjednodušení stupeň využití $\mu_0 = 0,65$, jehož přesný výpočet je dán výrazem (1). Ze stupně využití získáme kritickou teplotu prvku $\theta_{a,cr}$ podle výrazu (2). Její logaritmický průběh spolu s povrchovými teplotami prvku vlivem různých emisivit a potřebného součinitele průřezu zobrazuje obr. 4. V tab. 1 jsou uvedeny hodnoty součinitele průřezu pro požární odolnost (R 15 a R 30) a příklady běžných průřezů, které dosahují hodnoty A_m/V (průřez exponovaný ze všech stran). Součinitel zastínění ve výpočtu k_{sh} uvažován zjednodušeně hodnotou 1,0.

ZÁVĚR

Představené analytické řešení redukované hodnoty emisivity povrchu dokazuje dobrou shodu s experimenty. Grafická znázornění potvrzují hodnotu emisivity povrchu zinkové ochrany 0,32 ve shodě se získanou hodnotou, vycházející zprůměrováním hodnot emisivit pro jednotlivé časové úseky experimentálních vzorků. Tato studie ukazuje bezpečné využití redukované hodnoty emisivity povrchu od hodnoty normativní. Pro kritickou teplotu prvku vycházející z normativní hodnoty stupně využití průřezu jsou připraveny mezní hodnoty součinitele průřezu zároveň zinkovaných i nezinkovaných povrchů. Aplikace požární zinkové ochrany má smysl pro každý profil. Uvedené poznatky potvrzují pozitivní příspěvek ochranné zinkové vrstvy k pomalejšímu přestupu tepla do konstrukce masivnějších profilů, které mají zároveň menší součinitel průřezu A_m/V , než profily subtilní či tenkostěnné uzavřené profily (trubky). Odrazivost zinkové ochrany účinně redukuje rychlost přestupu tepla do konstrukce a snižuje tak povrchovou teplotu, od které se odvíjí požární odolnost konstrukce. Účinek požární zinkové ochrany působí do hodnoty povrchové teploty prvku cca 450 °C, vlivem vyšších teplot dochází k postupnému znehodnocení účinnosti ochrany. Emisivita, jakožto fyzikální vlastnost povrchu, není konstantní, závisí na řadě parametrů, které jsou předmětem současného výzkumu. Přesný popis emisivity povrchu v čase má zásadní význam na přesnost výpočtu přestupu tepla do konstrukce, samotnou povrchovou teplotu prvku a s tím související výslednou požární odolnost konstrukce. Měřením přesné hodnoty emisivity povrchu proměnné v čase se věnují němečtí kolegové z Technische Universität München. Spolupráce s nimi je předmětem pokračování probíhajícího výzkumu požární ochrany žárovým zinkováním.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 1993-1-2 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru, 2006
- [2] JIRKŮ, Jiří. Požární odolnost žárově zinkovaných profilů (disertační práce). Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2017.
- [3] JIRKŮ, Jiří a František WALD. The temperature of zinc coated steel members in fire (odborný článek). Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2014..

PARAMETRICKÉ MODELY POŽÁRU PRO EN 1991-1-2:2021**PARAMETRIC MODELS OF FIRE FOR EN 1991-1-2:2021****Bc. Jaroslav Kučera****Abstract**

This paper is focus on Eurocode EN 1991-1-2, specifically on Annex A. This annex should be amended in the next years. In this annex there is shown calculation procedure for parametric temperature curve. In some countries of the European Committee for Standardization (CEN) this annex is not used because it was not proved there. Attention is paid to the alternative procedures of calculating of the parametric temperature curves (iBMB curves, BFD curves...). Denmark national annex and German national annex provide the calculation procedure of other parametric models. In this paper these models are described in detail. For these models database with data of fire tests was processed. The database helps to compare these three curves with results from real fires. An analysis of all data is performed in the database. The analysis verifies an accuracy of given models.

Key words: *Parametric models of fire; EN 1991-1-2; iBMB curves; Danish curve; natural fire models*

ÚVOD

Parametrické teplotní křivky představují zjednodušený model zobrazující změnu teploty v čase při požáru. Na rozdíl od nominálních teplotních křivek zohledňují prostor požárního úseku, jeho požární zatížení a zobrazují i klesající fázi reprezentující průběh požáru. Díky těmto křivkám je možné dosáhnout přesnějších a efektivnějších výsledků u posuzované konstrukce. Současnou podobu přílohy A, uvádějící výpočet parametrické teplotní křivky, kterou norma pro navrhování stavebních konstrukcí [1] (dále jen Eurokód) nabízí, některé země CENU (Evropský výbor pro normalizaci) neuznávají. Státy si tedy ve svých národních přílohách upravují, nebo dokonce zcela nahrazují podobu výpočtu, ze kterého lze křivku získat. V současné době jsou připravovány změny, které by měly být do Eurokódu zavedeny. Vzhledem k tomu, že v některých zemích nebyla metoda přílohy A schválena, nabízí se otázka, jaké nedostatky současná parametrická teplotní křivka má a zda některá z národních příloh evropských států nepopisuje parametrický požár přesněji. Tato práce je zaměřena na porovnání parametrických teplotních křivek podle německé národní přílohy [2] a podle dánské národní přílohy [3].

PROBLEMATIKA PARAMETRICKÉ TEPLITNÍ KŘIVKY V SOUČASNÉ PŘÍLOZE A

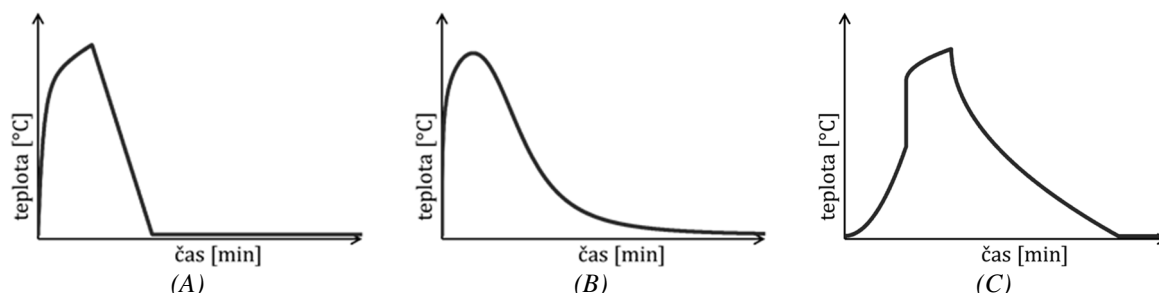
Některé evropské země poukazují na to, že v některých případech poskytuje křivka nereálné zvýšení a snížení teploty v požárním úseku. Tato teplotní křivka popisuje pouze plně rozvinutou fázi požáru, bez zohlednění růstové fáze. Jiné země považují za kritický bod to, že křivka nemá přímou souvislost s rychlostí uvolňování tepla (příloha E Eurokódu 1991-1-2) [4].

DALŠÍ PARAMETRICKÉ TEPLITNÍ KŘIVKY

Parametrické teplotní křivky se vyvíjely empiricky, na základě výsledků získaných při požárních zkouškách. Kromě křivky, která je uvedena v současném Eurokódu, existuje řada dalších parametrických teplotních křivek. V dánské národní příloze k Eurokódu lze najít úpravu pro výpočet parametrické teplotní křivky (dále jen dánské křivky), kde je teplota v požárním úseku popsána právě jen jednou rovnicí pro celý průběh požáru.

Další alternativou k současné příloze A je takzvaná parametrická požární křivka iBMB. Tuto křivku předložili v roce 2003 němečtí výzkumní pracovníci (Jochen Zehfuss a Daniela Hosser) a v současné době je postup výpočtu obsažen v německé národní příloze k Eurokódu. Německé křivky se vyznačují hlavně tím, že jsou přímo odvozeny z rychlosti uvolňování tepla a jsou charakterizovány třemi body, ve kterých se mění sklon křivek [5].

Na Obr. 1 je vidět schematický tvar parametrické teplotní křivky obsažené v současné Příloze A a zároveň i průběh křivek alternativních (dánská, německá).



Obr. 1 (A) Křivka dle současné Přílohy A; (B) Dánská křivka; (C) Německá křivka
Fig. 1 (A) Parametric temperature curve in Annex A of EC; (B) Danish curve; (C) German curve

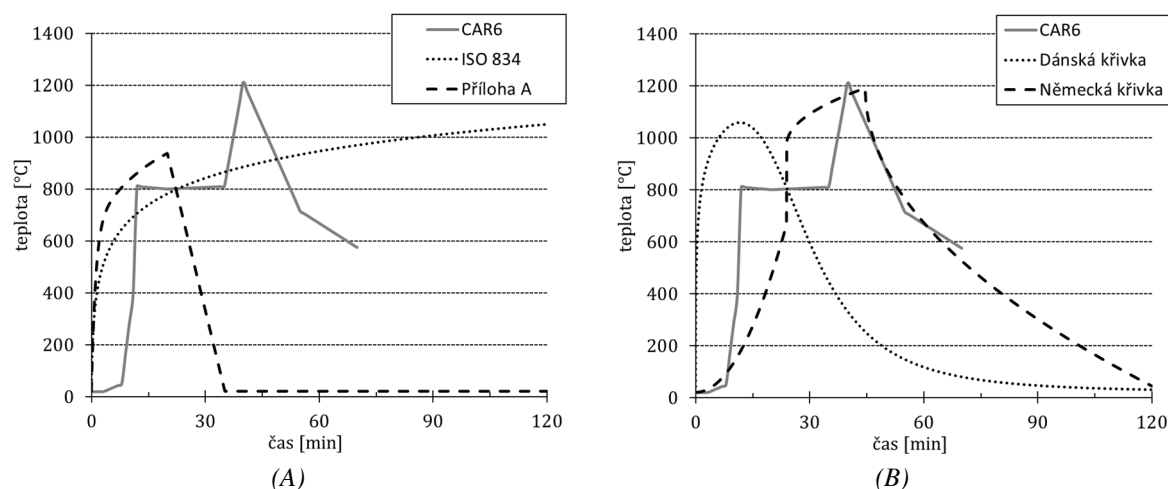
POROVNÁNÍ PARAMETRICKÝCH TEPLOTNÍCH KŘIVEK

Pro porovnání jednotlivých průběhů parametrických teplotních křivek vůči průběhům teplot pozorovaných při požárních zkouškách, byla vytvořena databáze obsahující data z uskutečněných zkoušek z ČR i ze zahraničí (celkem 25). Vzhledem k omezením, které jednotlivé parametrické křivky mají, nelze aplikovat všechny výpočty na všechny požární zkoušky.

Pro každou zkoušku jsou zaznamenány teploty plynu v časovém průběhu požáru. Za pomoci zautomatizovaných výpočetních postupů v tabulkovém procesoru jsou, s využitím dostupných vstupních dat, na tyto zkoušky aplikovány jednotlivé výpočetní modely. Vstupní data obsahují informace o rozměrech požárního úseku, ventilačních otvorech (rozměry, počet), materiálu obvodových konstrukcí a použitém požárním zatížení. Ve výpočetních souborech je sledován průběh teploty v čase pro jednotlivé požární křivky, které jsou pro efektivní porovnání pro jednotlivé požáry vykresleny do jednoho grafu společně se skutečně naměřenou teplotou plynu v čase.

APLIKACE NA POŽÁRNÍ ZKOUŠKU V CARDINGTONU (CAR6)

Požární zkouška proběhla ve velké Británii, v Cardingtonu, při níž byl simulován požár kanceláře. Budovu tvořil osmipodlažní ocelový skelet se spřaženými ocelobetonovými stropy. Stěny byly tvořeny pórobetonovými tvárnici, podlaha byla betonová. Rozměry požárního úseku byly 7,5 x 18,0 x 4,0 m (šířka x délka x výška). V úseku se nacházel jeden ventilační otvor o rozměrech 18,0 x 2,0 m (šířka x výška). Požární zatížení ($q_{t,d} = 159 \text{ MJ/m}^2$) se skládalo z nábytku, dřeva a kancelářských potřeb [6].



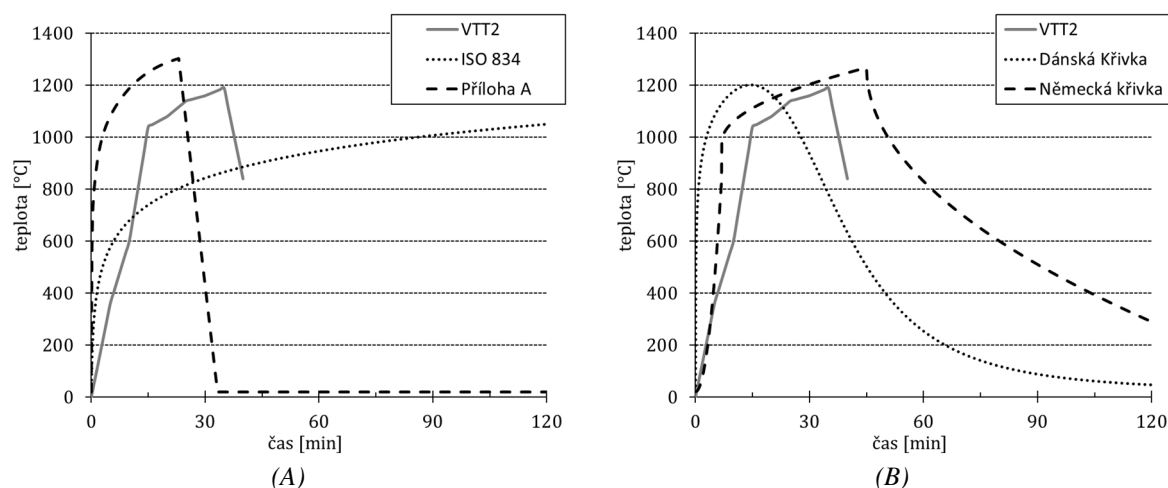
Obr. 2 Požární zkouška CAR6: (A) Aplikace současné Přílohy A; (B) Aplikace alternativních modelů
Fig. 2 Fire test CAR6: (A) Application of the current Annex A; (B) Application alternative fire models

Na obr. 2B je patrné, že křivka podle německé národní přílohy téměř přesně vystihuje maximální teplotu, naměřenou při požární zkoušce. Teploty se v počáteční fázi německé křivky velice odlišují od reality (jsou velice nízké). Skutečně naměřené hodnoty ukazují velice strmý nárůst teploty v přibližně 10. min. Těchto teplot je v křivce dosaženo až při vzniku flashover efektu, přibližně o 10 min později (cca 20. min).

V případě parametrické teplotní křivky dle současné přílohy A (obr. 2A) a zároveň i křivky podle dánské národní přílohy (obr. 2B) je opět vidět, že v době, kdy se skutečně naměřené hodnoty pohybují okolo svého maxima, jsou teploty v těchto křivkách velice nízké, nebo dokonce již na hodnotě teploty okolí (20 °C). Většina požárního zatížení vyhoří v obou případech již průběhu prvních 30 min, což je ale oproti realitě velice odlišné.

APLIKACE NA POŽÁRNÍ ZKOUŠKU VE FINSKU (VTT2)

Požární zkouška proběhla ve Finsku, v Centru technického výzkumu (VTT). Stěny byly betonové, stejně tak i stropní konstrukce. Podlaha byla tvořena žáruvzdornými tvárnici. Rozměry požárního úseku byly 2,2 x 4,0 x 2,6 m (šířka x délka x výška). V úseku se nacházel jeden malý ventilační otvor o rozměrech 3,0 x 1,2 m (šířka x výška). Požární zatížení ($q_{t,d} = 152 \text{ MJ/m}^2$) se skládalo z dřeva [7].



Obr. 3 Požární zkouška VTT2: (A) Aplikace současné Přílohy A; (B) Aplikace alternativních modelů
Fig. 3 Fire test VTT2: (A) Application of the current Annex A; (B) Application alternative fire models

Na obr. 3A a 3B jsou zobrazeny křivky teploty plynu vypočítané podle současné Přílohy A Eurokódu a národních příloh Dánska a Německa. Na obr. 3B je vidět, že parametrická teplotní křivka podle německé národní přílohy je zde na straně bezpečnosti a to jak ve fázi růstu, tak i ve fázi poklesu teplot. Hodnoty maximálních teplot se velice podobají skutečně získaným hodnotám (do 100 °C). Fáze poklesu začíná přibližně o 10 min později než je tomu ve skutečnosti.

Průběhy parametrické teplotní křivky dle Přílohy A (obr. 3A) a dle dánské národní přílohy (obr. 3B) jsou v počáteční růstové fázi téměř totožné. U parametrické teplotní křivky dle Přílohy A začíná fáze poklesu skoro o 15 min dříve než je tomu ve skutečnosti. Požár tedy skončí ještě dříve, než je ve skutečně naměřených hodnotách dosaženo maximální teploty. Obdobně je tomu i u dánské křivky, která začíná klesat ještě dříve, ale pozvolněji. V případě, že by byly křivky použity na další posuzování například požární odolnosti do 15 min, je vše v pořádku. Pro 30 min jsou hodnoty již nepoužitelné, především pro křivku dle současné Přílohy A.

ZÁVĚR

Z provedeného porovnání v celkovém počtu 25 požárů vyplývá, že křivka podle německé národní přílohy ve většině případů velice přesně popisuje průběh požáru, ale až po uplynutí přibližně 15 min. Do této doby požáru nemá stoupající fáze německé křivky tak intenzivní růst, jako je tomu při skutečně naměřených teplotách. Maximální teplota v PÚ je převážně přesně vystižena a to jak svoji hodnotou, tak časem, kdy je dosažena. Stejně tak se fáze poklesu ve většině případů velice podobá skutečnému průběhu.

V případě křivky podle současné Přílohy A, respektive křivky podle dánské národní přílohy je popisován lépe průběh mezi začátkem požáru a cca 15 min. V této počáteční fázi vykazují křivky strmější nárůst oproti německé křivce a ve většině případů se tak více podobají skutečnému průběhu teplot. Obě tyto křivky ale vykazují nereálné zvýšení, případně snížení teploty v PÚ v průběhu požáru.

V mnoha případech aplikace křivky dle současné Přílohy A dochází k tomu, že požár podle křivky skončí (teplota se dostane na teplotu okolí 20 °C) ještě dříve, než je ve skutečně naměřených hodnotách dosaženo maximální teploty. Obdobně je tomu i u dánské křivky, která začíná mnohdy klesat ještě dříve, avšak pozvolněji.

V případě, že by byla křivka dle současné Přílohy A, případně dánská křivka použita na další posuzování například požární odolnosti R15, je vše v pořádku – na straně bezpečnosti. Pro R30 a déle jsou hodnoty již převážně nepoužitelné (zejména pro křivku dle současné Přílohy A). U německé křivky je tomu naopak. V případě, že by se tato křivka aplikovala na posouzení požární odolnosti R15, byly by získané hodnoty dle německé křivky na straně nebezpečné. V případě posouzení na R30 a déle, je aplikace křivky na straně bezpečnosti.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval Prof. Dr. Jochenu Zehfusovi a Lise Sander, M. Sc., z Technické univerzity v Braunschweigu (Německo), díky kterým byla databáze požárních zkoušek vytvořena.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 1991-1-2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-2: Obecná zatížení - Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru. 2004
- [2] DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12: National Annex - Nationally determined parameters - Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire. 2014
- [3] DS/EN 1991-1-2 DK NA:2014 National Annex to Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire. 2014
- [4] ZEHFUSS, J. a D. HOSSER. *A parametric natural fire model for the structural fire design of multi-storey buildings*. Fire Safety Journal [online]. 2007, 42(2), 115–126. ISSN 03797112. Dostupné z: doi:10.1016/j.firesaf.2006.08.004
- [5] ZEHFUSS, Jochen. *Case studies of a new simplified natural fire model and safety concept for structural fire safety design*. 2011
- [6] O'CONNOR, M.A a D.M MARTIN. *Behaviour of a multi-storey steel framed building subjected to fire attack*. Journal of Constructional Steel Research [online]. 1998, 46(1–3), 295. ISSN 0143974X. Dostupné z: doi:10.1016/S0143-974X(98)00122-9
- [7] RANBY, A., T. INHA a J. MYLLYMÄKI. *Structural Steel Fire Design*. SBI Publication 134. Finish Constructional Steelwork Association, Norwegian Steel Association, Swedish Institute of Steel Construction. 2000

MODELOVÁNÍ POŽÁRU V HALOVÝCH OBJEKTECH

MODELLING OF FIRE IN HALL BUILDINGS

Bc. Kristýna Janatová

Abstract

The development of a fire in a large-space fire compartment differs significantly from the development in a small fire compartment. In large-space objects, designing structures under a fire often proceeds through a performance-based approach. Advanced methods can be used in all parts of the design – in predicting the scatter of temperature field, in calculating the heat transfer to the structure and in assessing the mechanical behavior of the structure or its part in a fire. The prediction of the gas temperature in the fire compartment is crucial for the structure design. The paper deals with a case study of gas temperature field in a hall object. Spatial-temporal distribution of temperature is solved by using FDS (Fire Dynamics Simulator) software based on the CFD (Computational Fluid Dynamics) method. The paper shows results of gas temperature calculated in the vicinity of structural steel members.

Key words: *Fire dynamics; numerical model; hall object; temperature field; boundary conditions; FDS*

ÚVOD

Ocelové konstrukce jsou v dnešní době velmi oblíbené a vynikají celou řadou pozitivních vlastností. Velmi využívané jsou při výstavbě velko-prostorových objektů, jako jsou letiště, stadiony, vlaková nádraží, výrobní objekty nebo výstaviště. Kolaps takového objektu, ale může způsobit značné ekonomické ztráty a v neposlední řadě ztráty na lidských životech. U velkých objektů nejčastěji dochází k lokálnímu požáru, kdy je rozložení teploty v požárním úseku nerovnoměrné a značně se liší od teploty prostorového požáru v malém uzavřeném prostoru. V současné době se pro návrh využívá nespočet metod, které jsou pro rozsáhlé nebo jinak specifické stavby vhodnější než tradiční normy. Tyto změny jsou motivovány potřebou flexibilnějších způsobů navrhování budov a nutností umožnit méně nákladná řešení, aniž by došlo ke snížení úrovně bezpečnosti.

MODELOVÁNÍ POŽÁRU

Stanovení rozvoje požáru v požárním úseku vyžaduje znalost mnoha parametrů. Nejdůležitější je stanovení návrhového požárního scénáře, který nejlépe vystihuje chování v hořícím prostoru za mimořádně situace. Základním parametrem je požární zatížení, které závisí na typu provozu v budově. V rámci posuzování staveb z hlediska požární bezpečnosti rozeznáváme dva základní přístupy. Preskriptivní přístup, který vyžaduje splnění závazných požadavků podle platných norem a nařízení, a inženýrský přístup, který je mnohem flexibilnější a využívá se v případech, kdy je potřeba využít alternativní řešení než preskriptivní přístup [1].

Díky implementaci metod tzv. performance-based přístupu, neboli požárního inženýrství, do systému řešení a prokazování požární bezpečnosti staveb je možné zejména u atypických případů staveb velkého rozsahu postupovat odlišným způsobem, než který je stanoven v návaznosti na právní předpisy v české technické normě. Při odlišném postupu se může užít přesnějších výpočtových metod analyzujících podrobněji podmínky posuzovaného objektu po vzniku požáru, zejména intenzitu požáru, jeho šíření a šíření zplodin hoření, podmínky evakuace a zásahu s ohledem na užívání a provoz objektu [2].

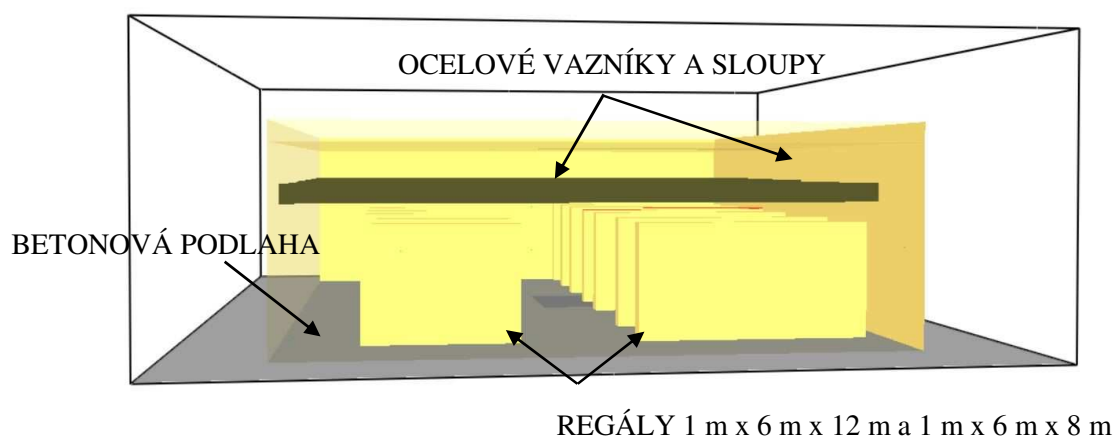
Modely CFD (Computational Fluid Dynamics) implementují principy dynamického proudění tekutin. V případě požáru tekutinu reprezentuje dynamicky proudící směs vzduchu, kouře a plyných zplodin hoření, jejichž pohyb je iniciován tepelným účinkem požáru. Požární model CFD pracuje na podobném principu jako zónové modely, a to na rozdělení výpočetní oblasti do zón neboli kontrolních objemů (buněk). Pro každou buňku jsou pak řešeny stavové rovnice, rovnice zachování energie, hmoty a rovnice

zachování hybnosti. Jedná se o řešení pomocí Navier-Stokesových rovnic. CFD umožňuje simulovat celou řadu reálných scénářů a teoreticky může simulovat kteroukoliv fyzikální podmínku [3].

NUMERICKÝ MODEL HALOVÉHO OBJEKTU

Samotný numerický model haly vychází z původní verze numerického modelu od Ing. Nikoly Liškové [4] vytvořeného pro experimentální studii v rámci projektu RFCS STABFI. Model haly je vytvořen v softwaru FDS verze 6.6.0. Jako vizualizační program je použit postprocesor Smokeview verze 6.6.3. V halových objektech je důležité, aby při požáru nebyla narušena stabilita nosné konstrukce haly po požadovanou dobu a aby všechny osoby mohly včas prostor opustit. Navíc musí být zajištěna funkčnost důležitých technologických zařízení a zamezení šíření požáru na okolní objekty. Šíření požáru v hale zabraňují nejen požárně dělící konstrukce, ale i řada požárně bezpečnostní zařízení, jako je elektrická požární signalizace, v některých případech i samočinné hasicím zařízení a zařízení pro odvod tepla a plyných zplodin hoření. U modelované haly není uvažováno žádné požárně bezpečnostní zařízení, aby bylo dosaženo nejvíce nepříznivých podmínek.

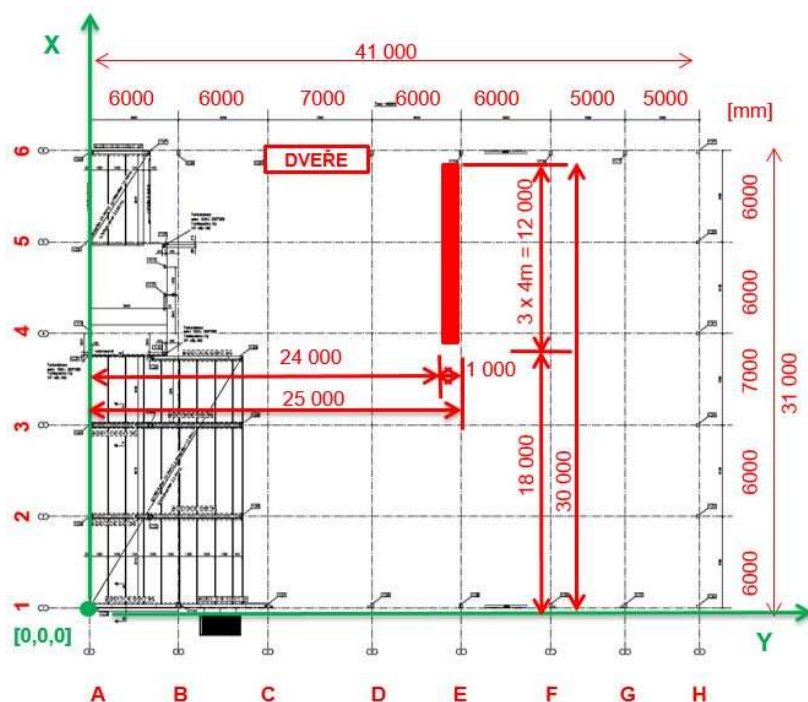
FDS model je oproti realitě zjednodušen, protože čím je model detailnější tím je výpočetní čas delší. Původní příhradový vazník by bylo složité v softwaru modelovat, proto je namodelován jen spodní pás vazníku o celkové výšce 1 m. Jednotlivé nosníky tak v modelu simulují tenké překážky pro proudění vzduchu. Základní geometrie numerického modelu tak vychází ze zvolené výpočetní sítě, která odpovídá výpočetní oblasti o velikosti 46,0 m x 36,0 m x 15,0 m a odpovídá tak velikosti konstrukce pro simulaci plus 5 m odsazení ve směru všech os. Odsazení umožňuje sledovat výměnné procesy s okolním prostředím. Pro modelování byla nastavena hrubší síť s velikostí kontrolního objemu 1000 mm x 1000 mm x 1000 mm. V místě zdroje požáru je výpočetní síť zjemněna, velikost kontrolního objemu je v této oblasti 500 mm x 500 mm x 500 mm. Snížením počtu kontrolních objemů by způsobilo nárůst potřebné doby na výpočet. Kromě zdroje požáru jsou v hale umístěny i dvě řady palet. Celkem 7 regálů o rozměrech 1 m x 6 m x 12 m a 7 regálů 1 m x 6 m x 8 m, které slouží jako překážky pro proudění horkých plynů. Mezi regály a spodní hranou nosníků je mezera 1 m. Stěny, střecha a nosníky jsou ocelové, podlaha je betonová. Obr. 1 zachycuje grafické zobrazení numerického modelu ve vizualizačním programu Smokeview. Všechny použité materiály a jejich tepelně technické vlastnosti, jako součinitel tepelné vodivosti, měrná tepelná kapacita a objemová hmotnost jsou do modelu zadány při teplotě 20 °C.



Obr. 1 Model haly v FDS
Fig. 1 Model of an industrial building in FDS

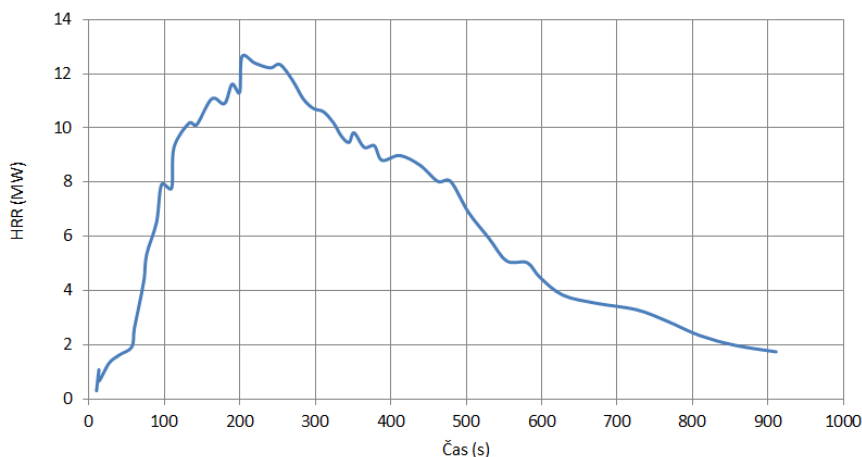
Samotný proces hoření materiálů z hlediska popisu pyrolýzy není v FDS simulován. Zdroj požáru je simulován s definovanou funkcí rychlosti uvolňování tepla na jednotku plochy (HRRPUA). V tomto požárním scénáři je zvláštní pozornost věnována teplotám plynů, které se nacházejí v blízkosti spodní hrany vazníku, který je přímo nad zdrojem požáru. Jako zdroj hoření jsou použity dřevěné palety s polyethylentereftalátovými (PET) lahvemi o půdorysných rozměrech 1 m x 4 m. Ob. 2 znázorňují polohu požárního zatížení vyznačeného červenou barvou na horním povrchu regálu. Požární zatížení se nachází

uprostřed haly 26 m od kraje ve směru delší stěny a 7 m ve směru kratší stěny. Pro daný požární scénář je uvažován otevřený pouze jeden otvor o rozměrech 5 m x 3 m umístěný v dlouhé stěně ve vzdálenosti 12 m od kraje.



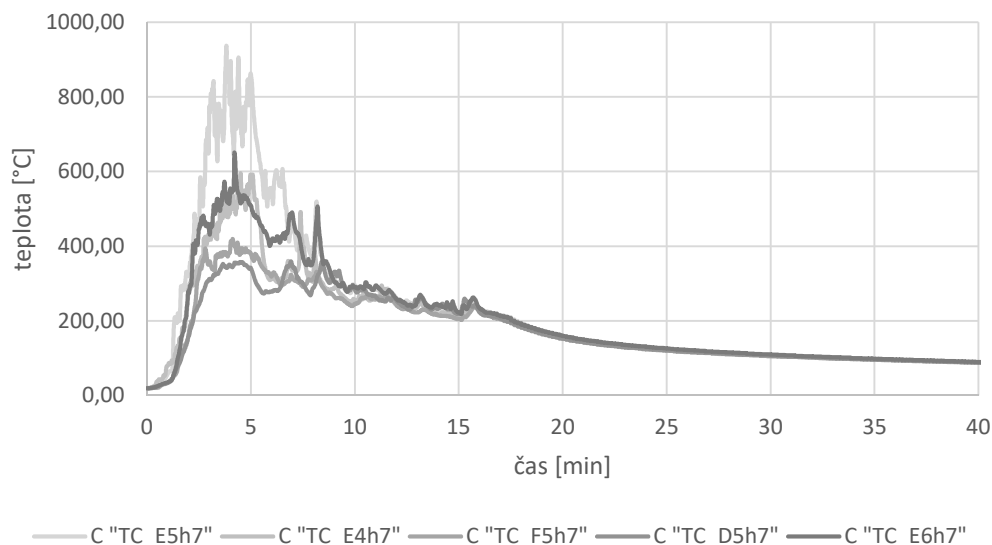
Obr. 2 Půdorys s umístěním zdroje požáru
Fig. 2 Floor plan with location of the fire load

Jedním ze sledovaných parametrů v numerickém modelu bylo rozložení teplotního pole pod vazníkem. Vzhledem k tomu, že se jedná o lokální požár lze předpokládat, že rozložení teplot bude nerovnoměrné a bude docházet lokálním účinkům od požárního zatížení. Rychlost uvolnění tepla palet je znázorněna na obr. 3, křivka HRR vychází z experimentální studie z roku 2002 [5].



Obr. 3 Křivka HRR palet s PET lahvemi [5]
Fig. 3 HRR of a pallet with PET bottles [5]

Maximální teploty na termočláncích umístěných nad požárním zatížením byly dosaženy v necelé 4. minutě, viz obr. 1. Nejvyšší teplota na spodní hraně vazníku, který je 7 m nad podlahou, byla měřena přímo nad zdrojem požáru, dosažená teplota byla 937 °C na termočlánci E5h7. Na stejném nosníku ve vzdálenosti 6 m od středu požárního zatížení v poloze E4h7 byla maximální naměřená teplota 596 °C. U sousedních vazníků se na termočlánci F5h7 získá teplota 420 °C. Na druhé straně ve vzdálenosti 6 m od středu požáru byla na termočlánci D5h7 naměřena teplota 360 °C. Při porovnávání teplot na sousedních vaznících na termočláncích F5h7 a D5h7 je znát nepatrný vliv dveřního otvoru.



Obr. 2 Teplota plynu v úrovni spodní hrany vazníku
Fig. 2 Gas temperature at the lower truss chords

ZÁVĚR

Rozložení teplotního pole v jednopodlažní halové budově bylo vypočteno pomocí softwaru FDS v 6.6.0. Vzhledem ke skutečnosti, že ve velkých prostorech se vzácně vyskytuje plně rozvinutý požár a flashover je nepravděpodobný, vybraný požární scénář počítá pouze s lokálním účinkem. Studie se zabývá požárem dřevěných palet s PET lahvemi v kartonových krabicích. Teploty plynů jsou zkoumány v blízkosti konstrukčních prvků - spodního okraje vazníku a sousedních nosníků.

Výsledky ukazují, že nejvyšší teplota plynu byla naměřena přímo nad zdrojem požáru na úrovni spodního pásu vazníku a dosahovala hodnoty 937 °C. S rostoucí vzdáleností od požáru se teplota snižovala. Teploty nad 400 °C, při které ještě dochází k redukci meze kluzu oceli, byla zaznamenána ještě ve vzdálenosti 6 m od zdroje požáru. Požární scénář simuloval případ, kdy nefungují aktivní protipožární zařízení.

LITERATURA

- [1] KADLÍČ, Matej. *Vplyv variability a neistoty vstupních parametrov na kvalitu výstupov požiarlych modelov*. Dizertační práce. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, 2018.
- [2] KUČERA, Petr, Tomáš PAVLÍK, Jiří POKORNÝ a Pavel SENOVSKÝ. *FIRESAFE - Dynamika požáru*. In: Conference: XXIV. ročník mezinárodní konference Požární ochrana 2015. Ostrava: VŠB - TU Ostrava: Fakulta bezpečnostního inženýrství, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, ve spolupráci s Českou asociací hasičských důstojníků, 2015. ISBN 978-80-7385-163-7.
- [3] WALD, František a kol. *Modelování dynamiky požáru při návrhu konstrukcí – Příručka k programu FDS*. Praha: ČVUT v Praze – Fakulta stavební, 2015. ISBN 978-80-01-05633-2.
- [4] WALD, František, Kamila CÁBOVÁ a Nikola LIŠKOVÁ. *Deliverable No D 1.2: Recommendation for FDS and Ozone simulations*. B.m.: Czech Technical University, Pague. 2018
- [5] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION a SOCIETY OF FIRE PROTECTION ENGINEERS, ed. *SFPE handbook of fire protection engineering*. 3rd ed. Quincy, Mass. : Bethesda, Md: National Fire Protection Association ; Society of Fire Protection Engineers, 2002. ISBN 978-0-87765-451-3.

STABILIZACE OCELOVÉHO NOSNÍKU POMOCÍ SENDVIČOVÝCH PANELŮ PŘI POŽÁRU

STABILISATION OF A STEEL BEAM BY SANDWICH PANELS IN FIRE

Bc. Klára Píhová

Abstract

This article deals with the current problem of stabilisation of a steel beam by the aid of sandwich panels in fire. The paper deals with a solved example, where the findings from the experiments from the PAVUS, a.s. in Veselí nad Lužnicí are described. The tested assembly was a steel beam stabilized with sandwich panels in two different thicknesses. The conducted experiments provided information on beam behaviour in terms of deflections.

Key words: sandwich panel; stabilisation of a steel beam; fire test; deflection; horizontal furnace

ÚVOD

Sendvičové panely vynikají tepelně izolační schopností, snadnou manipulací a jednoduchým použitím, vyžadují minimální údržbu a zaručují nízkou spotřebu energie a díky tomu jsou stále více využívány zejména v jednopodlažních a vícepodlažních průmyslových a halových budovách [1].

Problematice stabilizačního účinku sendvičových panelů se doposud nevěnovala velká pozornost. Problematiku řešilo několik projektů a část z nich sloužila jako podklad pro vydání Evropského doporučení pro stabilizaci ocelových nosníků pomocí sendvičových panelů. Tyto projekty se zabývaly pouze účinkem za běžné teploty. Bylo zjištěno, že při návrhu ocelových konstrukcí lze dosáhnout značné úspory s využitím sendvičových panelů, kdy je tento systém využit ke stabilizaci celé konstrukce namísto běžných konstrukčních řešení. Projekty bohužel opomíjejí chování těchto systémů za zvýšené teploty.

Cílem této práce je ověřit chování nosníku stabilizovaného sendvičovými panely za zvýšené teploty. K ověření byly použity velkorozměrové zkoušky provedené v požární zkušebně PAVUS, a.s. ve Veselí nad Lužnicí.

POŽÁRNÍ EXPERIMENT

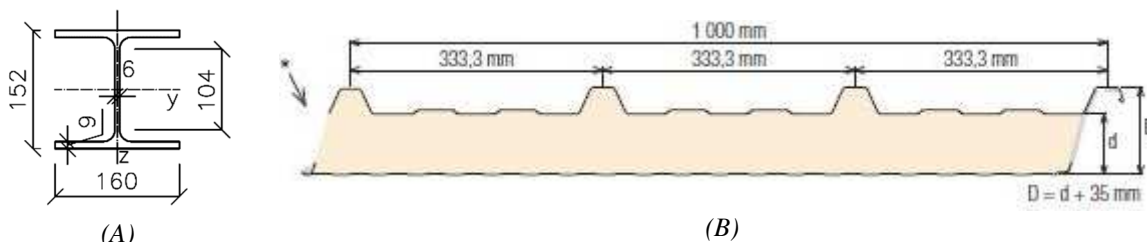
K prokázání příspěvku sendvičových panelů ke stabilizaci ocelového nosníku byly provedeny dva experimenty na plášťových systémech tvořených sendvičovými panely s jádrem z PIR pěny a ocelovým nosníkem průřezu HEA. Experimenty byly provedeny jako velkorozměrové zkoušky na horizontální peci neboli stropní peci v požární zkušebně PAVUS, a.s. ve Veselí nad Lužnicí.

POUŽITÉ PRVKY

Použit byl ocelový válcovaný průřez HEA 160 z oceli třídy S355, viz obr. 1A. Rozpětí nosníku bylo 4,5 m. Ocelový nosník byl požárně chráněn pomocí intumescentního nátěru, který je nadimenzován tak, aby vyhověl požadavku R60. Byl použit nátěr FIRETEX FX5090, který je určený k ochraně ocelových nosníků. Tento nátěr je možné použít až do požadavku R180. Klasifikaci třídy reakce na oheň má tento nátěr B-s1-d0. Nátěr je na nosník aplikován ze všech stran nehledě na to, že při zkoušce bude horní pásnice zakryta uloženými sendvičovými panely.

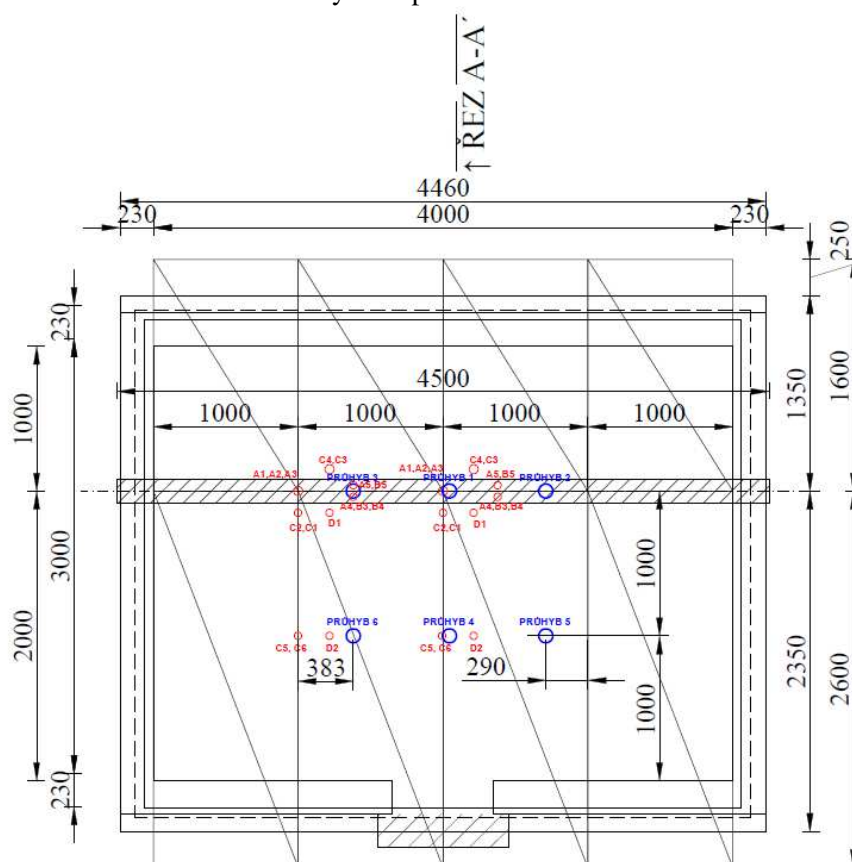
Dále byly použity izolační panely Kingspan KS 1000 RW tloušťky 100 a 160 mm, viz obr. 1B. Jedná se o stropní panel s prolisovanými plechy. Izolační jádro panelu je tvořeno PIR pěnou. Vnější plech je tloušťky 0,5 mm a vnitřní plech má tloušťku 0,4 mm. Šířka panelů je 1000 mm.

Sendvičový panel byl připevněn k horní pásnici pomocí samořezných šroubů. Materiál šroubu i podložky byl z nerez. Pro panel tloušťky 160 mm byly použity šrouby délky 240 mm o průměru 5,5 mm. Přesné označení pro tento typ šroubů dodaný výrobcem SFS Intec je SXC14-S19-5,5x240. Pro panel tloušťky 100 mm byla použita jiná délka šroubů (190 mm). Přesné označení pro tento typ šroubů dodaný výrobcem SFS Intec je SXC14-S19-5,5x190. Montáž vzorku postupovala dle předem stanoveného postupu. Jednotlivé panely se na místo montáže dle hmotnosti roznášejí ručně nebo pomocí jeřábu a vhodného montážního přípravku. Panel se zdvihne a ve sklonu se nasadí volnou vlnou na již namontované panely. Následně se panel dotlačí ke konstrukci. Panel je ke konstrukci upevněn nejdříve v místě druhé vlny (ve směru od volné přesahové vlny). Následně je upevněn v místě volné vlny, kde došlo k nasazení již na upevněný panel. Nakonec se panely vzájemně sešroubují krátkými šrouby v podélné vlně po ≈ 500 mm (případně také v místě příčného spoje) z vnitřní i vnější strany.

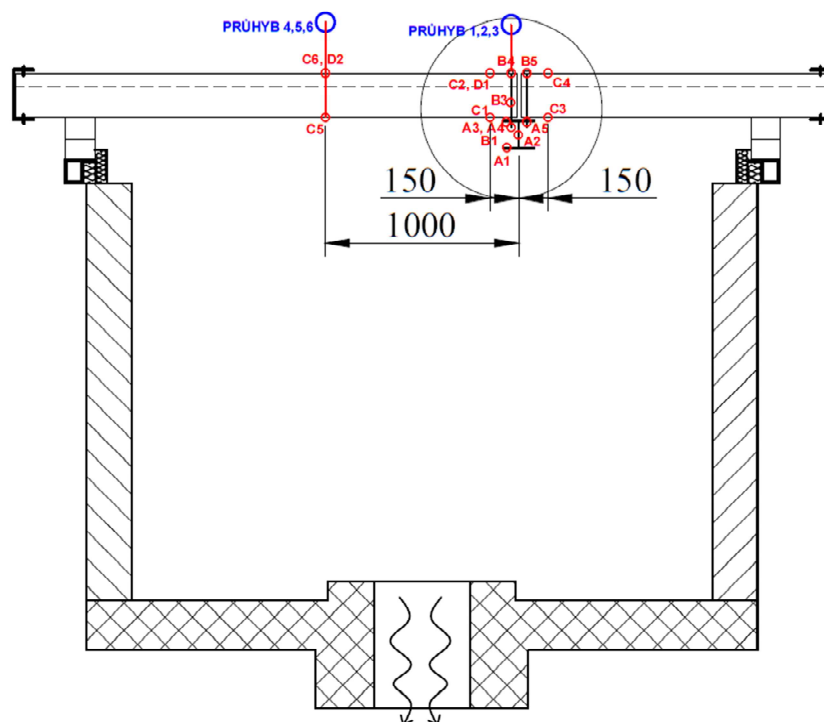


Obr. 1(A) Řez průřezem HEA 160; (B) Řez sendvičovým panelem Kingspan KS 1000 RW
Fig. 6(A) HEA 160 cross-section; Section of sandwich panel Kingspan KS 1000 RW

Na Obr. 2 je půdorysné schéma uložení nosníku a panelů na peci. Jsou zde označena místa, kde během experimentu byly měřeny teploty na nosníku a teploty na panelu. U panelu byla měřena teplota plechu na odvrácené straně, teplota uvnitř panelu a dále teplota na ohřívané straně panelu. Teploty byly také zaznamenávány po výšce šroubů. Zaznamenávány byly průhyby jak na nosníku, tak na sendvičových panelech. Obr. 3 uvádí řez vzorkem uloženým na peci.



Obr. 2 Půdorysné schéma uložení vzorku na peci
Fig. 7 Floor plan of the specimen on the furnace



Obr. 3 Řez A-A'
Fig. 8 Section A-A'

TEPLOTNÍ A MECHANICKÉ ZATÍŽENÍ

Zahřívání v peci probíhalo pomocí normové teplotní křivky. Dosažení normové teplotní křivky je zajištěno pomocí 8 hořáků, které jsou řízeny deskovými teplotními snímači teploty. Kdy výkony hořáků je možné regulovat podle průměrné teploty ze všech řídicích deskových snímačů teploty nebo jednotlivě přiřadit hořák ke konkrétním deskovým snímačům. Sendvičové panely byly zatíženy rovnoměrně rozloženým zatížením o velikosti 1 kN/m^2 . Zatížení bylo provedeno pomocí ocelových plechů. V případě první zkoušky s panely tloušťky 100 mm byly ocelové plechy uloženy na vlny panelu vždy s nezatíženou mezerou, kde se nacházela jedna horní vlna. Při druhé zkoušce s panely tloušťky 160 mm byly ocelové plechy vzájemně propojeny tak, aby se zatížení roznášelo na všechny vlny plechu panelu.

ZKOUŠKA SENDVIČOVÉHO PANELU TLOUŠŤKY 100 mm

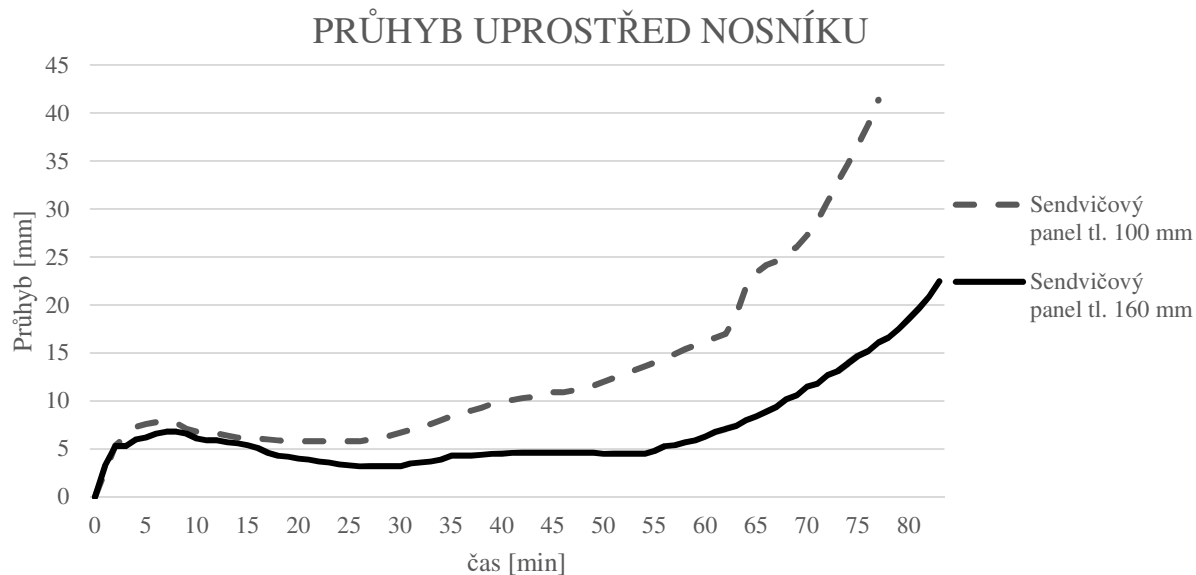
V první minutě zkoušky začalo docházet k průchodu kouře z pece přes panely ven. Vlivem nárůstu průhybu panelů narostla deformace okrajového profilu, který měl za úkol chránit PIR výplň panelů před přímým stykem s plameny. V 21. minutě byla vidět deformace okrajového profilu a prostup hustě žlutého kouře z mezery u tohoto profilu. Hustě žlutý kouř signalizoval teplotní degradaci PIR výplně panelu. S nárůstem teploty uvnitř pece narůstal i průhyb panelů. K ukončení zkoušky došlo v 78. minutě z důvodu dosažení teploty $200 \text{ }^\circ\text{C}$ (kritérium experimentu) na nezahřívané straně panelu. Ve shodném čase došlo k nadměrnému úniku kouře a prohořívání panelu nad nosníkem. V tomto čase již nebyl ocelový nosník chráněn nátěrem (nátěr po 60 min odpadl). Po ukončení zkoušky bylo vidět, že na nosníku chyběl požární nátěr.

ZKOUŠKA SENDVIČOVÉHO PANELU TLOUŠŤKY 160 mm

Zkoušky s panelem tloušťky 100 mm a tloušťky 160 mm měly podobný průběh. Až do 62. minuty zkouška panelu tloušťky 160 mm probíhala stejně. V 63. minutě došlo k prošlehnutí plamene ven. Dále s nárůstem času docházelo k prošlehávání plamene na více místech. Tento experiment probíhal o 5 min déle. Po vstupu do pece bylo zjištěno, že u panelů došlo k odpadnutí spodního plechu a úplnému vyhoření PIR pěny.

VÝSLEDKY A POROVNÁNÍ

K porovnání těchto dvou experimentů bylo vybráno několik stejných míst. Na Obr. 4 je uvedeno porovnání průhybů uprostřed nosníku. Z Obr. 4 je vidět, že při použití sendvičového panelu tloušťky 160 mm je průhyb nosníku menší než průhyb při použití sendvičového panelu tloušťky 100 mm.



Obr. 4 Průběh průhybu uprostřed nosníku
Fig. 9 The deflection of the beams

ZÁVĚR

Článek se věnuje problematice stabilizace ocelové nosné konstrukce pomocí sendvičových panelů při požáru. K ověření chování ocelového nosníku stabilizovaného sendvičovými panely byly provedeny dvě zkoušky v požární zkušebně PAVUS, a.s. ve Veselí nad Lužnicí.

Z výsledků zkoušek je vidět, že panel tloušťky 160 mm stabilizuje nosník lépe než panel tloušťky 100 mm, protože nosník dosáhl nižšího průhybu.

PODĚKOVÁNÍ

Experimentální studie byla podpořena RFCS projektem Steel cladding systems for stabilization of steel buildings in fire (STABFI).

LITERATURA

- [1] COOKE, Gordon M. E. *Stability of lightweight structural sandwich panels exposed to fire*. Fire and Materials [online]. 2004, **28**(24), 299–308. ISSN 0308-0501, 1099-1018. Dostupné z: doi:10.1002/fam.851

OHYBOVÁ TUHOST SENDVIČOVÝCH PANELŮ PŘI POŽÁRU

BENDING STIFFNESS OF SANDWICH PANELS IN FIRE

Bc. Karolína Maršíčková

Abstract

This article deals with behaviour of sandwich panels under elevated temperatures. It describes characteristics of panels with mineral wool core made by Ruukki and deals with bending stiffness in relation to increasing temperature. Furthermore, there is a description of sandwich panel experiment preparation which will take place in FCE CTU laboratories. Also there is a description of a static scheme of the experiment, way of supporting and mechanical loading and a system which will warm up the panel. The goal of the experiment is to verify behaviour of sandwich panels under elevated temperatures.

Key words: Sandwich panel; bending stiffness; fire; stability of steel construction; fire test

ÚVOD

Sendvičové panely jsou v současnosti jedním z nejpoužívanějších konstrukčních řešení pro opláštění halových objektů. Jejich výhodou je především nenáročná montáž, velká tepelně izolační schopnost, nízká hmotnost a rychlost výstavby [1]. Studie ukazují, že by se sendvičové panely daly využít i ke stabilizaci celé konstrukce, což by výrazně snížilo její náklady a zvýšilo konkurenceschopnost ocelových konstrukcí oproti jiným materiálům. Tyto studie se ale zabývají pouze řešením za běžné teploty. Pro možnost použití sendvičových panelů ke stabilizaci ocelové konstrukce v praxi je nutné znát i chování za zvýšené teploty.

Ke zjištění, zda se dá toto konstrukční řešení využít i při zatížení konstrukce požárem je nutné znát především vliv ohybové tuhosti panelu a chování spojů jednotlivých panelů a ocelových prvků. Cílem článku je popsat přípravu experimentu sendvičového panelu za zvýšené teploty, který ověří ohybovou tuhost sendvičových panelů.

SENDVIČOVÉ PANELY S JÁDREM Z MINERÁLNÍ VLNY

Panely s jádrem z minerální vlny se skládají z plechů z žárově pozinkované oceli a minerální vlny (obr. 1). Jednotlivé vrstvy jsou spojené pomocí lepidla. Vláknina minerální vlny jsou v panelech orientována podélně po celé délce sendvičového panelu. Tyto panely se vyznačují především vysokou požární odolností až EI60. Používají se jako požárně dělící stěny nebo jako stropní konstrukce. Třída reakce na oheň těchto panelů je nejčastěji A2.



Obr. 6 Sendvičový panel s jádrem z minerální vlny (zdroj: RUUKKI)
Fig. 1 Sandwich panel with mineral wool core

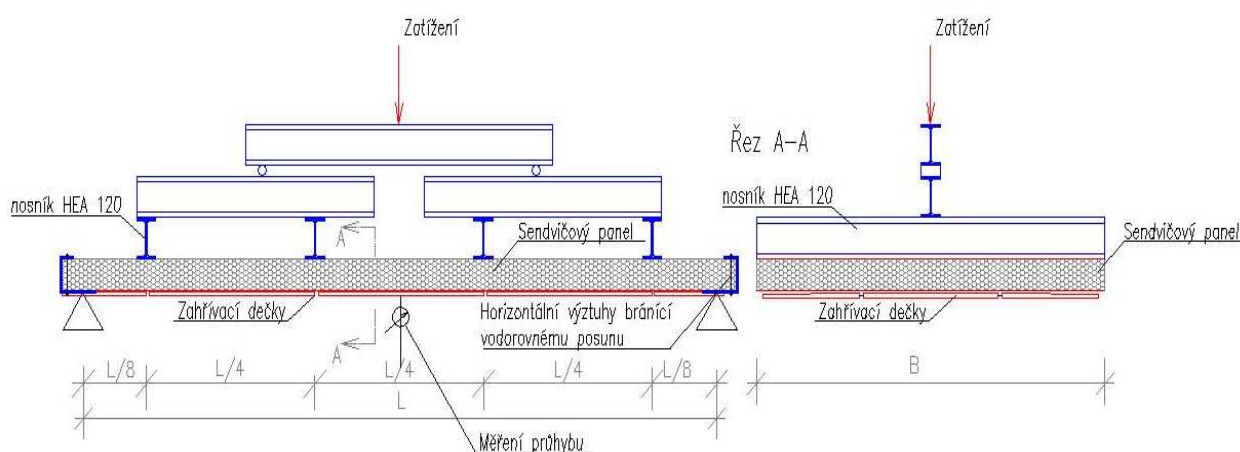
Pro připravovaný experiment byly vybrány sendvičové panely SPA E od výrobce Ruukki. Tyto panely jsou s jádrem z minerální vlny. Jsou nehořlavé, mají dobré akustické a tepelně izolační vlastnosti a vysokou požární odolnost. Vyrábí se v modulové šířce 1200 mm a maximální délka panelu je 13 500 mm. Tloušťka vnitřního plechu je 0,5 mm, tloušťka vnějšího plechu je 0,6 mm a izolace se dodává v tloušťkách 100, 125, 150, 175, 200 a 230 mm.

Vlastnosti sendvičových panelů včetně ohybové tuhosti za zvýšené teploty jsou popsány v [2]. Ohybová tuhost je popsána stejně jako v normě, jen konstanty jsou závislé na teplotě. Zvýšená teplota vyvolá v opláštění sendvičového panelu napětí, které je závislé na celkové tloušťce panelu. Příspěvek jádra panelu do rovinného napětí a ohybového napětí se zanedbává. Chování panelu je popsáno třemi různými analýzami. Podle geometricky lineární analýzy se napětí vyvolané zvýšenou teplotou a ohybový moment v příčném směru neliší, teplota je rovnoměrná po výšce panelu. Tuto analýzu lze použít, pokud je průhyb malý. Podle analýzy namáhání lze počítat napětí v každé vrstvě zvlášť. Jádro panelu přenáší pouze smyková napětí. Teplota opláštění je uvažována jako konstantní a její změnu v tloušťce opláštění lze zanedbat. Na rozdíl od teploty jádra, kde je její změna po výšce průřezu významná a nelze ji určit jako průměrnou. Geometricky nelineární analýza je popsána pomocí 6 rovnic o 7 neznámých, která je řešena iterací.

PŘÍPRAVA EXPERIMENTU

Pro zkoušku byly zvoleny stěnové panely s jádrem z minerální vlny o rozměrech 1000 mm x 2500 mm a 1200 mm x 4000 mm. Experiment bude probíhat na sendvičových panelech SPA E od výrobce Ruukki. Tento typ panelu se používá jako fasádní. Pro experiment byly zvoleny panely tloušťky 100 a 230 mm.

Panely budou ze spodní strany zahřívány pomocí keramických ohřivačů. Současně budou z horní části liniově zatěžovány přes nosníky o délce 1000/1200 mm, které nahrazují rovnoměrné zatížení panelu. Zatížení vzorku je provedeno dle normy ČSN EN 1993-1-3 přílohy A čl.A2.2 Zkouška prostého ohybu. Aby přenos zatížení co nejvíce odpovídal spojitému zatížení, bylo zvoleno zatěžovací schéma, které je vidět na obr. 2. Zatížení bude vnášeno do nosníku, který je nejvýše a postupně bude roznášeno do ostatních nosníků. Pro experiment byly navrženy nosníky HEA 120 (S355). Dimenzovány byly nosníky na ohyb a klopení dle únosnosti sendvičového panelu 2 - 5 kN/m². Po zahřátí bude panel v podporách zajištěn proti vodorovnému posunu pomocí šroubů tak, aby vzniklo membránové chování.

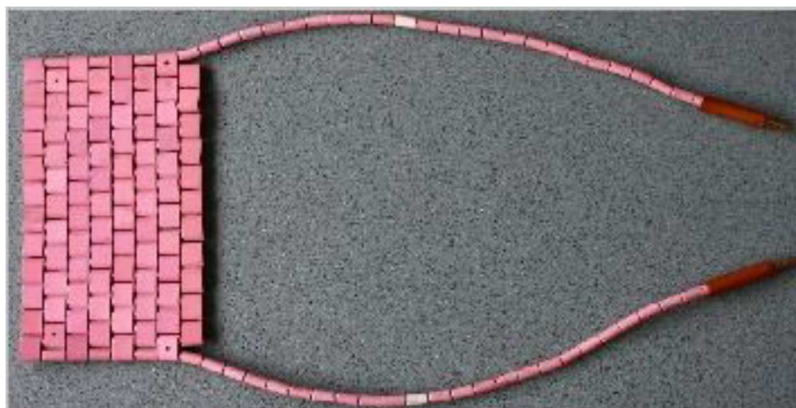


Obr. 7 Schéma experimentu
Fig. 2 Experiment scheme

Schéma experimentu a způsob zatěžování, tedy rovnoměrné zatížení z jedné strany a zahřívání panelu z druhé strany, simuluje reálnou situaci požáru v halovém objektu. V takovém případě působí na stěnu haly z venku zatížení větrem, které bylo nahrazeno rovnoměrným zatížením, a z vnitřní strany je stěna zahřívána od probíhajícího požáru.

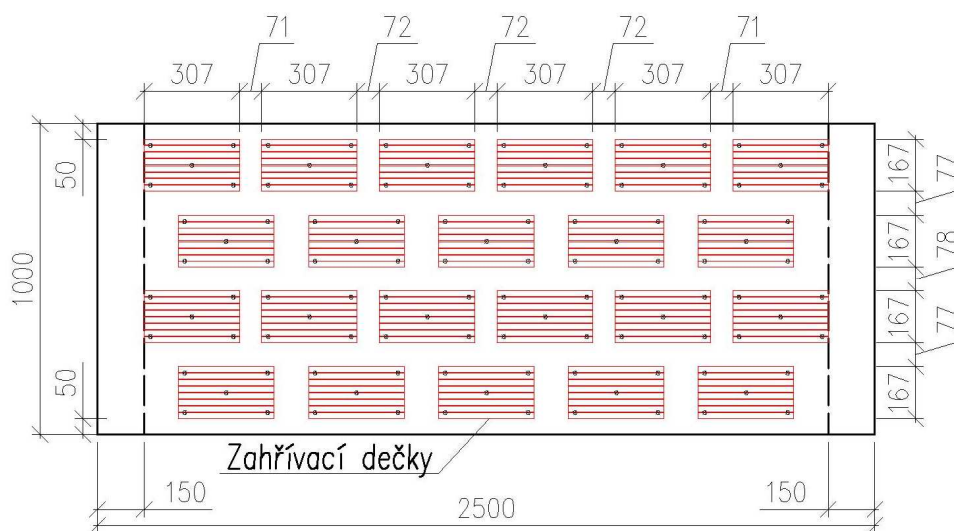
OHŘEV PANELU

Pro zahřívání vzorku bude použit systém skládající se z řídicího stroje Mannings HTC 70 kW, keramických zahřívacích deček, které jsou na obr. 3, a termočlánků typu K. Keramické ohřivače jsou umístěny na spodní stranu sendvičového panelu v jeho těsném kontaktu. Díky tomu je teplo do vzorku přenášeno především vedením.



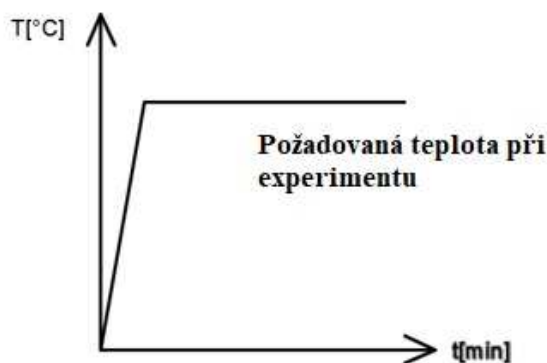
Obr. 8 Keramický ohřivač
Fig. 3 Ceramic heater

Keramické ohřivače budou k sendvičovému panelu přichyceny pomocí hřebíků, které budou k plechu panelu přivařeny odporovým svařováním. Každý keramický ohřivač bude držen 5 hřebíky (v každém rohu a uprostřed). Keramické dečky mají rozměry 307 mm x 167 mm. Rozmístění zahřívacích deček na sendvičovém panelu o rozměrech 1000 mm x 2500 mm je vidět na obr. 4.



Obr. 9 Rozmístění keramických ohřivačů na panelu o rozměrech 1000 mm x 2500 mm
Fig. 4 Layout of ceramic heaters on panel size 1000 mm x 2500 mm

Zkouška sendvičového panelu bude prováděna při teplotách 20 °C - 600 °C. Tato teplota bude měřena pomocí termočlánků na vnitřním povrchu ocelového plechu. Keramickými ohřivači bude vzorek zahříván na požadovanou teplotu, která bude následně ve vzorku udržována a panel bude po zahřátí mechanicky zatěžován. Předpokládaný průběh teploty keramických deček je vidět na obr. 5



Obr. 10 Předpokládaný průběh teploty na sendvičovém panelu
Fig. 5 Expected development of temperature of sandwich panel

Celkem je naplánováno 10 zkoušek. Sendvičový panel o rozměrech 1000 mm x 2500 mm bude zkoušen v tloušťce 100 mm a 230 mm. Zkoušky panelu s tloušťkou 100 mm budou probíhat při teplotách 20 °C, 300 °C, 450 °C a 600 °C. Panel tloušťky 230 mm bude zkoušen při teplotách 20 °C, 200 °C, 300 °C, 450 °C a 600 °C. Sendvičový panel o velikosti 1200 mm x 4000 mm bude zkoušen v tloušťce 230 mm a teplotě 300 °C.

ZÁVĚR

Sendvičové panely jsou nejpoužívanějším systémem opláštění halových objektů. Panely s jádrem z minerální vlny mají dobré tepelně-technické i akustické vlastnosti a vysokou požární odolnost. Pro využití panelu ke stabilizaci konstrukce je nutné znát jeho ohybovou tuhost za běžné i zvýšené teploty. Výpočet ohybové tuhosti za zvýšené teploty je stejný jako za běžné, pouze konstanty jsou závislé na teplotě. Připravovaný experiment, který má za úkol ověřit ohybovou tuhost panelů za zvýšené teploty, proběhne na panelech o různých rozměrech a tloušťkách. Panel bude z jedné strany zatěžován přes nosníky a z druhé strany zahříván pomocí keramických ohřívačů. Při experimentu bude měřen průhyb a následně sestaven graf vyjadřující závislost zatížení a deformace pro danou teplotu.

PODĚKOVÁNÍ

Experiment je podpořen RFCS projektem Steel cladding systems for stabilization of steel buildings in fire (STABFI).

LITERATURA

- [1] COOKE, Gordon M. E. *Stability of lightweight structural sandwich panels exposed to fire*. Fire and Materials [online]. 2004, **28**(24), 299–308. ISSN 0308-0501, 1099-1018. Dostupné z: doi:10.1002/fam.851
- [2] BIRMAN, V., G.A. KARDOMATEAS a G.J. SIMITSES. *Response of a sandwich panel subject to fire or elevated temperature on one of the surfaces*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. July, **2006**.

SPOJ SENDVIČOVÝCH PANELŮ PŘI POŽÁRU

CONNECTION OF SANDWICH PANELS IN FIRE

Bc. Josef Hruška

Abstract

The paper deals with a topic of behavior of a connection of sandwich panels to a steel bearing structure during fire. In the introduction the paper discusses the topicality and objectives of the paper. Further, the paper deals with research studies, which solve the problem of joints in a fire. These studies indicate how the connection behaves at elevated temperatures, what internal forces originate when loaded, advantages and disadvantages of various fasteners and the influence of different types of cladding. The paper also describes a prepared experiment, which should verify the joint behavior during fire. The chapter about a preparation of the experiment specifies type of the chosen sandwich panels, screws, steel plates, a way of heating of the samples and so on. In conclusion, all the knowledge from the preparation of the experiment is summarized.

Key words: Sandwich panel; steel bearing structure; connection; screw; fastener; fire; screwed connection; steel sheeting in fire; fire resistance

ÚVOD

Seminární práce je zaměřena na přípoj sendvičových panelů k ocelové nosné konstrukci a jeho chování za požáru. Již mnohé studie prokázaly, že lze při návrhu ocelových konstrukcí dosáhnout značné úspory, a to s využitím plášťových systémů – sendvičových panelů a trapézových plechů, kdy jsou tyto systémy využity ke stabilizaci celé konstrukce namísto běžných konstrukčních řešení. Tyto studie bohužel opomíjejí chování takto využitých plášťových systémů za požáru. Z tohoto důvodu je práce zaměřena na problematiku přípojů sendvičových panelů na konstrukci za zvýšené teploty. Výsledky práce by mohly vést k poznatkům, jak se přípoje za zvýšené teploty chovají. Na základě nových poznatků by mohl být modifikován způsob navrhování těchto konstrukcí, čímž by se zvýšilo jejich efektivní využití.

AKTUÁLNOST PROBLÉMU

V současnosti je toto téma řešeno v rámci evropského projektu RFCS v konsorciu několika evropských univerzit a výrobců ocelových plášťových systémů. I v ČR je toto téma považováno za velice aktuální a přínosné pro zvýšení konkurenceschopnosti ocelových konstrukcí vůči jiným materiálům. V ČR se na výzkumu s fakultou stavební podílí přední výrobce plášťových systémů Kingspan a.s. a Ruukki s.r.o.

SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉHO PROBLÉMU

Stabilizace ocelové konstrukce pláštěm je dána ohybovou tuhostí pláště a chováním přípoje. Tato práce se zaměřuje na chování přípoje za požáru. Vliv tuhosti pláště není v této práci řešen.

V současné době se požární odolnost konstrukcí určuje pomocí zkoušek v pecích, kdy je zkoušena vždy jen malá část konstrukce či samostatný prvek. Tento způsob určení požární odolnosti ale opomíjí spolupůsobení zatíženého prvku s celou konstrukcí, a proto je považován za příliš konzervativní. V nedávno vydaných studiích Národní institut pro normalizaci a technologii (NIST) v USA a Britská společnost The Institution of Structural Engineers (IStructE) doporučují vypracování metodiky pro navrhování konstrukcí založené na spolupůsobení celé konstrukce. V současné metodice navrhování konstrukcí mají systémy opláštění pouze funkci izolační a samonosnou. Avšak případy dvou požárů halových objektů v Německu z roku 2016 (viz obr. 1 a obr. 2), kde nedošlo ke kolapsu konstrukce právě díky chování sendvičových panelů, prokazují důležitou funkci opláštění při stabilizaci ocelových konstrukcí. Tyto požáry a studie ze zahraničí potvrzují aktuálnost a potřebnost řešení této problematiky.



Obr. 1 Požár řeznictví Wiesenhof v Lohne 28.3.2016
[4]

Fig. 1 The fire of the Wiesenhof butcher shop in Lohne
28.3.2016 [4]



Obr. 2 Požár výstavní haly v Düsseldorfu, 8.6.2016
[4]

Fig. 2 Fire of the exhibition hall in Düsseldorf
8.6.2016 [4]

CHOVÁNÍ SPOJŮ ZA POŽÁRU

Ocelová nosná konstrukce je používána v izolačních střešních krytinách pro průmyslové budovy s nízkými šikmými střechami. Ocelové plechové profily jsou vyráběny tvářením za studena z tenkých ocelových pásů a jsou připevněny k podkladovým vaznicím nebo běžněji přímo k ocelovým vazníkům pomocí samořezných nebo samovrtných šroubů. Chování opláštění je důležité při požáru, zvláště když je opláštění uloženo jako spojitý nosník a tahové síly jsou v místě podpor, kde jsou umístěny šroubové spojovací prostředky. [1]

Únosnost spoje závisí na tření mezi podložkou a tenkým plechem, přímým uložením hlavy šroubu na tenčí plech a únosností tenčí vrstvy ve vzpěru. Degradace materiálu při zvýšené teplotě dále snižuje pevnost a tuhost spojů. [1]

Trapézový plech, který se chová jako kloubově připojený nosník k podpůrné konstrukci, ztrácí s nárůstem teploty ohybovou tuhost. Způsob uložení nosníku v podporách má zásadní vliv na chování celého nosníku. Jestliže je nosník připevněn k podpůrné konstrukci pomocí šroubů s dostatečnou tuhostí a únosností a podpůrná konstrukce je schopna přenášet tahové síly, dojde vlivem vláknového působení k přenosu zatížení tahem. [2]

Přípoje trapézových plechů se zpravidla zkouší jako jednostranný přeplátovaný spoj s jednou řadou šroubů. Tento spoj je jednostřížný, nesymetrický, namáhaný tahem, přičemž spojovací prostředky jsou namáhány smykem. O způsobu porušení rozhoduje průměr šroubu, tloušťka a únosnost spojovaných prvků a poloha krajního šroubu vzhledem k okrajům spojovaných prvků. [2]

Výsledky zkoušek šroubových spojů prokazují, že chování přípoje, tzn. tvar pracovního diagramu a způsob porušení, se s rostoucí teplotou prakticky nemění. S rostoucí teplotou klesá únosnost přípoje. Při teplotách kolem 500 °C je únosnost přípoje o 40 % nižší než únosnost stejného přípoje za běžné teploty. S dalším nárůstem teploty je pokles únosnosti výraznější. Při teplotách 600 °C, resp. 700 °C činí únosnost přípoje 40 %, resp. 20 % únosnosti přípoje za běžné teploty. [2]

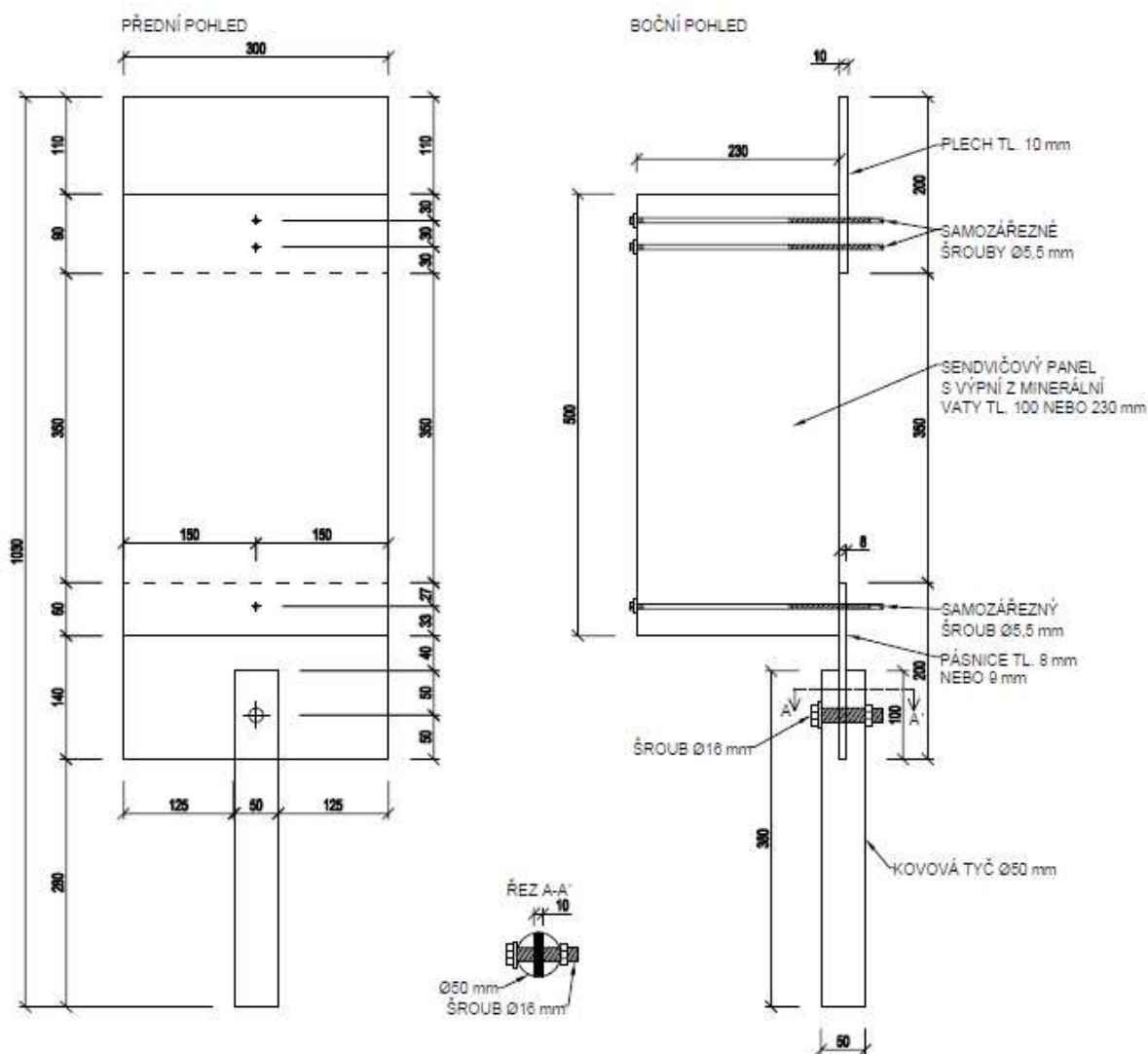
Požární experimenty sendvičových panelů sestávajících z ocelových plechů a PIR jádra byly provedeny na jednotlivých PIR sendvičových panelech a PIR sendvičových panelech s přípojem. Výsledky požárních zkoušek byly použity k ověření modelu tepelné vodivosti závislé na teplotě pro PIR pomocí numerického modelování přestupu tepla metodou MKP s využitím softwaru ABAQUS. Výsledky požárních zkoušek ukazují, že teplota na spoji na neexponované straně sendvičového panelu je zpočátku nižší než teplota na panelu. Avšak při vysokých teplotách ablace PIR jádra způsobuje velké mezery do 25 mm. Kvůli vysokému prostupu tepla v mezeře se teplota spoje výrazně zvýší oproti teplotě panelu. Výsledek numerické parametrické studie naznačuje, že jestliže může být spára u spoje regulována tak, aby nebyla větší než 5 mm, teplota spoje a panelu na neexponovaném povrchu by byla podobná. Mezery u spojů

o velikosti 10 mm nebo větší by měly za následek teploty spojů mnohem vyšší než teploty panelů a snížily by izolační schopnost systému sendvičových panelů o méně než 60 minut, i když panel může dosahovat mnohem delší standardní požární odolnost. [3]

POŽÁRNÍ EXPERIMENT

K ověření chování spoje sendvičových panelů k ocelové nosné konstrukci bude proveden experiment v laboratořích na ČVUT v Praze, fakultě stavební. Pro experiment bylo zakresleno schéma připojení panelu k pásnici ocelového nosného profilu, viz obr. 3. Na obr. 3 jsou vidět tlusté plechy, představující pásnice sloupu, které budou připevněné do čelistí trhačích stroje. K pásnicím je přišroubovaný sendvičový panel na jedné straně jedním šroubem, kde se předpokládá porušení a na straně druhé dvěma šrouby. Následně bude panel a spoj s jedním šroubem zahříván pomocí keramických topných deček a budou měřeny teploty na různých místech.

Zahřívání vzorku během experimentu je provedeno pomocí systému skládající se z řídicího stroje Mannings HTC 70 kW, keramických zahřívacích deček a termočlánků typu K. Keramické dečky jsou zavěšeny v těsném kontaktu na panel a plech s jedním šroubem, díky tomu je teplo do vzorku přenášeno převážně vedením. Dečky budou puštěny na plný výkon, dokud nedosáhnou stanovené teploty a následně tato teplota bude udržována. Budou měřeny teploty na panelu a na plechu. Rychlost zahřívání vzorku je 24 °C/min, což se blíží nominální normové křivce.



Obr. 3 Schéma experimentu.
Fig. 3 Schema of the test.

Cílem experimentu je změřit deformaci přípoje při namáhání za zvýšené teploty (20, 300, 450 a 600°C) a porovnat je. Nosná konstrukce je tvořena otevřenými profily typu HEA 120 a HEA 160, které při experimentu odpovídají plechům tloušťky 8 a 9 mm. Panely vybrané pro experiment jsou s výplní z minerální vaty od výrobce Ruukki typu SPA100E (tloušťky 100 mm) a SPA230E (tloušťky 230 mm). Jako spojovací prvky jsou použity nerezové samořezné šrouby SXC14-S19-5,5x190 pro panel tloušťky 100 mm a SXC14-S19-5,5x275 pro panel tloušťky 230 mm.

ZÁVĚR

Článek se zabývá chováním spojů sendvičových panelů k nosné ocelové konstrukci za požáru. Problematika je podložena výzkumy z ČR i ze zahraničí, které pojednávají o vznikajících vnitřních silách, výhodách a nevýhodách různých spojovacích prostředků, vlivech různých typů opláštění, typických porušení přípoje a přibližné redukce pevnosti spoje při určité teplotě.

Článek dále pojednává o přípravě experimentu, kde se vychází z přípoje obvodového pláště ke sloupu otevřeného průřezu profilu HEA 120 a HEA 160 respektive plechy tloušťky 8 a 9 mm reprezentující pásnice profilů. K pásnicím těchto průřezů budou připojeny sendvičové panely s výplní z minerální vaty od výrobce Ruukki typu SPA100E a SPA230E tloušťky 100 a 230 mm. Jako spojovací prvky budou sloužit nerezové samořezné šrouby typu SXC14-S19-5,5x190 a SXC14-S19-5,5x275 pro panely tloušťky 100 a 230 mm. Na neohříváné pásnici budou dva šrouby a na ohříváné, kde se předpokládá porušení, jeden šroub. Zahřívání bude provedeno pomocí řídicího přístroje Mannings HTC 70 kW, keramických deček a termočlánků typu K. Teplo do vzorku přenášeno převážně vedením. Rychlost zahřívání vzorku se blíží nominální normové křivce.

PODĚKOVÁNÍ

Experimentální část je podpořena RFCS projektem Steel cladding systems for stabilization of steel buildings in fire (STABFI).

LITERATURA

- [1] LU, W., P. MAKELAINEN a J. OUTINEN. *Finite Element Modeling of Single Lap Shear Screw Connection in Steel Sheeting in Fire*. The Open Construction and Building Technology Journal [online]. 2008, 2(1), 257–261. ISSN 18748368. Dostupné z: doi:10.2174/1874836800802010257
- [2] KALLEROVÁ, P. *Požární odolnost šroubového přípoje trapézových plechů vystavených požáru*. B.m.: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí. 2011
- [3] WANG, Y.C. a A. FOSTER. *Experimental and numerical study of temperature developments in PIR core sandwich panels with joint*. Fire Safety Journal [online]. 2017, 90, 1–14. ISSN 03797112. Dostupné z: doi:10.1016/j.firesaf.2017.03.003
- [4] *Brandenburgische Technische Universität* [online]. Pasternak, 2017. Dostupné z: <https://www.b-tu.de/fg-stahlbau/forschung/forschungsprojekte/rfcs-stabfi>

ANALYTICKÝ MODEL OCELOBETONOVÉHO SLOUPU ZA ZVÝŠENÉ TEPLoty

ANALYTICAL MODEL OF STEEL AND CONCRETE COLUMN AT ELEVATED TEMPERATURE

Bc. Jiří Jurečka

Abstract

Current design method for the steel and concrete columns are described in a standard ČSN EN 1994-1-2:2005. Results differ from US, Chinese and Japanese design proposals. Currently is prepared a new version of Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 1-2. The pre-Eurocode prEN 1994-1-2:2017 supposed to be valid after 2021. The article focuses on comparison of these proposals ways of design. The objective of the work is sensitivity study of major input parameters for evaluation of load-bearing capacity at elevated temperature.

Key words: *Steel-concrete columns, Steel-concrete columns at elevated temperature; Fire resistance; Eurocode; Circular hollow section column*

ÚVOD

Ocelobetonové sloupy jsou z architektonického, ekonomického a environmentálního hlediska atraktivní řešení pro vícepodlažní ocelobetonové nebo betonové budovy. Sloupy jsou tvořeny dutými ocelovými průřezy, které jsou vyplněny betonem, aby bylo zajištěno optimální únosnosti konstrukce v souladu s požární odolností. Ocelobetonové sloupy spojují přednosti použitých materiálů, jelikož konstrukce z oceli mají vysokou únosnost, ale vedou teplo a mají omezenou požární odolnost. Spojením ocelového pláště a betonové výplně lze beton namáhat v prostorovém tlaku, který je až 6,5krát větší než rovinný. Ocelový plášť zároveň plní funkci bednění pro beton. Chování dutých průřezů vyplněných betonem lze pro daný účel optimalizovat. Za pokojové teploty přenáší zatížení jak ocelová, tak betonová část průřezu. V okamžiku, kdy je sloup vystaven požáru, začne většinu zatížení přenášet ocelová trubka, protože za zvýšené teploty roztahuje rychleji než betonové jádro. Jev však trvá pouze po dobu 20 až 30 minut vystavení požáru. Během této doby se zásadně sníží mez kluzu oceli až do fáze, kdy většinu zatížení začne přenášet betonové jádro. Únosnost betonu klesá s jeho prohříváním až do doby, kdy sloup není schopen přenášet zatížení a dojde k jeho kolapsu. Čas, kdy sloup selže při zahřívání podle nominální normové křivky, určuje jeho požární odolnost. [1]

Existuje několik druhů ocelobetonových sloupů. Nejčastěji se v praxi využívají válcované ocelové HEB profily s vybetonováním mezi pásnicemi. Dále se lze setkat s kruhovým nebo obdélníkovým uzavřeným průřezem vyplněným betonem, na které se zaměřuje tento článek. [2]

ÚNOSNOST OCELOBETONOVÝCH SLOUPŮ ZA ZVÝŠENÉ TEPLoty

Pro únosnost ocelobetonových sloupů ze zvýšené teploty jsou k dispozici tři modely. Pokročilý numerický model metodou konečných prvků, jednoduchý analytický model, tabulky z normy ČSN EN 1994-1-2:2005 [3].

Většina dostupných modelů pro návrh ocelobetonových sloupů za zvýšené teploty byla vyvinuta na požárních zkouškách ve sloupové peci a počítačové modelování krátkých a centricky zatěžovaných sloupech o malém průměru. Bylo uvažováno pouze s využitím normálních pevností betonu (55 MPa a nižších). Pro navrhování za zvýšené teploty se obecně využívají nominální normové teplotní křivky ASTM-E119 nebo ISO-834, které reprezentují požární scénáře v moderních a vícepodlažních budovách a na otevřeném prostranství jen omezeně. Nevyužívá se pokročilých modelů požáru, které se běžně aplikují pro návrh střešních/stropních konstrukcí za zvýšené teploty. V současné době se připravuje nová

verze normy EN 1994-1-2, která má platit po roce 2021 a její koncepce je připravena v prEN 1994-1-2:2017.

JEDNODUCHÝ VÝPOČTOVÝ MODEL DLE ČSN EN 1994-1-2:2005

Návrh podle jednoduchého výpočtového modelu lze uskutečnit dvěma způsoby. Návrhem podle grafu nebo ručním výpočtem podle ČSN EN 1994-1-2:2005 přílohy H. Zjednodušený výpočtový model lze uplatnit pouze při splnění těchto podmínek:

- vzpěrná délka $l_{\theta} \leq 4,5$ m,
- $140 \text{ mm} \leq$ šířka b nebo průměr $d \leq 400$ mm,
- $C 20/25 \leq$ pevnostní třída betonu $\leq C 40/45$,
- $1 \% \leq$ procento vyztužení $\leq 5 \%$ a
- normová požární odolnost ≤ 120 min.

Při ručním výpočtu se nejprve stanoví rozložení teploty v průřezu, a to z diferenciální rovnice vedení tepla, pro které je třeba využít program s metodou konečných prvků. Předpokládá se konstantní rozdělení teploty po výšce sloupu. Druhým krokem je výpočet návrhové únosnosti sloupu za požáru. [4]

Výpočetním programem se určí rozložení teplot v průřezu, který je zatížen normovou teplotní křivkou. Betonová část průřezu se rozdělí na několik vrstev. Čím větší počet vrstev, tím přesnější výsledky. Získají se průměrné teploty jednotlivých vrstev betonu, ocelové části a betonářské výztuže v čase trvání požáru t . Pomocí redukčních součinitelů degradace materiálu za zvýšené teploty v tab. 3.2, 3.3, 3.4 v EN 1994-1-2 se sníží mechanické vlastnosti jednotlivých vrstev, respektive výztuže. Výpočet je popsán v ČSN EN 1994-1-2 příloze H. Únosnost sloupu za požáru $N_{fi,Rd}$ se stanovuje postupnou iterací. Začíná se s počáteční hodnotou poměrného pretvoření $\varepsilon = 0,0005$, která se mění do dosažení rovnosti únosnosti za požáru, kritické síly a plastické únosnosti průřezu $N_{fi,Rd} = N_{fi,cr} = N_{fi,pl,Rd}$. [2,4]

JEDNODUCHÝ VÝPOČTOVÝ MODEL DLE PREN 1994-1-2:2017

Postup výpočtu v prEN 1994-1-2:2017 příloze H je hodně odlišný od předchozího postupu. Nová metoda má také dvě části. Stanovení teploty průřezu a výpočet návrhové únosnosti za požáru. Liší se i počáteční podmínky. Pro návrh ocelobetonových sloupů podle prEN 1994-1-2:2017 přílohy H musí být následující požadavky:

- $5 \leq A_m/V \leq 30$
- $10 \leq d/t \leq 60$
- $5 \leq l_{\theta}/d \leq 30$
- $e/d \leq 1$
- $30 \text{ min} \leq$ normová požární odolnost ≤ 240 min

V nové verzi Eurokódu se průměrná teplota betonové části průřezu stanoví ze vztahu

$$\theta_{c,eg} = 81,8 - 5,05t_{fi} + 0,003t_{fi}^2 - 15,07 \frac{A_m}{V} + 0,3 \left(\frac{A_m}{V} \right)^2 - 0,88t_{fi} \frac{A_m}{V} + 7,43t_{fi}^{0,842} \left(\frac{A_m}{V} \right)^{0,714} \quad (1.1)$$

a ocelové části průřezu z rovnice

$$\theta_{a,eg} = -824,67 - 5,58t_{fi} + 0,007t_{fi}^2 - 0,01t_{fi} \frac{A_m}{V} + 645,08t_{fi}^{0,269} \left(\frac{A_m}{V} \right)^{0,017} \quad (1.2)$$

kde t_{fi} je doba vystavení konstrukce požáru [min]

Betonová část průřezu se již nerozděluje na jednotlivé vrstvy. Teplota $\theta_{c,eg}$ se uvažuje jako průměrná teplota celého betonového jádra konstrukce. Hodnota návrhové plastické únosnosti průřezu se vypočte

$$N_{fi,pl,Rd} = A_a \frac{f_{y,\theta}}{\gamma_{m,fi,a}} + A_c \frac{f_{c,\theta}}{\gamma_{m,fi,c}} + A_s \frac{f_{s,\theta}}{\gamma_{m,fi,s}} \quad (1.3)$$

Účinná ohybová tuhost za požáru se stanoví

$$(EI)_{fi,eff} = \varphi_{a,\theta} E_{a,\theta} I_a + \varphi_{c,\theta} E_{c,\theta} I_c + \varphi_{s,\theta} E_{s,\theta} I_s \quad (1.4)$$

kde $\varphi_{i,\theta}$ je redukční koeficient tepelném namáhání materiálu i

$$\varphi_{c,\theta} = 1,2 \quad \varphi_{a,\theta} = 0,75 - 0,023 \left(\frac{A_m}{V} \right)$$

$E_{i,\theta}$ modul pružnosti materiálu i při teplotě θ

I_i moment setrvačnosti materiálu i

Eulerovo kritické napětí se stanoví jako

$$N_{fi,cr} = \frac{\pi^2 (EI)_{eff,fi}}{l_\theta^2} \quad (1.5)$$

Relativní poměrná štíhlost se vypočítá jako

$$\bar{\lambda}_\theta = \sqrt{\frac{N_{fi,pl,Rd}}{N_{fi,cr}}} \quad (1.6)$$

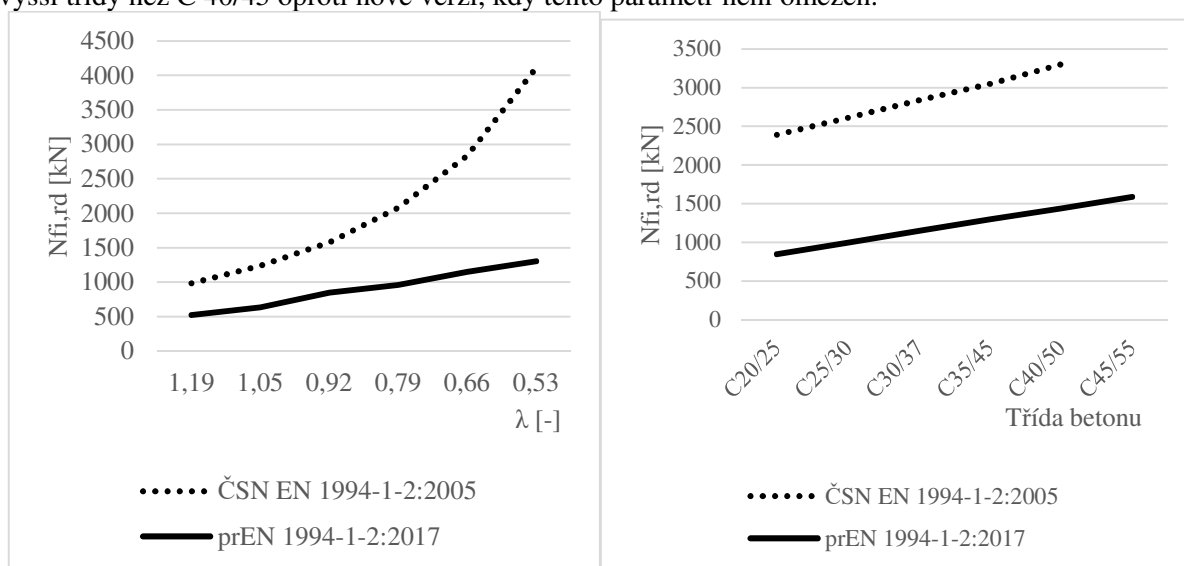
A návrhová únosnost ocelobetonového sloupu za požáru při centrickém tlaku

$$N_{fi,Rd} = \chi N_{fi,pl,Rd} \quad (1.7)$$

kde χ je redukční součinitel vzpěrnosti, který je závislý na relativním poměrném přetvoření a stanoví se podle křivky vzpěrnosti „a“ z EN 1994-1-3 (u sloupů vyztužených betonářskou výztuží se použije křivka „c“).

POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ ČSN EN 1994-1-2:2005 A PREN 1994-1-2:2017

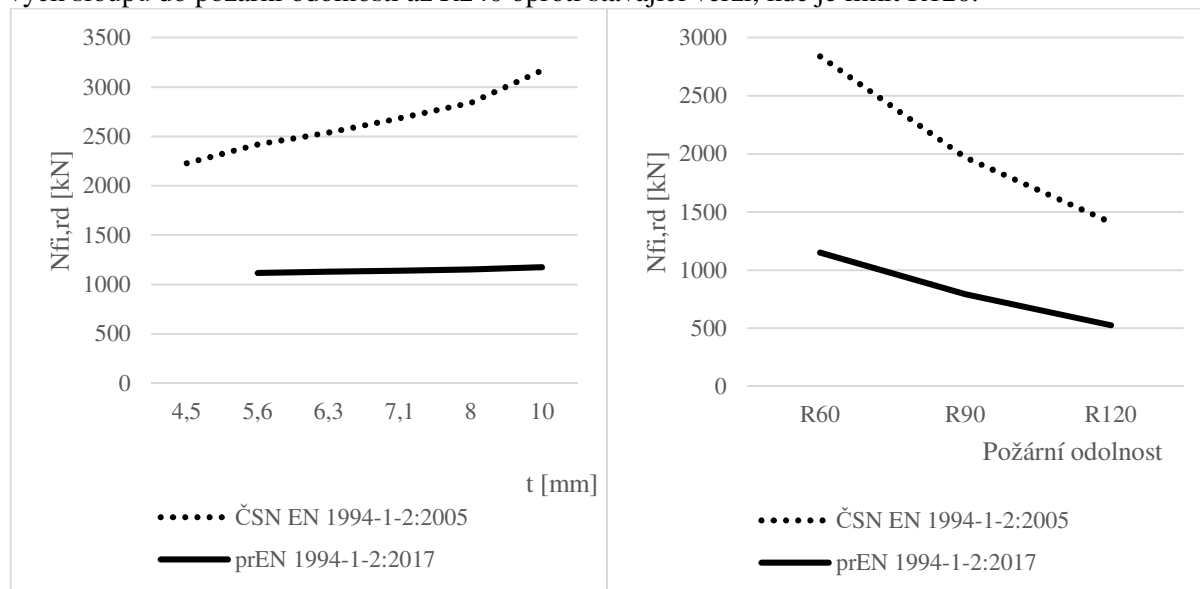
Na Obr. 2A **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** je porovnána únosnost ocelobetonových sloupů za zvýšené teploty stávajícího EN 1994-1-2:2005 a nového připravovaného prEN 1994-1-2:2017 pro odlišné poměrné štíhlosti. Z grafu lze vyčíst, že nová verze uvažuje s nižší únosností, a to hlavně u masivních sloupů. Další porovnání postupu navrhování bylo provedeno pro různé třídy betonu. Na Obr. 2B lze vidět, že křivky jsou téměř rovnoběžné a únosnost při změně třídy betonu je uvažována u obou metod obdobně. EN 1994-1-2:2005 poskytuje vyšší hodnoty únosnosti. Je zajímavé, že stávající verze Eurokódu neumožňuje použití betonu vyšší třídy než C 40/45 oproti nové verzi, kdy tento parametr není omezen.



Obr. 1 (A) Závislost únosnosti za požáru na poměrné štíhlosti za běžné teploty pro R60; (B) Vliv třídy betonu na únosnost pro R60

Fig. 1 (A) The dependence of the load-bearing capacity at elevated temperature on the relative slenderness at normal temperature for R60; (B) Sensitivity of concrete grade to fire resistance for R60

Tloušťka ocelové trubky nijak zásadně nezvyšuje únosnost ocelobetonového sloupu za požáru podle prEN 1994-1-2:2017, jak je vidět na Obr. 3A. U EN 1994-1-2:2005 je rozdíl více než 800 kN v únosnosti pro tloušťky ocelových tubusů 4,5 a 10 mm. Připravovaná norma neumožňuje návrh sloupu s uvažovanými rozměry a tloušťkou trubky 4,5 mm, jelikož nevyhoví podmínce $d/t \leq 60$. Postup návrhu nového Eurokódu uvažuje s mnohem nižšími únosnostmi za požáru. Rozdíl činí až 2500 kN pro požadovanou požární odolnost R60, viz Obr. 3B. Na druhou stranu nová verze výpočtu umožňuje návrh ocelobetonových sloupů do požární odolností až R240 oproti stávající verzi, kde je limit R120.



Obr. 2 (A) Vliv tloušťky ocelové trubky na únosnost pro R60; (B) Závislost požární únosnosti na době trvání požáru

Fig. 2 (A) Influence of thickness of steel tube to fire resistance for R60; (B) Sensitivity of fire resistance to the duration of fire exposure

ZÁVĚR

Pro stanovení teploty průřezu je u starší metody nutnost využití počítačového softwaru, oproti nové metody, pro kterou je připraven vztah pro výpočet průměrné teploty jednotlivých materiálů. Starší verze je pracnější rozdělováním betonového jádra na jednotlivé vrstvy. Při hledání rovnováhy u starší verze výpočtu mezi Eulerovou kritickou silou a návrhovou únosností za požáru je třeba iterovat. Metoda poskytuje velmi vysoké únosnosti pro štíhlé sloupky. Ve verzi z roku 2017 jsou nedostatky odstraněny. PrEN 1994-1-2:2017 poskytuje výrazně nižší návrhové únosnosti sloupů za požáru.

LITERATURA

- [1] RUSH, David, Luke BISBY, Allan JOWSEY, Athan MELANDINOS a Barbara LANE. *Structural performance of unprotected concrete-filled steel hollow sections in fire: A review and meta-analysis of available test data*. Steel & Composite structures [online]. 2012, **12**(4), 325–350. ISSN 1229-9367. Dostupné z: doi:10.12989/scs.2012.12.4.325
- [2] CHALUPA, Ondřej. *Ocelobetonový sloup vystavený požáru*. Praha, 2013. Diplomová práce. České Vysoké Učení Technické v Praze.
- [3] STUDNÍČKA, Jiří, VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ a STAVEBNÍ FAKULTA. *Ocelobetonové konstrukce 20*. Praha: České vysoké učení technické, 2002. ISBN 978-80-01-02598-7.
- [4] ČSN EN 1994-1-2: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí. Obecná pravidla. Navrhování konstrukcí na účinky požáru. Praha: ČSNI, 2006.

VLASTNOSTI KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS

Bc. Stanislav Bien

Abstract

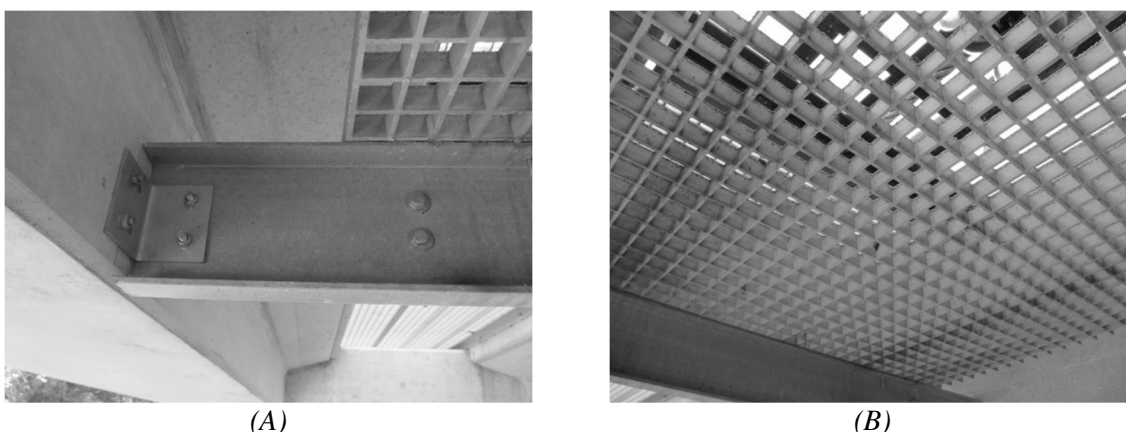
This article presents a composite material based on plastic, reinforced by fibres. The first part of paper describes characteristic and division of these materials and their application in civil engineering. The second part is focused on practical experiment with composite samples during four-point flexural test.

Key words: *plastic; FRP; fibre; composite; experiment*

ÚVOD

Tento článek má za cíl představit čtenáři základní charakteristiku kompozitních materiálů na bázi plastu vyztužených vláknem a jejich složení. V rámci praktické části pak prezentuje výsledky získané z čtyřbodových ohybových zkoušek těchto kompozitních těles.

Rychlý rozvoj všech odvětví průmyslu ve 20. století, a především pak strojírenského, leteckého a vojenského, vedl k výzkumu nových kompozitních materiálů na bázi plastů vyztužených vláknem. Pro aplikaci ve stavebnictví, se tak dnes kompozity uplatňují jako náhrada vložené ocelové výztuže v železobetonových prvcích, jako dodatečná povrchová výztuž ve formě lamel nalepených na povrchu ocelových, dřevěných nebo betonových prvků, či jako náhrada ocelových válcovaných profilů a roštů. Kompozit tak nachází uplatnění i díky podstatně vyšší odolnosti vůči působícím chemikáliím (kyseliny, chloridy), nevodivosti či netečnosti vůči magnetickému poli. Kompozity jsou tak dnes využívány při konstrukci budov, mostů, rozvodů či nádrží, jejich uplatnění lze nalézt především v chemickém, energetickém či dopravním průmyslu, kde je kladen důraz na vysokou chemickou odolnost konstrukcí vlivem působení agresivního prostředí, příkladem použití může být nosná kompozitní konstrukce použitá při rekonstrukci lanové dráhy na Petřín v Praze, viz Obr. 11.



Obr. 11 (A) Protlačovaný kompozitní profil; (B) Kompozitní pororošt
Fig. 10 (A) Protruded composite profile; (B) Composite grating

VÝZTUŽNÁ VLÁKNA

Vláknové kompozity či FRP kompozity (z anglického Fibre Reinforced Polymers) jsou materiály tvořené dvěma základními prvky: vloženou výztuží a pojivem. Výztuž tvořená vlákny přenáší většinu působícího tahového napětí, volba typu vlákna pak závisí na použití kompozitního prvku, pevnosti, ceně či tepelně-technických vlastnostech navrženého kompozitu. Výztuž je dodávána ve formě jednotlivých

vláken, spletených pramenců, netkaných rohoží či tkaniny. Orientace vláken je pak nejčastěji navržena jedním směrem (jako podélná), případně s mnohosměrným vyztužením.

Nejčastěji využívaným typem jsou vlákna skleněná, ta se vyrábí protlačováním roztavené skloviny skrze perforované destičky z platiny, tím se vytvářejí vlákna do průměru 20 mikrometrů. Takto vzniklá vlákna jsou navíjena na buben a opatřena povrchovou lubrikací na bázi škrobu z důvodu jejich křehkosti. [1] Výhodou těchto vláken je jejich nízká cena (přibližně 2 až 3 € za kilogram), nehořlavost a dobré elektroizolační schopnosti, nevýhodou pak malá odolnost vůči kyselinám a zásadám. [2]

V oblasti vesmírného, leteckého či vojenského průmyslu je skelné vlákno nahrazováno vláknem z uhlíku z důvodu jeho nižší hmotnosti, jež je přibližně poloviční. Dále uhlíková vlákna vynikají vyšší pevností, odolností vůči vysokým teplotám (až 2000 °C), únavě a korozi. Téměř polovina vyrobených uhlíkových vláken byla využita při průmyslové aplikaci, přes třetinu spotřeby pak připadá na letecký průmysl a šestina na produkci sportovních potřeb. Uhlíková vlákna se dále využívají při konstrukci radarů či vysílačů, neboť nestíní elektromagnetické záření. Nevýhodou vláken je pak jejich vyšší cena, nízká odolnost vůči nárazům či vysoká tepelná vodivost, srovnatelná s mědí.

Třetím nejčastěji používaným typem jsou vlákna aramidová, také známá pod obchodním názvem kevlar. Strukturu vlákna tvoří dlouhé řetězce aromatických jader, pevně spojených vodíkovými můstky, což umožňuje vláknům dosahovat vysoké pevnosti v tahu, odolnosti vůči mechanickému obrusu či vysokým teplotám. Vlákna jsou nevodivá a pro svou absorpci rázové energie využívána například při konstrukci neprůstřelných vest či přileb, jako náhrada azbestu v brzdových ložiscích, pneumatikách či světlovodných kabelech nebo v protipožárních oděvech. Nevýhodou vláken je vyšší absorpce vlhkosti (až 7 %), jež je činí citlivější oproti skelným či uhlíkovým vláknům, z tohoto důvodu jsou vlákna chráněna hydrofobní matricí. Matrice zároveň musí vlákna bezpečně ochránit vůči korozi či UV záření, jež aramid poškozují. Mez pevnosti v tlaku je u aramidových vláken nižší než pevnost v tahu, z tohoto důvodu se nevyužívají v konstrukcích namáhaných podélným tlakem. [2,3]

POJIVA

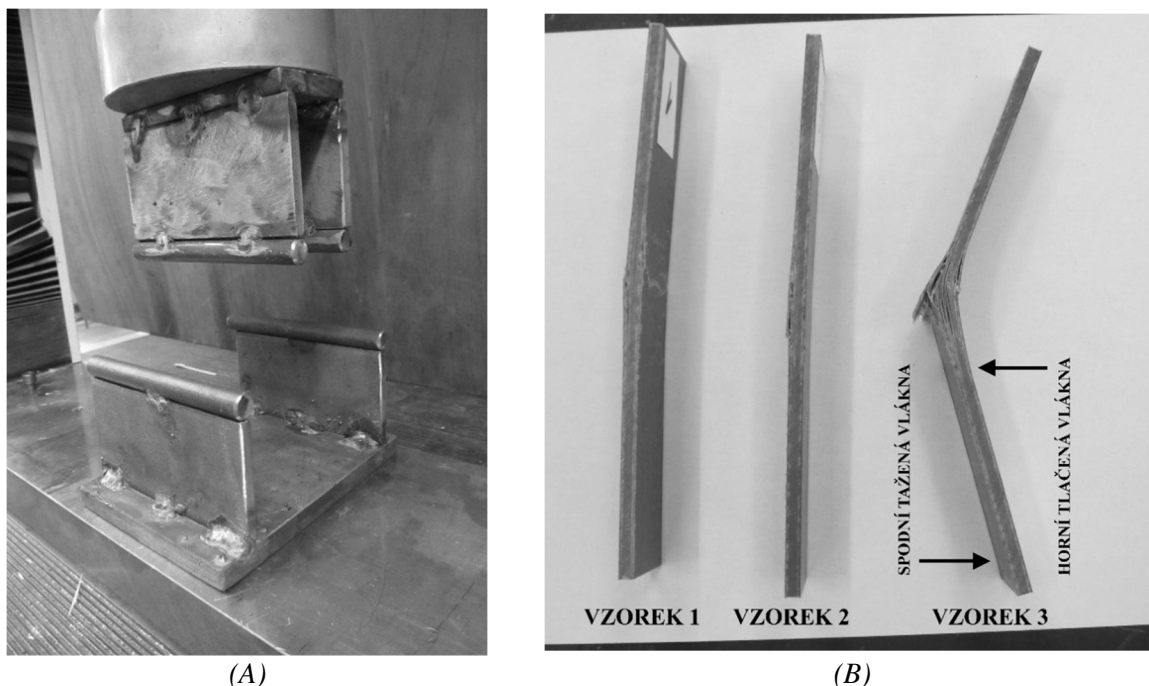
Úkolem pojiva je vytvářet ochranný obal kompozitu, přenášet namáhání na vlákna a spojovat je, vlákna jsou samostatně velmi křehká a obtížně drží tvar a směr. Volba použitého pojiva tak určuje výslednou odolnost prvku vůči korozi, teplotě, ohni či elektroizolační schopnosti. V rámci výroby kompozitu dochází působením tlaku a zvýšené teploty k zesíťování prostorové sítě a vytvrzení materiálu, jež je díky tomuto procesu pevný a zároveň velmi odolný, matrici přitom volíme dle její viskozity a povrchového napětí tak, aby bylo zajištěno smočení všech vláken a nedocházelo ke vzniku vzduchových bublin uvnitř struktury.

Nejpoužívanějším typem pojiva jsou epoxidové pryskyřice, jež vynikají odolností vůči únavě, chemikáliím a dynamickému namáhání, dobrou adhezí s navrženým vláknem a nízkým dotvarováním. Levnější variantou jsou nenasyčené polyesterové pryskyřice, jež vynikají dobrou zpracovatelností za cenu vyššího obsahu styrenu, jehož uvolňování poškozují životní prostředí. Alternativu k epoxidovým a polyesterovým pryskyřicím tvoří pryskyřice vinylesterové, ty dosahují vyšší houževnatosti, teplotní odolnosti až 220 °C a vysoké chemické odolnosti. Z těchto důvodů se uplatňují v chemickém průmyslu, u konstrukcí vystavených agresivnímu prostředí jako jsou chladicí věže, odsířovací zařízení, přepravní nádrže, čistírný odpadních vod či chemicky odolné rošty.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Pro stanovení ohybových vlastností kompozitních materiálů vyztužených skleněnými vlákny, byla provedena zkouška těles při čtyřbodovém ohybu dle normy ČSN EN ISO 14125 [4], tato norma předepisuje požadavky na zkušební tělesa a zařízení a popisuje průběh zkoušky a vyjádření výsledků. Ohybové testy byly prováděny ve zkušební laboratoři katedry ocelových a dřevěných konstrukcí, Fakulty stavební ČVUT v Praze v květnu 2018.

Pro zkoušení kompozitních vzorků bylo použito zkušební zařízení MTS QTEST /100 s ovládacím a měřícím softwarem Testwork 4. Zařízení se skládá ze zatěžovacího rámu, přípravku pro čtyřbodový ohyb ve formě svařených zatěžovacích trnů a pracovní ocelové desky, která vymezuje zkušební prostor a umožňuje podepření vzorku (viz. Obr. 12A). Pro výrobu zatěžovacích trnů a neposuvných podpor, byly vyrobeny přípravky z ocelové kulatiny Ø10 mm. Kulatiny byly přivařeny ke styčným ocelovým deskám pomocí koutového svaru tak, aby bylo zabráněno sklopení podpor a zároveň byl umožněn průhyb tělesa v průběhu zatěžování.



Obr. 12 (A) Ocelové zatěžovací trny a podpory; (B) Vzorky po ohybové zkoušce
 Fig. 11 (A) Steel loading pins and supports; (B) Samples after bending test

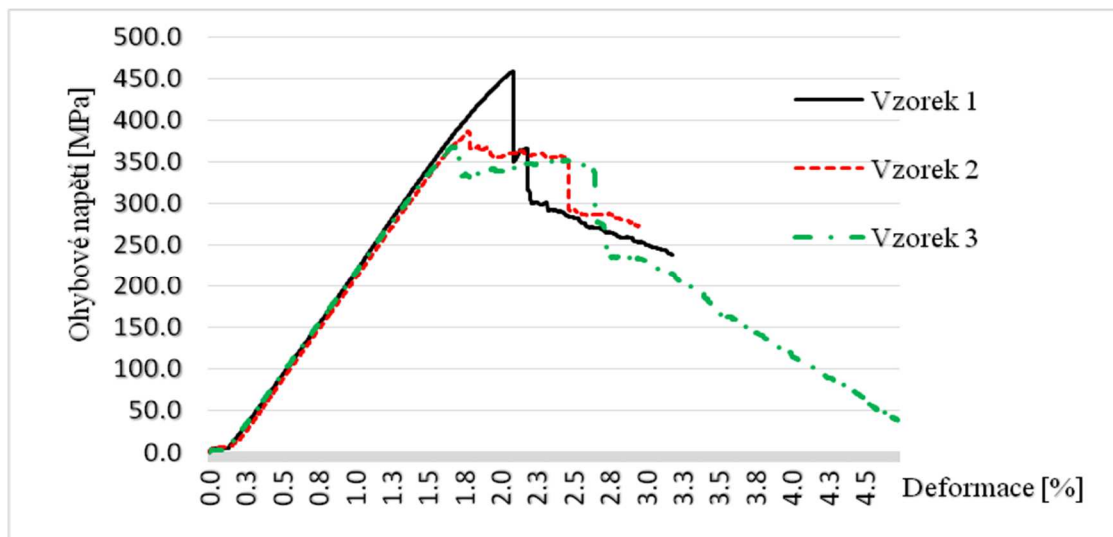
Vzorky byly umístěny na podpěrách a zatěžovány až do porušení (viz. Obr. 12B). Během experimentu byla zaznamenávána velikost působící síly a následně vyhodnoceno maximální ohybové napětí σ_{FM} v MPa, ohybový modul pružnosti E_{FM} v MPa a ohybová deformace ϵ_{FM} při maximálním napětí v % viz Tab. 2. Vzdálenost podpěr byla $L = 101,25$ mm, rychlost zatěžování $v = 3,8$ mm/min. Pro zjištění ohybových vlastností byla použita tři zkušební tělesa ve formě kompozitních latěk tloušťky 4,5 mm a šířky 25 mm, vyztužené podélnými skelnými vlákny. Délka těles se pak pohybovala od 172 do 175 mm. Na Obr. 13 je znázorněna závislost napětí na deformaci, vypočítaná z dat naměřených programem Testwork 4.

Z Obr. 13 je patrný průběh zkoušky v ohybu, získané hodnoty ohybového modulu se pohybují v rozmezí 8 500–14 400 MPa, hodnoty pevnosti v ohybu pak 368,4–458,8 MPa. Průměrná pevnost v ohybu je pak 404,7 MPa a ohybový modul 11 933 MPa. V případě všech tří zkoušených vzorků byly v průběhu zatěžování pozorovány vzrůstající deformace tělesa, doprovázené hlasitým praskáním vzorku, v případě vzorků č. 1 a 3 došlo k tomuto jevu při dosažení zatěžovací síly 1,5 až 1,7 kN. U všech těles došlo v okamžiku porušení k nadměrnému protažení spodních tažených vláken, doprovázené vzrůstající delaminací vláken a pojiva v horní polovině průřezu.

Tab. 2 Výsledky zkoušky ohybem za běžné teploty

Tab. 2 Results of four-point bending test during room temperature

Číslo vzorku	h [mm]	E_{FM} [MPa]	σ_{FM} [MPa]	ε_{FM} [%]
1	4,5	12900,0	458,8	2,109
2	4,5	8500,0	386,8	1,797
3	4,5	14400,0	368,4	1,731
průměr	4,5	11933,3	404,7	1,879
sm. odchylka	0	2503,8	39,0	0,165



Obr. 13 Závislost napětí na deformaci při ohybové zkoušce

Fig. 12 Stress - strain relationship during bending test

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo představit kompozitní materiály na bázi plastů a přiblížit jejich možnou aplikaci ve stavebnictví. V rámci řešeného příkladu byl proveden experiment s tělesy při čtyřbodovém ohybu a porovnány jednotlivá měření, ze kterých byly stanoveny průměrné hodnoty pevnosti v ohybu a ohybového modulu. Pokračováním tohoto výzkumu bude provedení ohybových zkoušek při zvýšených teplotách v rozmezí cca 60–150 °C. Zjištěné poznatky budou následně využity při numerickém modelování kompozitní stavební konstrukce, vystavené zvýšeným teplotám (sluneční záření, provoz technologických zařízení nebo požár).

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří panu Ing. Zdeňku Sokolovi, Ph.D. za poskytnuté informace, odborné konzultace a vedení během experimentu. Dále bych rád poděkoval technikům katedry ocelových konstrukcí za pomoc při výrobě zkušebních přípravků.

LITERATURA

- [1] BODNÁROVÁ, Lenka. *Kompozitní materiály ve stavebnictví*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 9788021422667.
- [2] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [3] *Aramid fiber* [online]. b.r. [cit. 2018-03-03]. Dostupné z: www.aramid.eu
- [4] ČSN EN ISO 14125. *Vlákny vyztužené plastové kompozity-Stanovení ohybových vlastností. Změna A1*. Praha: Český normalizační institut, 2011

SKLO PŘI VYSOKÝCH TEPLOTÁCH

GLASS IN HIGH TEMPERATURES

Bc. Lenka Šplíchalová

Abstract

This paper deals with the behavior of glass at high temperature. The article first focuses on the thermal properties of the glass and their changes in dependence on temperature. It also mentions several already realized constructions, in whose the glass played a major role as a supporting component. A very important point of the whole work was the experimental fire test of a glass brick wall, which is briefly described in this article. The main goal of the article is to introduce the numerical model of heat transfer through glass construction, which will be based on experimental validation. This model will finally be a suitable tool for determination of temperature distribution in glass construction and will thus contribute to the application expansion of glass bricks and other glass components in the building industry.

Key words: *Glass bricks; thermal properties; numerical model; heat transfer; fire experiment*

ÚVOD

Článek je zaměřen na chování skla při vysokých teplotách. Nejprve jsou zde uvedeny zejména tepelné technické vlastnosti skla a jejich případná závislost na teplotě. Hlavním cílem tohoto článku je však představení numerického modelu, který simuluje jednorozměrný prostup tepla skleněnou konstrukcí. Nedílnou součástí práce s modelem je ověření získaných dat zkouškou, která je v článku stručně popsána. Po nalezení souladu dat získaných z experimentu a výstupních hodnot numerického modelu může být tato numerická simulace užitečným nástrojem pro zjišťování teplotních podmínek ve skleněných konstrukcích a přispěje k rozšíření aplikace skleněných prvků na nosné konstrukce ve stavitelství.

SKLO JAKO NOSNÁ KONSTRUKCE

Sklo jako materiál ve stavebnictví není žádnou novinkou, v posledních letech se však přeneslo přes období materiálu pouze uměleckého a výplňového do doby, kde začíná značně zaujímat postavení materiálu nosných konstrukcí. Nepřehlédnutelným znakem tohoto materiálu je jeho průhlednost, čímž láká architekty k jeho použití. Jeho velkou nevýhodou je však zejména jeho křehkost, která musí být při výstavbě technologicky zohledněna. Skleněné prvky jsou náchylné k rozbití a ve většině případů mají takto poškozené skleněné komponenty nulovou nosnost, výjimkou jsou například vrstvená skla, kde rozbití jedné vrstvy zásadně neohrožuje přenos zatížení.

SKLENĚNÉ PLNÉ CIHLY

Cihly z masivního skla se vyrábějí nalitím tekutého skla do ocelových forem. Každá cihla je poté po dobu několika hodin ochlazována, tato doba je závislá na velikosti daného prvku, aby nedošlo k prasklinám způsobeným nerovnoměrnými teplotami mezi povrchem a jádrem cihly. Toto pomalé kontrolované chladnutí také zabraňuje vzniku nadměrného vnitřního pnutí v cihlách. Výstavba, při které se používají masivní skleněné cihly, je ve stádiu výzkumu, jelikož se jedná o zcela novou aplikaci a u každé stavby byla použita trochu odlišná technologie. V případě výstavby Optical House v Japonsku byla použita předpjatá ocelová výztuž, která zajišťuje tuhost a zabraňuje vybočení konstrukce. Jedná o předpjatou vertikální síť z prutů z nerezavějící oceli, na kterou jsou upevňovány jednotlivé skleněné cihly. Pro odolnost proti vertikálním silám je konstrukce ztužena tyčemi také ve vertikálním směru v daných výškových intervalech. Spoj v tomto případě neobsahuje maltu ani lepidlo. K dosažení zcela transparentního vzhledu skleněné stěny je nicméně potřeba se vyhnout neprůhledným výztužným prvkům. Jediným způsobem, jak tohoto výsledku docílit, je použití transparentního lepidla. Zvolené lepidlo musí nabízet požadovanou krátkodobou a dlouhodobou pevnost vazby. To zajistí chování skleněné zděné stěny vůči zatížení jako celek. Jako příklad je uvedena stavba Atocha Monument v Madridu, v jejímž případě jsou skleněné masivní cihly spojované transparentním UV-vytvrzovacím lepidlem do tvaru dutého válce,

který výrazně přispívá k tuhosti konstrukce, čímž eliminuje nutnost užití ocelových prvků. Obdobný postup spojování skleněných cihel je aplikován i v případě Crystal House v Amsterdamu. [1]

TEPELNĚ TECHNICKÉ VLASTNOSTI SKLA

Sklo je možné charakterizovat jako anorganický homogenní amorfni materiál, který tuhne bez nutnosti krystalizace. Jedná se o viskoelastický, který je tuhý při pokojové teplotě, avšak při teplotách nad jeho přechodovou oblastí (nad cca 680 °C) se stává tekutým. Vzhledem k tomu, že se jedná o amorfni látku, je těžké určit teplotu tání, navíc se zvýšenou teplotou se postupně mění vlastnosti skla včetně jeho struktury, což určování této teploty ještě ztěžuje. [2]

Tab. 1 Materiálové vlastnosti skla

Tab. 1 Material properties of glass

Vlastnosti	Hodnota	Jednotka
Hustota	2 500	kg/m ³
Pevnost v tahu	20-100	MPa
Pevnost v tlaku	400-900	MPa
Součinitel délkové teplotní roztažnosti	$9 \cdot 10^{-6}$	1/K
Modul pružnosti	70-74	GPa
Sálavost (intenzita vyzařování)	0,89	-
Součinitel teplotní vodivosti	1	W/mK
Měrná tepelná kapacita	720	J/kgK
Tažný modul	20-30	GPa
Poissonův součinitel	0,22-0,25	-
Koeficient teplotní roztažnosti	$8 \cdot 10^{-6}$ - $9 \cdot 10^{-6}$	1/K

Obecně řečeno všechny materiálové, chemické i fyzikální vlastnosti skla jsou ovlivněny zejména jeho složením a teplotní historií. Hustota skel se vzrůstem teploty obecně klesá, nad fiktivní teplotou t_g navíc vzrůstá teplotní roztažnost a hustota klesá rychleji než pod t_g . Roztažnost skel s teplotou vzrůstá rovnoměrně, pokud nedochází ke strukturním změnám a sklo má vhodnou tepelnou historii. Teplotní rozsah délkové teplotní roztažnosti skla bývá obvykle definován pro $\Delta t = 20-500$ °C. Měrné teplo skla roste se vzrůstající teplotou zpočátku strmě, poté pozvolněji. Vzhledem k tomu, že obvykle dochází pouze k částečné krystalizaci, není průběh měrného tepla v této oblasti teplot jednoznačný a závisí na tepelné historii skla, složení skla, čase a teplotě zahřívání. [2]

POŽÁRNÍ EXPERIMENT

Dne 3. 11. 2017 se v Duchcově u Teplic uskutečnila zkouška požární odolnosti skleněné masivní stěny (obr. 1 A). Zkoušenou konstrukcí byla stěna o rozměrech 680 x 685 x 115 mm. Tato konstrukce se skládala z ocelového tuhého rámu a z vlastního skleněného zdiva. Do konstrukce bylo umístěno celkem 14 celých plných a 8 polovičních čirých skleněných tvárnic Vetropieno o rozměrech 240 x 117 x 53 mm. Samotná zděná část konstrukce měla rozměry 518 x 500 mm. Technologicky se jednalo o stěnu z plných skleněných tvárnic, které byly spojeny maltou. Zděná část konstrukce byla opatřena 19 termočlánky pro získání dat z experimentu. Data z termočlánků (obr. 1 B), které byly umístěny na vnějším povrchu konstrukce, jsou důležitým hodnotícím faktorem numerického modelu, který je popsán v následující kapitole. Zkouška trvala dvě hodiny a po celou dobu zkoušky byla teplota v peci regulována tak, aby odpovídala průběhu normové teplotní křivky ISO 834.

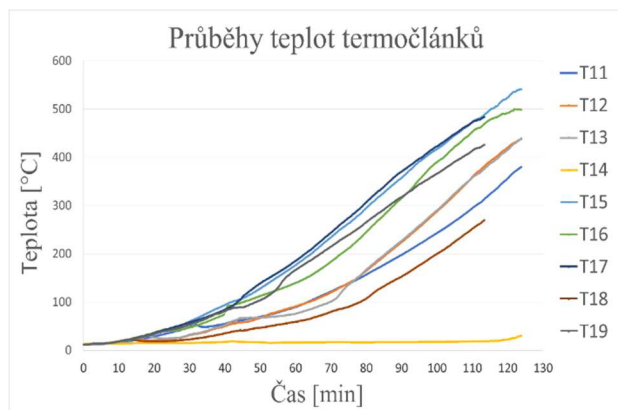
NUMERICKÝ MODEL

Cílem numerického modelu je popsat prostup tepla danou skleněnou konstrukcí. K vytvoření modelu byla aplikována metoda sítí, jinak také nazývaná metoda konečných diferencí. Tato metoda je založena na diskretizaci parciálních diferenciálních rovnic popisujících daný problém. Aplikace metody sítí je v tomto případě využita k řešení jednorozměrného vedení tepla. Pro výpočet bylo užito explicitního

schématu metody sítí, resp. aplikace centrální diference pro derivaci podle x (v tomto případě se jedná o umístění po tloušťce konstrukce). Určuje se dopředná diference v čase t_n pro derivaci podle času. Řešení tedy spočívá v určení jediné neznámé v čase t_{k+1} na základě tří známých hodnot v čase t_k . Pro výpočet byly použity jak konstantní, tak teplotně závislé materiálové vlastnosti.



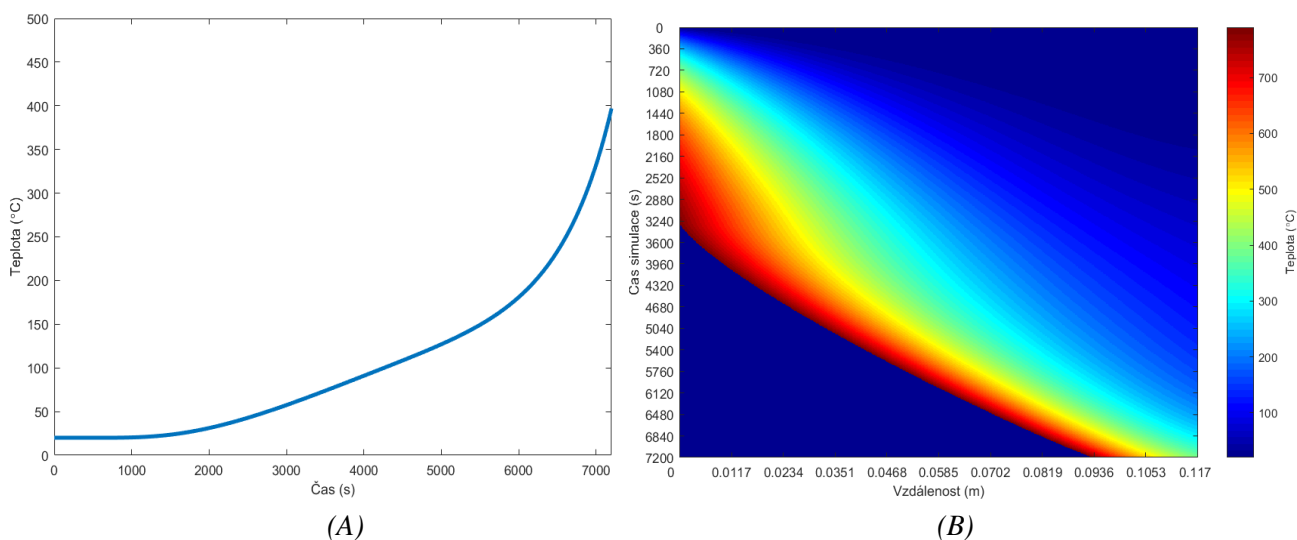
(A)



(B)

Obr. 1 (A) Fotografie z průběhu zkoušky; (B) Průběhy teplot termočlánků na povrchu skleněné konstrukce
Fig. 1 (A) Photograph of experiment; (B) Temperature of thermocouples on glass construction surface

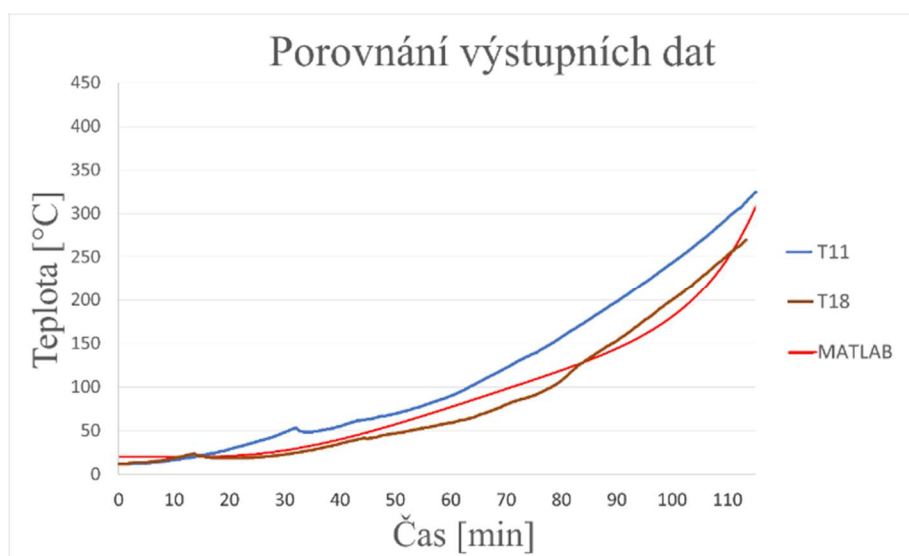
Pro vypracování numerické analýzy byl zvolen software MATLAB, což je interaktivní programové prostředí a skriptovací programovací jazyk čtvrté generace. Program MATLAB je vyvíjen společností MathWorks a v březnu 2017 vyšla verze R2017a, která je k dispozici zdarma pro studenty FSV ČVUT v Praze prostřednictvím Výpočetního a informačního centra ČVUT. Výsledky simulace prostupu tepla konstrukcí při požáru můžete vidět na obr. 2 A. V numerickém modelu je také zohledněno částečné odtávání skla při vysokých teplotách. Odtavené sklo, které již nefiguruje v prostupu tepla konstrukcí je reprezentováno tmavě modrou plochou v levém dolním rohu (obr.2 B).



Obr. 2 (A) Výpočet teploty na povrchu konstrukce; (B) Tepelná mapa skleněného prvku
Fig. 2 (A) Calculation temperature on the construction surface; (B) Heatmap of glass element

POROVNÁNÍ, ZHODNOCENÍ

Na obr. 3 je vidět srovnání výstupních hodnot. Červeně jsou zobrazena výstupní data z numerického modelu, jedná se o výpočet průběhu teplot na odvráceném povrchu konstrukce. Tento průběh teplot je v grafu společně s dvěma průběhy teplot termočlánků, které byly získány experimentálně. Jedná se o termočlánky, které byly umístěny v okrajových částech zděné skleněné konstrukce. Tyto průběhy byly vybrány jako reprezentativní vzor představující hodnoty teplot povrchu konstrukce, jelikož musíme brát v potaz, že numerický model řeší prostup tepla pouze jako jednorozměrný problém, zatímco skutečný experiment nám poskytuje reálná data ve třech dimenzích.



Obr. 3 Srovnání výstupních dat z numerického modelu a experimentu
Fig. 3 Comparison of output data from numerical model and experiment

ZÁVĚR

Cílem vytvoření numerického modelu bylo dosažení stejných výsledků výpočetní simulací jako při experimentu. Graf, který je zobrazen na obr. 3, vystihuje dostatečnou shodu v porovnání s reprezentativními průběhy teplot termočlánků umístěných na povrchu konstrukce. Výsledný numerický model je tedy schopen s jistou přesností určit průběh teplot ve skleněném prvku bez nutnosti experimentální analýzy. Pro zvýšení přesnosti určení teplotních podmínek v celé konstrukci, by bylo vhodné zahrnout výskyt spár v konstrukci, které jsou stěžejní zejména pro stabilitu celé konstrukce. Dalším velkým tématem pro navazující výzkum by bylo již zmíněné odtávání skla, které je v numerickém modelu zahrnuto pouze zjednodušeně a není zcela v souladu s předpokládaným reálným chováním roztaveného skla. Závěrem by mělo být poukázáno na možnosti a sílu softwarových nástrojů, díky kterým můžeme získávat poměrně přesné výsledky v krátké časové době bez nutnosti nákladných a složitých experimentů.

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří především Ing. Zdeňku Sokolovi, Ph.D. za rady a pomoc při tvorbě této práce a také společnosti VITRABLOK s.r.o., pod jejíž záštitou se konal požární experiment v Duchcově.

LITERATURA

- [1] OIKONOMOPOULOU F., VEER F., NIJSSE R. a BAARDOLF K. *A completely transparent, adhesively bonded soda-lime glass block masonry system* [online]. Dostupné z: <https://content.iospress.com/articles/journal-of-facade-design-and-engineering/fde0021>
- [2] FANDERLÍK, Ivan. *Vlastnosti skel*. Praha: Informatorium, 1996. ISBN 978-80-85427-91-2

POKROČILÝ NÁVRH SPOJŮ S OCELOVÝMI PRVKY V DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍCH

ADVANCED DESIGN OF JOINTS WITH STEEL ELEMENTS IN TIMBER STRUCTURES

Bc. Kristýna Vopatová

Abstract

This article focuses on the design of wooden joints with inserted steel sheets for increasing load bearing capacity. Design of joints is described, taking into account the most common types of failures. One chapter deals with the fire resistance of wooden structures with a focus on the specifics of the design of joints with the inner steel plate. This article is the basis for the forthcoming experimental tests of the joints with inserted steel sheets connected by bolt fasteners in the University Center of Energy Efficient Buildings of the Czech Technical University (UCEEB).

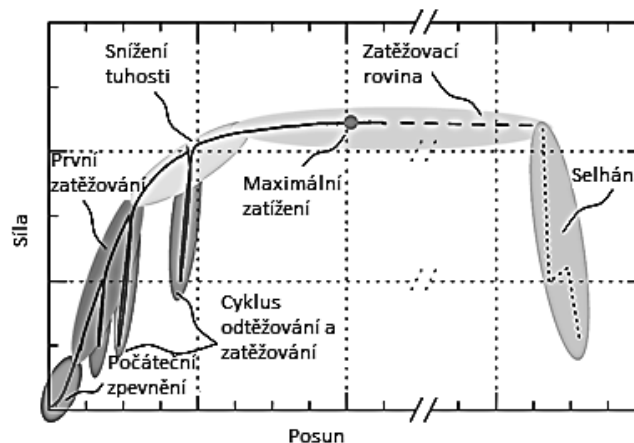
Key words: Timber structure; joint; steel plate; experiment; fire

ÚVOD

Článek je zaměřen na návrh dřevěných spojů s vkládanými ocelovými plechy, které vykazují oproti klasickým spojům výrazně vyšší únosnost. Jsou proto vhodné pro návrh výrazně namáhaných konstrukcí ze dřeva i na velká rozpětí. Takové spojení je označováno jako spoj typu „ocel-dřevo“ a využívá se zde vyšší pevnosti ocelového prvku oproti samotnému dřevěnému prvku. Cílem článku je přiblížení problematiky chování spojů typu „ocel-dřevo“, přispět k poznání chování těchto spojů, shromáždit a zdokonalit potřebné znalosti pro návrh těchto spojů.

MECHANISMUS PORUŠENÍ

Z již provedených studií byl stanoven mechanismus předpokládaného porušení spoje znázorněný na Obr. 1. V grafu je zaznamenána závislost hodnoty relativního posunutí mezi dřevěnými prvky a ocelovou vloženou deskou v závislosti na postupném zatěžování tahovou silou.



Obr. 1 Jednotlivé fáze závislosti posunutí na zatížení [1]
Fig. 1 Individual stages of load displacement [1]

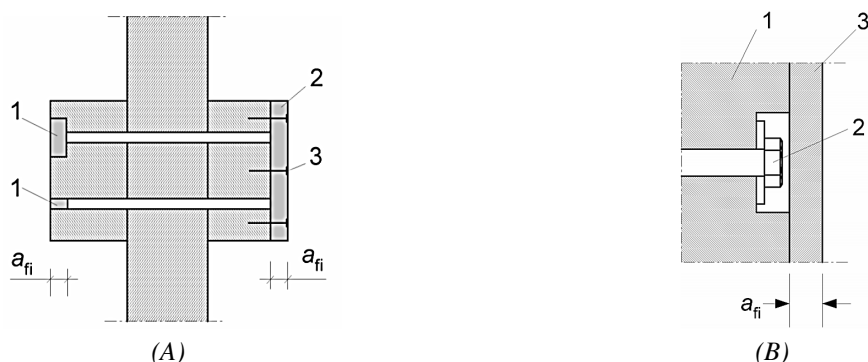
Provedené studie prokázaly velmi nízkou tuhost v počátku zatěžování, způsobenou pravděpodobně nedokonalým kontaktem mezi spojovacím prostředkem a dřevem. Následuje cyklus odtěžování a následného zvyšování zatížení, ve kterém tuhost výrazně převyšuje tuhost během fáze prvního zatěžování a projevuje se zde lineárně elastické chování materiálu. S dalším zatěžováním dochází ke snížení tuhosti

až do dosažení maximální únosnosti. Při dosažení pevnosti dřeva v tlaku se již projevují plastické deformace a ve svorníku se vytvoří plastický kloub v závislosti na jeho štíhlosti. Následné vodorovné fáze grafu u vzorků ze dřeva s vysokou hustotou nebylo dosaženo. Docházelo zde totiž často ke křehkému porušení dřeva a nebylo možné měřit zvětšení posunu. Naproti tomu u dřeva s nízkou hustotou posun rostl až na hodnoty 20 mm. V poslední etapě docházelo k selhání spoje lišícím se v závislosti na zatížení, hustotě dřeva, tření ve spoji a způsobu vyztužení. Taková selhání zpravidla nastávají bočním rozštěpením dřeva nebo ztrátou únosnosti smykovým namáháním [1].

POŽÁRNÍ NÁVRH SPOJŮ

Dřevo je z pohledu požární odolnosti z důvodu hořlavosti často podceňovaný materiál. Při působení vysokých teplot dřevo nejprve na povrchu vzplane a poměrně silně hoří do té doby, než se na jeho povrchu vytvoří zuhelnatělá vrstva dřevní hmoty, která vytváří ochranou izolační vrstvu a brání přístupu vzduchu do vnitřní části průřezu. Hloubka zuhelnatění je dána rychlostí zuhelnatění, která je závislá na druhu použitého dřeva a době působení požáru. Spoje „ocel-dřevo“ vykazují oproti spojům „dřevo-dřevo“ výrazně vyšší požární odolnost. Dosažení vysoké požární odolnosti styčnicků s vkládanými ocelovými deskami je zajištěno zejména díky ochraně ocelových prvků spojovanými dřevěnými prvky [2,3]. Požární odolnost příhradových nosníků se spoji s vnitřními ocelovými plechy byla ověřena na dřevěném příhradovém vazníku v akreditované zkušební laboratoři PAVUS, a.s. Veselí nad Lužnicí. Požární zkouškou byla na zvoleném vazníku prokázána požární odolnost R30 bez použití protipožární ochrany [4].

Pro svorníkové spoje je v normě [2] uveden požadavek na ochranu hlav svorníků ochranným materiálem o tloušťce a_{fi} viz *Obr. 2 (A)* a *Obr. 2 (B)*. V normě [2] jsou navíc uvedeny podmínky, zda spoj považovat za chráněný či nechráněný.



Obr. 2 (A) Detail ochrany svorníkové hlavy: 1. Vlepené zátky, 2. Dodatečná ochrana s použitím desek, 3. Spojovací prostředek připevňující desky zajišťující dodatečnou ochranu [2];

(B) Přibližný detail ochrany svorníkové hlavy: 1. Prvek; 2. Hlava svorníku; 3. Prvek ochrany [2]

Fig. 2 (A) Bolt protection shield detail: 1. Plugged plugs, 2. Additional plate protection,

3. Attachment plate attachment for additional protection [2];

(B) Closed Bolt Protection Detail: 1. Element; 2. Bolt head; 3. Protection element [2].

NÁVRH EXPERIMENTU

Praktickou část práce tvoří příprava na plánované experimentální zkoušky spojů s vkládanými ocelovými plechy spojené svorníkovými spojovacími prostředky v laboratoři Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT (UCEEB). Bude se jednat o zkoušky se zaměřením na únosnost navržených spojů při tahovém namáhání. Výstupy z experimentů budou následně použity pro vytvoření pokročilého modelu vzorku v softwaru ABAQUS pro výpočet únosnosti pomocí metody konečných prvků. Porovnáním výsledků z experimentů a numerické simulace bude ověřeno chování spojů s vkládanými ocelovými deskami.

V Tab. 1 jsou popsány rozměrové a materiálové charakteristiky osmi experimentálních vzorků navržených dle možností zkušebního zařízení. Dřevěné prvky budou zhotoveny z rostlého dřeva pevnostní třídy C24 a C30 a lepeného lamelového dřeva GL24h obdélníkového průřezu. V dřevěných prvcích budou předem vyřezány spáry šířky 8 mm pro vložení ocelového plechu tloušťky 6 mm. Hloubka výřezu bude o 5 mm větší než délka ocelového plechu, která se liší v závislosti na průměru spojovacího prostředku a jejich nutných roztečích. S ohledem na běžně používané spoje byla navržena ocel třídy pevnosti S355. Svorníky byly navrženy ve dvou variantách tedy průměru 16 mm a 20 mm s půlkulatou hlavou a částečným závitem. Rozteče jsou navrženy dle požadavků normy [5], kromě vzorků č. 7 a 8, kde byla navržena vyšší vzdálenost spojovacích prostředků.

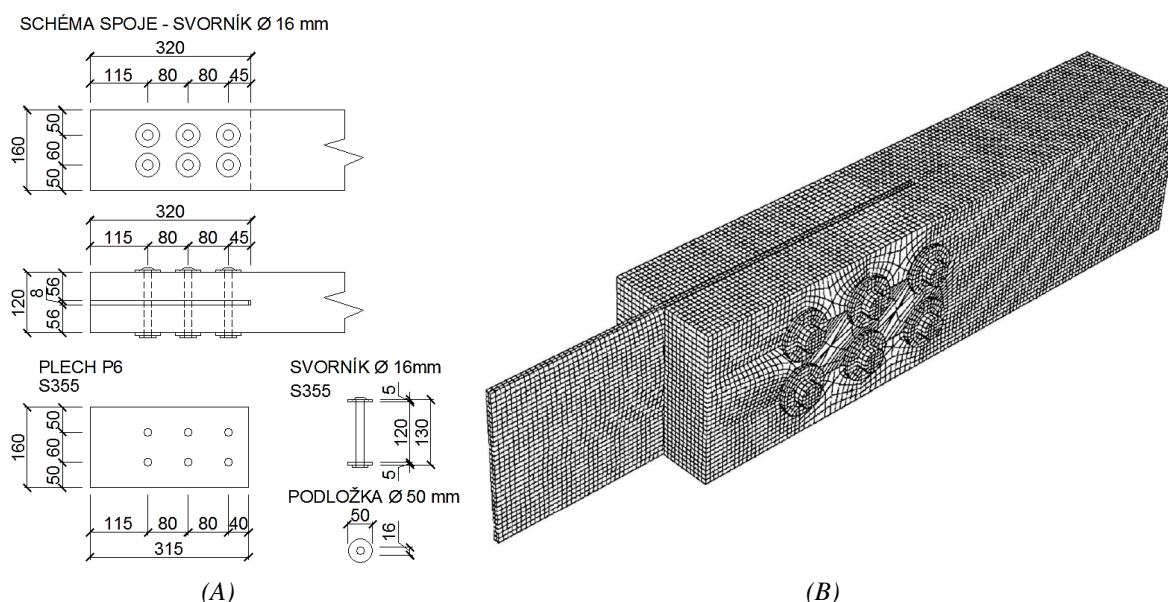
Tab. 1 Přehled parametrů experimentálních vzorků

Tab. 1 Overview of experimental specimen parameters

Vzorek	Třída pevnosti dřeva	Svorník	Tloušťka plechu [mm]	Rozteče a_1 [mm]
1	C24	M16	6	80
2	C30	M16	6	80
3	GL24h	M16	6	80
4	C24	M20	6	100
5	C30	M20	6	100
6	GL24h	M20	6	100
7	C30	M20	6	200
8	C30	M20	6	300

Poznámka: Svorníky jsou navrženy pevnostní třídy 8.8

Na Obr. 3 (A) je znázorněn první z navržených vzorků. V semestrální práci jsem se kromě návrhu samotných vzorků věnovala způsobu uchycení vzorku k hydraulickým válcům a kotevní patce zkušebního zařízení za pomoci speciálně vyrobených ocelových prvků. V softwaru ABAQUS byl vytvořen pokročilý MKP model, viz Obr. 3 (B), sloužícího pro numerickou simulaci deformací vlivem tahového namáhání spoje.



Obr. 3 (A) Schéma navrženého přípoje č. 1; (B) Model stejného vzorku ze softwaru ABAQUS
Fig. 3 (A) Diagram of the proposed joint n. 1; (B) Model of the same specimen from ABAQUS software

Před samotným zatěžováním bude nutné stanovit obsah vlhkosti zkušebních těles, vyjádřený jako procentní podíl hmotnosti vlhkosti v tělese před vysušením a vysušeného zkušebního tělesa [6]. Průběh zatěžování bude zvolen dle normy [7]. Zpočátku bude těleso zatíženo na 40 % předpokládané síly ve spoji a po snížení intenzity zatížení bude vzorek plynule zatěžován až do jeho porušení nebo dosažení hodnoty posunutí 15 mm [7].

Experimentálními zkouškám se věnovala i spousta zahraničních univerzit. Mechanické chování těchto typů bylo poprvé popsáno v publikaci K. W. Johansena [8]. Zde byly odlišeny tři různé způsoby selhání, ale nebylo zohledněno křehké porušení. Tato práce se stala základem pro sestavení návrhových evropských kódů [5] pro dřevěné konstrukce. Pro zjištění chování byl experimentálně i numericky zkoumán vliv tření. Dorn a kol. [1] se experimentálně zabývali chováním během zatěžování ve styku v každém zatěžovacím stádiu od počátečního formování styku dřeva a kolíku s přechodem z elastického na plastické chování s odpovídajícím snížením tuhosti. Kharouf a kol. [9] modelovali dřevěné prvky svorníkových spojů jako elastoplastický ortotropní a lineárně elastický ortotropní materiál se zaměřením na dosažení maximálního napětí jako kritérium selhání. Z těchto experimentů vyplynulo, že předvídané režimy selhání jsou v souladu s experimentálními pozorováními. Tuhost z numerického modelu však vyšla vyšší než experimentální, pravděpodobně z důvodu zanedbání smykového namáhání.

ZÁVĚR

V práci je popsán návrh a chování spoje s vkládanými ocelovými deskami při tahovém namáhání. Spoje vykazují relativně vysokou únosnost a jsou vhodné pro návrh i do míst se zvýšeným silovým namáháním. Z hlediska požární odolnosti je návrh spoje s vnitřními deskami mnohem výhodnější než spoje s deskami vnějšími, vzhledem k ochraně ocelové prvku dřevěnou konstrukcí.

PODĚKOVÁNÍ

Projekt spojený s experimenty vznikl za podpory grantu vypsaného Technologickou agenturou ČR TJ01000315, a proto bych tímto ráda poděkovala za možnost být součástí projektového týmu, účastnit se veškerých příprav na experiment a sbírat spoustu užitečných zkušeností.

LITERATURA

- [1] DORN, Michael, Karin DE BORST a Josef EBERHARDSTEINER. *Experiments on dowel-type timber connections*. Engineering Structures [online]. 2013, 47, 67-80 [cit. 2018-03-11]. DOI: 10.1016/j.engstruct.2012.09.010. ISSN 01410296.
- [2] ČSN EN 1995-1-2. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. 2006. Praha: ÚNMZ, 2006.
- [3] WALD, František. *Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03157-8.
- [4] MKD - *Dřevěné příhradové vazníky*. In: STŘECHY92 [online]. b.r., s. 18 [cit. 2018-03-08].
- [5] ČSN EN 1995-1-1. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. 2006. Praha: ÚNMZ, 2006.
- [6] ČSN EN 13183-1. *Vlhkost vzorku řeziva - Část 1: Stanovení vahovou metodou*. 2002. Praha: ÚNMZ, 2002.
- [7] ČSN EN 26891. *Dřevěné konstrukce. Spoje s mechanickými spojovacími prostředky: Všeobecné zásady pro zjišťování charakteristik únosnosti a přetvoření*. 1994. Praha: ÚNMZ, 1994.
- [8] JOHANSEN, K. W. *Theory of timber connections*. International association for bridge and structural engineering (IABSE). b.r., , 61949249–62.
- [9] KHAROUF, N., G. MCCLURE a I. SMITH. *Elasto-plastic modeling of wood bolted connections* [online]. 2003, 81(8-11), 747-754 [cit. 2018-04-08]. DOI: 10.1016/S0045-7949(02)00482-0. ISSN 00457949.

INFORMAČNÍ MODEL BUDOVY A POŽADAVKY NA DOKUMENTACI STAVBY Z POŽÁRNÍHO HLEDISKA

BUILDING INFORMATION MODELLING AND REQUIREMENTS FOR THE FIRE SAFETY DOCUMENTATION

Bc. Tereza Havlíčková

Abstract

The seminar paper focuses on building information modeling that can be used in fire safety. The first part consists of current state of the art of building information modeling, European and Czech implementation of building information modeling. Second part of the paper deals with a processing methodology of the fire safety in the apartment building for building information model.

Key words: Building information modeling; BIM; fire safety; apartment building; flowchart

ÚVOD

Práce pojednává o problematice informačního modelu budovy a jeho využití pro požárně bezpečnostního řešení. Popisuje informační model budovy, zavádění ve světě a v České republice. V rámci práce byla zpracována metodika požárně bezpečnostního řešení v typovém objektu bytového domu. Záměrem je, aby metodika sloužila pro začlenění požadavků požární bezpečnosti do informačního modelu.

INFORMAČNÍ MODEL BUDOVY

Informační model budovy (anglicky Building Information Modeling, zkráceně BIM) se skládá z digitálního modelu stavby, který reprezentuje fyzický a funkční objekt s jeho charakteristikami a databáze informací. V databázi informací nalezneme kompletní data od prvotního návrhu, přes výstavbu, správu budovy a případné změny dokončených staveb až po její demolici, včetně ekologické likvidace stavby a uvedení prostoru do původního stavu, tj. veškeré informace využitelné během celého životního cyklu stavby.

BIM není technologie, ale integrace informačních technologií, metoda kontroly procesu a změna přístupu. Ideálně do databáze přispívají svým dílem všichni účastníci stavebního procesu. Pro dosažení přínosu je třeba sdílet aktuální informace, které jsou potřebné pro ostatní účastníky stavebního procesu.

Základem informačního modelu budovy je společné datové prostředí (CDE – Common Data Environment), zahrnující veškeré informace. Tedy nejen 3D model a jeho negeometrická data, ale i všechny další dokumenty, komunikaci mezi účastníky projektu a jejich procesy v jednotlivých fázích životního cyklu stavby. [1]

V ČR od 1. 10. 2016 zákonem č. 134/2016 Sb., o zadávání veřejných zakázek umožněno zadavatelům specifikovat požadavek na zpracování projektu pomocí metodiky informačního modelu budovy. Poprvé se setkáváme s legislativním určením dat informačního modelu budov.

Vláda České republiky schválila 25. září 2017 Koncepti zavádění metody BIM v ČR, součástí koncepce je Plán postupného zavádění BIM ve stavební praxi v letech 2018–2027. Klíčový je rok 2022, kdy by měla být zavedena povinnost použití BIM pro nadlimitní veřejné zakázky na projektové a stavební práce financované z veřejných rozpočtů. Zpracovatelem koncepce je Ministerstvo průmyslu a obchodu ve spolupráci s Ministerstvem dopravy, Odbornou radou pro BIM.

V roce 2014 Evropská unie uznala užitečnost BIM pro veřejný sektor, neboť tato metoda pomáhá dosáhnout vyšší efektivity vynaložených prostředků a podporuje inovace. Je možné ji použít jako

nediskriminační prostředek pro podporu soutěže, transparentnosti a zajištění vyšší kvality ve veřejných zakázkách. Na přípravě nové směrnice 2014/24/EU se podílely státy, které v posledních letech zavedly informační modelování staveb povinně do veřejných zakázek. [2].

Norsko má ve svých požadavcích na zpracování veřejných zakázek využitím BIM modelu. Je zde kladen důraz na následné využití BIM modelu pro následnou správu budov a je tedy vyžadován model ve formátu IFC. Použití BIM není platné jen pro budovy, ale od roku 2012 také pro liniové stavby. V Norsku existuje řada BIM Guidelines obsahující popis obsahu modelu, který je v dané fázi projektu potřeba. Norsko spolupracuje s ostatními severskými zeměmi zejména přes alianci buildingSMART. V Statsbygg BIM manual 1-2-1 je věnována požární bezpečnosti podkapitola v kapitole Obory se specifickými požadavky. V Norsku požární specialista nemodeluje subjekty požární bezpečnosti, ale nastavuje požárně bezpečnostní požadavky pro ostatní profese, které je zahrnou do svého návrhu. Požadavky pro model jsou rozděleny na 3 stupně: koncepce, návrh a koordinovaný návrh + zadávání veřejných zakázek. A u každého požadavku se určuje, jestli je pro danou fázi povinný či doporučený, přičemž pokud se požadavek vyskytuje v předcházející fázi, v následující je povinný automaticky. V koncepci se hodnotí rozdělení do požárních úseků. V návrhu požadavky na požární vlastnosti konstrukcí a stavebních prvků a také únikové cesty. V koordinovaném návrhu se posuzuje nutnost zřízení SHZ. [3]

VÝVOJOVÝ DIAGRAM PRO POŽÁRNĚ BEZPEČNOSTNÍHO ŘEŠENÍ BYTOVÉHO DOMU

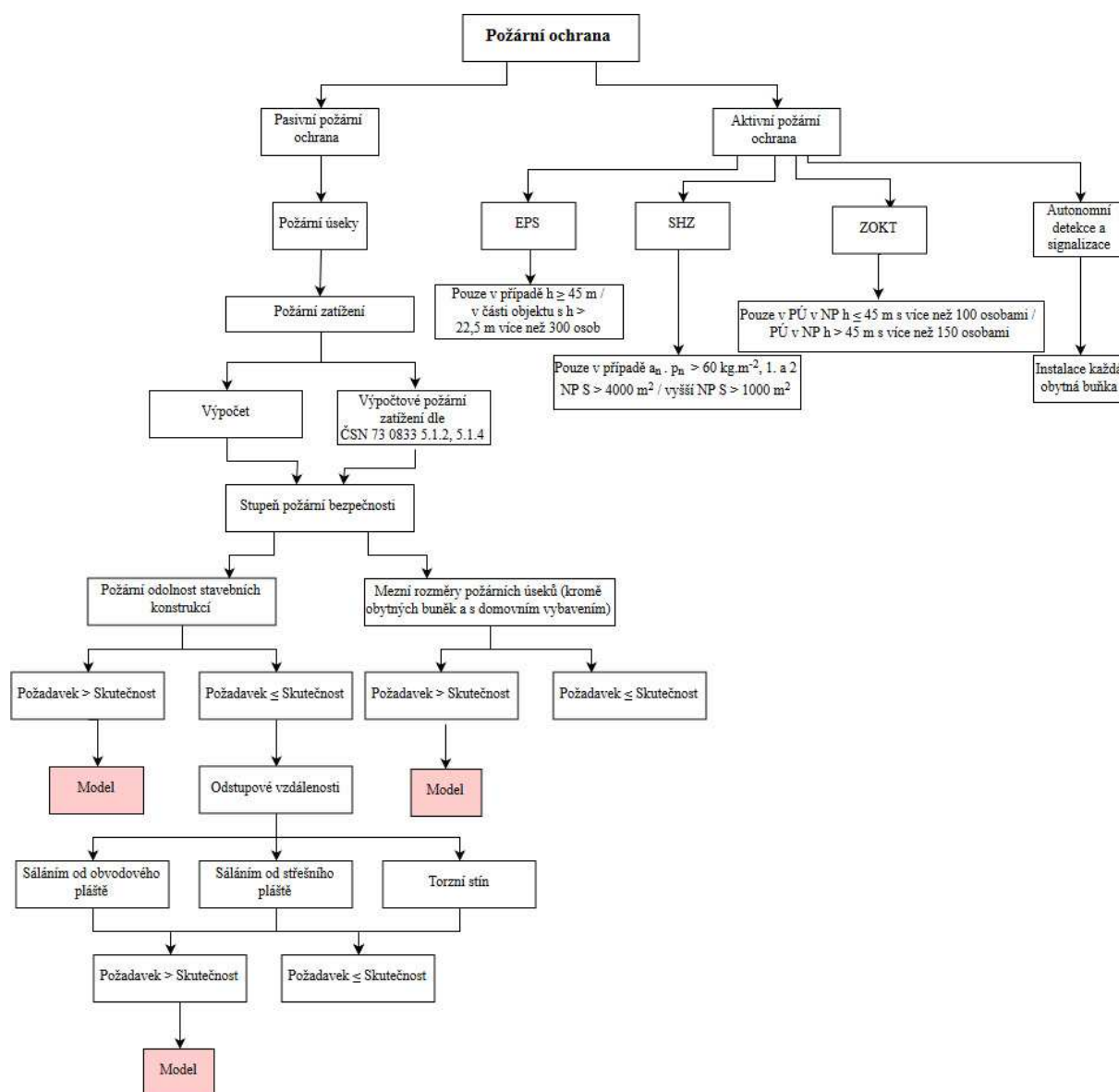
Záměrem je zpracovat metodiku pro možnost začlenění požadavků požární prevence do informačního modelu budovy. Na vývojovém diagramu je znázorněn postup pro požárně bezpečnostního řešení pro bytový dům. Výstupem by neměla být jen papírová projektová dokumentace jednotlivých projektantů, ale kompletní datový model použitelný po celou dobu životnosti objektu. Zásadní pro celý návrh je komunikace s dalšími profesemi a přímé sdílení dat. Požární specialista komunikuje a vstupuje do vývoje po celou dobu projektu. Propojenost s ostatními profesemi probíhá najednou a eliminují se tak vzniklé chyby, které by vznikaly nepředanými informacemi.

Z hlediska pasivní požární ochrany je objekt členěn na požární úseky na základě dispozičního řešení a provozů jednotlivých místností Obr. 1. Poté je vypočteno požární zatížení a stanoven stupeň požární bezpečnosti PÚ. Na základě této informace se stanovují požární odolnosti stavebních konstrukcí. Požární odolnosti prvků se musí zhodnotit na základě požadovaných vlastností se skutečnými vlastnostmi prvku. V případě nevyhovujících výsledků komunikace směřuje do centrálního modelu a konzultuje se jiné řešení např. prokázání dostačující odolnosti inženýrským přístupem nebo navržení jiné varianty konstrukce, která vyhoví. Pokud posuzované prvky vyhovují požadované požární odolnosti, tak se dále stanovují odstupové vzdálenosti od objektu vzhledem k okolním pozemkům a stavbám. Posouzení odstupových vzdáleností závisí na sálání od obvodových stěn, sálání od střešního pláště a na torzním stínu. V případě přesahu na okolní pozemky a objekty lze po domluvě s dalšími účastníky projektu navrhnout SHZ, nebo navrhnout jinou možné řešení situace.

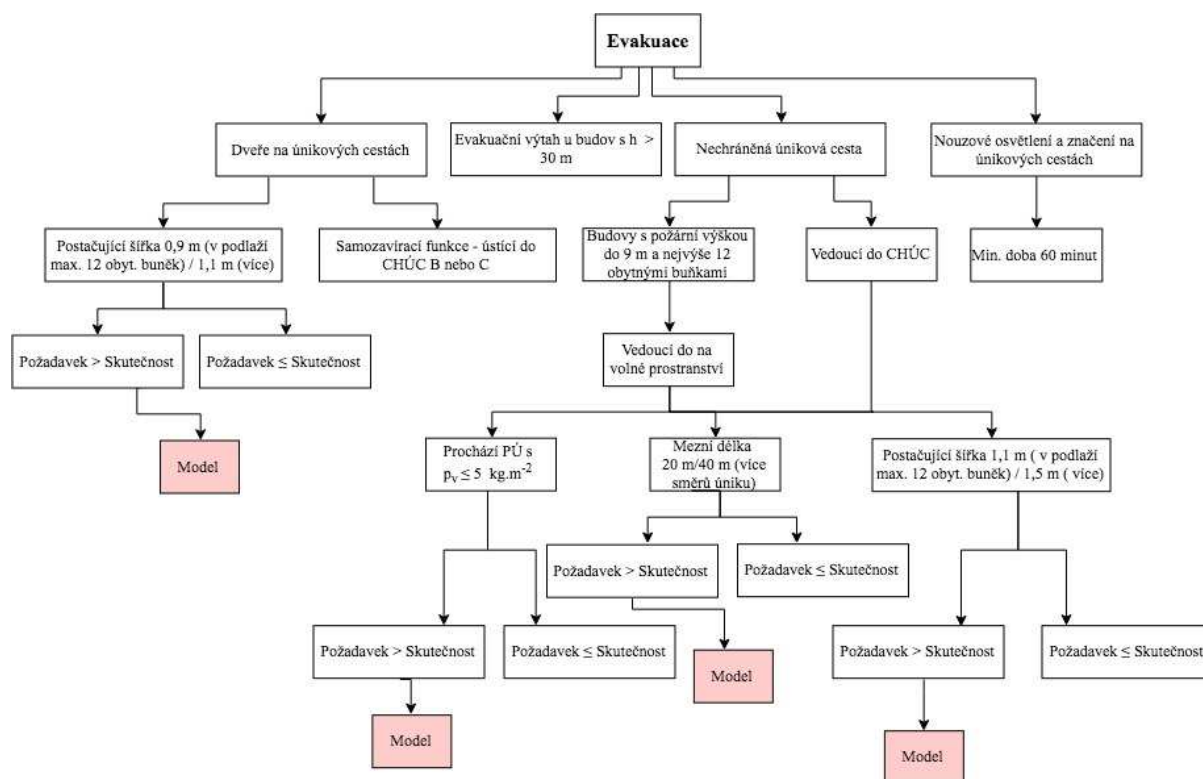
Požárně bezpečnostní zařízení musí být v bytovém domě zřízena jen v určitých případech obr. 1. Veškeré požárně bezpečnostní zařízení musí být konzultována s projektanty daných zařízení a musí mezi nimi být zaručena součinnost. Požadavek pro každý bytový dům je pouze na autonomní detekci a signalizaci v každé obytné buňce.

Jelikož se v bytovém domě vyskytuje mnoho osob, evakuace je klíčová v požárním návrhu. Evakuace je řešena na základě informací z centrálního modelu o obsazenosti osobami a dispozici objektu. Vhodné možnosti úniku z objektu jsou řešeny navržením chráněných nebo nechráněných únikových cest. Vzhledem k druhu ÚC jsou stanoveny podmínky, které musí být splněny. Také musí být ověřeny požadavky na dveře na únikových cestách. V případě nesplnění těchto podmínek se návrh vrací do modelu, kde se hledá lepší řešení pro splnění požadavků na únikové cesty. Na všech únikových cestách musí být zřízeno nouzové osvětlení s funkčností 60 minut. U budov nad 30 m požární výšky je nutné objekt opatřit evakuačním výtahem.

Při vzniku požáru je třeba zajistit dobrý přístup vozidlům požární ochrany k objektu, takže je třeba zhodnotit možnost požárního zásahu. K objektu musí být zajištěna přístupová komunikace splňující požadavky na dostatečnou průjezdnou šířku. Dále musí být posouzena nutnost zřízení nástupní plochy, vnitřních a vnějších zásahových cest, kdy záleží na požární výšce, ploše objektu a zřízených požárně bezpečnostních zařízeních. V bytovém domě, kde se nachází více než 20 osob je požadavek na navržení vnitřního odběrného místa, vnější odběrné místo se musí navrhovat vždy. Do prvků v modelu je nutné zanést i údaje o kapacitě, průtoku a tlaku potrubí. Zásobování objektu požární vodou je zapotřebí v modelu konzultovat s profesemi, které řeší vodovodní přípojky v objektu a napojení na vnější vodovodní síť. Dále navrhne vhodný typ a počet přenosných hasicích přístrojů.



Obr. 1 Aktivní a pasivní systémy požární ochrany
Fig. 1 Active and passive fire protection systems



Obr. 2 Evakuace
Fig. 2 Evacuation

ZÁVĚR

Práce je zaměřena na požárně bezpečnostní řešení v informačním modelu budovy. Zaměřila jsem se na postupnou implementaci informačního modelu v ČR a v zahraničí, kde už je často jeho využívání standardem. Dále jsem zpracovala metodiku požárně bezpečnostního řešení v typovém objektu bytového domu. Na vývojovém diagramu jsem popsala požadavky požární bezpečnosti a jejich začlenění do informačního modelu budovy.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji prof. Ing Františku Waldovi, CSc. za odborné vedení práce.

LITERATURA

- [1] MINISTERSTVO OBCHODU A PRŮMYSLU. *Koncepce zavádění metody BIM v České republice*. Česká republika, 2017.
- [2] ODBORNÁ RADA PRO BIM. *Návaznost informačního modelování budov (BIM) na směrnici Evropského parlamentu a rady 2014/24/EU o zadávání veřejných zakázek a o zrušení směrnice 2004/18/ES* [online]. 2014 [cit. 2.4.2018]. Dostupné z: https://issuu.com/czbim/docs/czbim_komentar-smernice_2014-24-eu
- [3] STATSBYGG. *Statsbygg BIM manual 1-2-1* [online]. Oslo: 2013 [cit. 7.5.2018]. Dostupné z: <http://www.statsbygg.no/Files/publikasjoner/manualer/StatsbyggBIM-manual-ver1-2-1-eng-2013-12-17.pdf>

PROTIVÝBUCHOVÁ OPATŘENÍ A PROTIVÝBUCHOVÝ DEFLEKTOR**EXPLOSION PREVENTION AND BLAST DEFLECTOR****Bc. Patrik Král****Abstract**

The article discusses the issue of current blast protection and justifies the need of development of a blast deflector (an analogy of jet blast deflector) for a wide use in industry. A device that would be directly built on existing elements of blast protection and would be able to deflect (divert) the flow of hot particles released from an object during an explosion. There are also described legislative requirements and possibilities of numerical modelling of such issue.

Key words: blast deflector; blast protection; ATEX; explosion; explosion vent; deflagration; detonation

ÚVOD

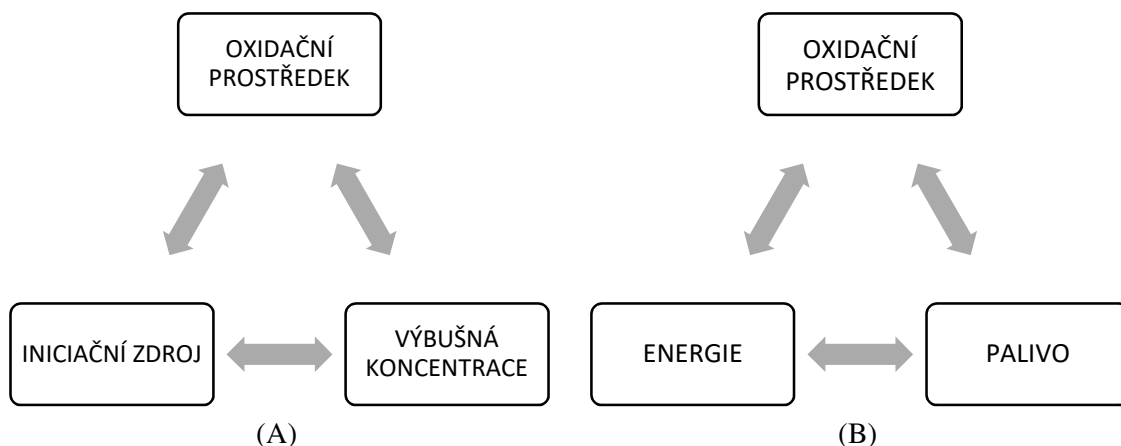
V posledních letech můžeme pozorovat stále větší tlak na požární prevenci staveb. V kontrastu s tím se ale mnohdy opomíjí prevence protivýbuchová, případně opatření snižující následky výbuchu. To možná souvisí i s daty ve Statistické ročence HZS 2015 [1], dle které v České republice v roce 2015 jen 0,07 % požárů (17 incidentů) vzniklo vlivem výbuchu. Požárů, které nevznikly vlivem výbuchu, je zkrátka mnohem více, a snáze se tak dostávají do povědomí lidí. Nesmíme však hledět pouze na absolutní počty požárů způsobených výbuchem. Porovnáme-li totiž podíl způsobené škody požáry vzniklými výbuchem, dostáváme se už na nezanedbatelných 26,39 % z celkových přímých škod způsobených požáry. Je tedy na místě zabývat se účinnější protivýbuchovou ochranou.

SOUČASNÁ PROTIVÝBUCHOVÁ OPATŘENÍ

Výbuchy podle jejich charakteru dělíme na jaderné, fyzikální a chemické. Při jaderném výbuchu dochází k uvolnění energie vlivem přeměny atomových jader (ať již slučováním jader – fúzí, či jejich rozpadem). Proti tomuto typu výbuchu se dá jen stěží chránit klasickými protivýbuchovými opatřeními. Fyzikální výbuch se projevuje uvolněním energie získané ze změny fáze (např. skupenství) nebo hybridnosti. Při tomto typu výbuchu se nemění podstata látky. Nejčastějším protivýbuchovým opatřením je v tomto případě dostatečně robustní konstrukce (s velkou pevnostní odolností). Stěžejním typem výbuchu, pro který je vhodný návrh protivýbuchového deflektoru, je výbuch chemický. V tomto případě se energie uvolňuje během chemické reakce (tedy odpovídající změnou vazeb mezi atomy). V závislosti na rychlosti děje (šíření účinků výbuchu vůči vnějšímu pozorovateli) se chemický výbuch dále dělí na rychlé či explozivní hoření (deflagraci) a na detonaci.

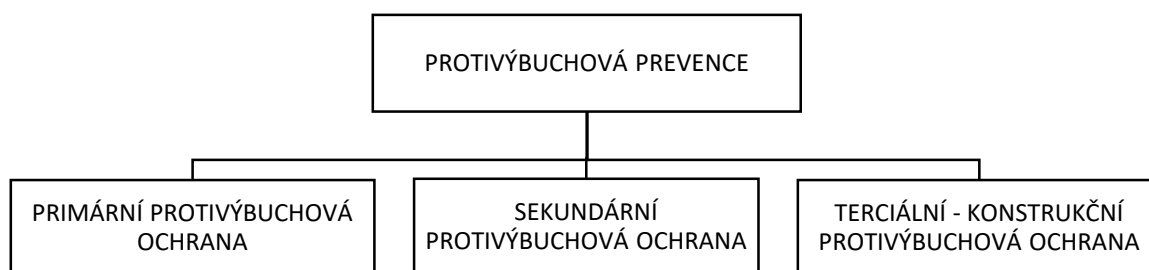
Detonace dosahuje rychlostí i vyšších než $1000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a v čele tlakového pole je rázová vlna (průběh tlakové funkce není spojitý – má diskontinuitu) [2]. Nemá příčinu v klasickém oxidačním ději, kdy látka reaguje se vzdušným kyslíkem (oxidační děj v rámci samotné trhaviny však není vyloučen), ale dochází k prudké reakci v rámci chemického složení výbušniny (trhaviny). Detonace je nezávislá na okolní atmosféře, a není tedy možné v tomto případě využít primární protivýbuchové ochrany (viz obrázek 2). Detonace je typická zejména pro zbrojní průmysl.

Rychlé či explozivní hoření (deflagrace) se vyznačuje rychlostmi do desítek $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ a nízkými tlaky (od nepatrného přetlaku až do několika MPa) [2]. Toto je nejčastější typ chemického výbuchu v průmyslovém prostředí. Proto je pro náš záměr stěžejní právě tato reakce. Stejně jako při hoření je nejčastější příčinou tohoto projevu oxidační děj (viz obrázek 1).



Obr. 1 Trojúhelník výbuchu (A) jako obdoba trojúhelníku hoření (B)
 Fig. 1 A triangle of explosion (A) as an analogy of a triangle of combustion (B)

Klasická protivýbuchová ochrana se zaměřuje zejména na ochranu před explosivním hořením. Tuto ochranu obecně dělíme do tří základních skupin (viz obrázek 1).



Obr. 2 Schéma základního dělení protivýbuchové ochrany
 Fig. 2 Scheme of basic division of explosion protection

Primární protivýbuchová ochrana má za cíl předejít vzniku explosivní atmosféry. V praxi se často setkáváme s inertizací atmosféry pomocí N_2 , CO_2 apod.. V prostředí s výskytem prachových disperzí se někdy využívá toho, že přidáním určitého množství inertního prachu se celá směs inertizuje. V Petrochemickém průmyslu se můžeme setkat s plovoucími (pontonovými) víky nádrží, pod kterými se nenachází žádné plyny, a není tak možné, aby vznikla explosivní atmosféra.

Sekundární ochrana se zaměřuje na odebrání iniciačních zdrojů (energetických zdrojů, které by mohly vyvolat reakci – výbuch). Takovými zdroji mohou být elektrická či mechanická jiskra, tepelný zdroj nebo zdroj vysokoenergetického záření. Častým opatřením je tedy např. uzemnění všech kovových částí.

Terciální protivýbuchová ochrana, někdy také nazývaná jako konstrukční ochrana, nastupuje tehdy, dojde-li k výbuchu. V rámci konstrukční ochrany rozlišujeme ochranu v podobě tlakově odolné konstrukce, potlačení výbuchu a odlehčení výbuchu. První dva principy jsou finančně poměrně nákladné, a proto se nejčastěji přistupuje k odlehčení výbuchu. Na tomto principu fungují membrány pro uvolnění tlaku při výbuchu (explosion vents) nebo prachové filtry. Často se ale tyto prvky umísťují tak, že vyúsťují do prostor, kde se běžně nacházejí osoby či jiný objekt (viz obrázek 3). V takovém případě by pomohl protivýbuchový deflektor, který by odvrátil uvolněné žhavé částice mimo prostory, kde by mohly někoho ohrozit.



Obr. 3 Nevhodný návrh prvků pro uvolnění tlaku při výbuchu (vhodné místo pro návrh deflektoru)
 Fig. 3 Improper design of blast vent elements (advisable place for deflector design)

LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY

Na rozdíl od požární ochrany, kterou zastřešuje Ministerstvo vnitra, konkrétně Hasičský záchranný sbor, protivýbuchovou ochranu zastřešuje Ministerstvo práce a sociálních věcí, jehož kontrolním orgánem v této oblasti je Inspektorát práce. Legislativní požadavky musí totiž zajistit zaměstnavatel. Primární je v tomto případě ochrana zaměstnanců.

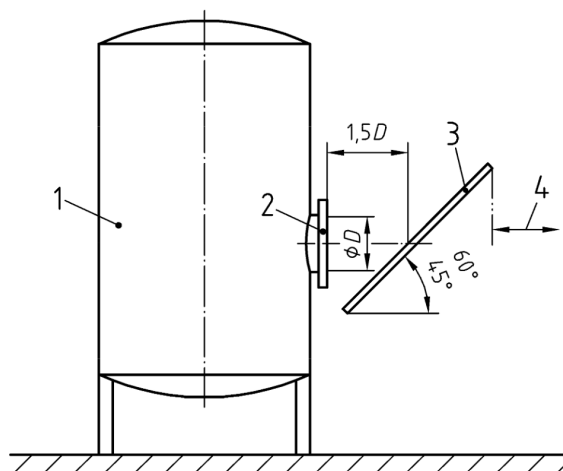
V oblasti protivýbuchové prevence a ochrany figuruje značné množství předpisů. Zde jsou vypsány některé citace těchto předpisů, které do určité míry ukládají povinnost navrhnout a aplikovat protivýbuchový deflektor nebo řešit protivýbuchovou ochranu takovým způsobem, aby nedošlo k újmě na zdraví a majetku v případě, že dojde k výbuchu.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/104/ES [3], příloha I. odstavec 2.7 říká: „Pokud existuje nebezpečí prasknutí nebo zlomení části pracovního zařízení, které by mohlo značně ohrozit bezpečnost nebo zdraví zaměstnanců, musí být přijata vhodná ochranná opatření.“ Takovým vhodným opatření tedy není např. membrána pro uvolnění tlaku, která by mířila do prostor, kde se také mohou vykytovat zaměstnanci, příp. na jiný objekt, který by tím mohl být poškozen, a jeho poškození by mohlo ohrozit další zaměstnance.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/34/EU [4] (ATEX 114 / Nařízení vlády č. 116/2016 Sb.), příloha II. odstavec 1.2.7 praví: „Zařízení a ochranné systémy musí být navrženy a vyrobeny tak, aby bylo vyloučeno fyzické poranění nebo jiná újma, které by mohly být způsobeny přímým nebo nepřímým stykem; aby bylo zajištěno, že za předvídatelných podmínek přetížení nevzniknou nebezpečné situace.“ Návrh prvků pro uvolnění tlaku, které by směřovaly do prostor, kde se nacházejí osoby nebo jiné objekty, tak zřetelně porušuje zmíněný odstavec směrnice. Tomu by se dalo zabránit právě aplikací protivýbuchového deflektoru.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/34/EU [4] (ATEX 114 / Nařízení vlády č. 116/2016 Sb.), příloha II. odstavec 3.1.5 dále zmiňuje: „Systémy pro uvolnění tlaku: Je-li pravděpodobné, že namáhání ochranných systémů překročí jejich konstrukční pevnost, musí být v návrhu použita vhodná zařízení pro uvolnění tlaku, která neohrozí osoby v nejbližším okolí.“ V případě použití protivýbuchového deflektoru by byly osoby fyzicky chráněny, a zařízení by tedy vyhovovalo směrnici.

Protivýbuchový deflektor také popisuje norma ČSN EN 14994 [5] (příp. evropská verze EN 14994) jako možný prvek pro zvýšení bezpečnosti a účinnosti protivýbuchové ochrany. Norma mimo jiné naznačuje možný návrh takového deflektoru (viz obrázek 4).

**Key**

- 1 protected enclosure
- 2 explosion venting device
- 3 strongly mounted deflector plate
- 4 safety distance

Obr. 4 Návrh protivýbuchového deflektoru (základní principy) [5]

Fig. 4 Design of a blast deflector plate (basic principles) [5]

ZÁVĚR

Z legislativních požadavků na protivýbuchová opatření jednoznačně plyne, že je nezbytné vyvinout prvek, který by navazoval na stávající protivýbuchová opatření a chránil osoby v případě uvolnění tlaku při výbuchu. Prvek, který by odvrátil proud žhavých částic z rizikové oblasti – protivýbuchový deflektor. Takový prvek by bylo možné navrhnout a posoudit pomocí dostupných CFD řešičů – např. LS-Dyna či ANSYS Fluent.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji zejména společnosti ELSA Consulting s.r.o. za poskytnutí zdrojů a odbornosti pro vypracování analýzy současných protivýbuchových opatření.

LITERATURA

- [1] MINISTERSTVO VNITRA - GENERÁLNÍ ŘEDITELSTVÍ HASIČSKÉHO ZÁCHRANNÉHO SBORU ČESKÉ REPUBLIKY. *Statistická ročenka 2015 Česká republika*. 2016
- [2] KRAVCOV, Aleksandr Nikolajevič a Petr PROCHÁZKA. *Shock waves as a main destructive dynamical loading of structures*. Prague: Czech Technical University, 2010. ISBN 978-80-01-04697-5.
- [3] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/104/ES* [online]. 16. září 2009. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32009L0104>
- [4] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/34/EU* [online]. 28. únor 2014. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/En/TXT/?uri=CELEX:32014L0034>
- [5] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. *ČSN EN 14994 (38 9684) - Ochranné systémy pro odlehčení výbuchu plynu*. B.m.: ÚNMZ. Říjen 2007

POSUZOVÁNÍ POŽÁRNÍ ODOLNOSTI BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ S VYUŽITÍM RŮZNÝCH MODELŮ POŽÁRU

ASSESSMENT OF FIRE RESISTANCE OF CONCRETE STRUCTURES WITH THE USE OF DIFFERENT FIRE MODELS

Bc. Tomáš Lánský

Abstract

This text deals with the design of fire models and fire design of concrete structures. One of the main questions is: How different could be resulting load capacity for cases of different fire models? The first part of the article describes fire models and the second part deals with the assessment of fire resistance of the reinforced concrete slab with the use of different fire models.

Key words: Fire resistance; fire models; concrete structures; reinforced concrete slab; load capacity

ÚVOD

Současné případy požárů nám připomínají, jak je důležité se problematice posuzování požární odolnosti podrobněji věnovat. Vznik, šíření a průběh požáru ve stavebním objektu jsou ovlivněny mnoha faktory stejně tak i chování nosné konstrukce. Dnešní doba nabízí více variant, jakým způsobem modelovat požár a konstrukci při požáru. Zásadní otázkou však zůstává, kdy a jakou metodu použít, tak aby se dosažené výsledky co možná nejvíce blížily reálné situaci a zároveň byly cenově a časově dostupné.

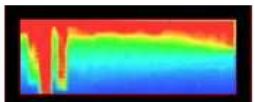




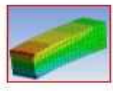



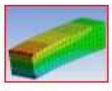

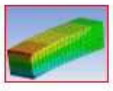



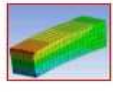


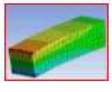

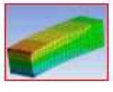
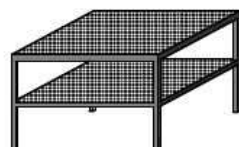
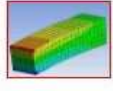
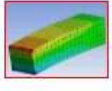

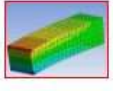
MODELOVÁNÍ POŽÁRU V UZAVŘENÉM PROSTORU





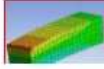
Modely požáru v uzavřeném prostoru se člení na dvě základní kategorie – *fyzikální modely a matematické modely*. Smyslem *fyzikálních modelů* požáru je napodobení požáru za zjednodušených fyzikálních podmínek. Rozměry těchto modelů jsou velmi rozmanité. Velkorozměrové zkoušky sice nejvíce napodobují průběhu požáru v reálných podmínkách, jejich hlavní nevýhodou je značná náročnost a složitost při sestavování a v neposlední řadě pak jejich cena, tyto nevýhody mohou být příčinou jejich neproveditelnost. *Matematické modely* naopak využívají předností výpočetní techniky a řeší jednotlivé požární scénáře pomocí souboru rovnic, které popisují chování fyzikálních soustav za požáru. Mezi fyzikálními a matematickými modely lze nalézt určitou provázanost a možnost doplňování sledovaných veličin a vztahů [1].

MODEL KONSTRUKCE A METODY PRO POSOUZENÍ JEJÍ ÚNOSNOSTI

Pro navržení konstrukce na účinky požáru lze rozlišit několik základních přístupů, které se liší svou přesností, komplexností a složitostí. Důležitým faktorem, který ovlivňuje použitelnost a přesnost dosažených výsledků je právě volba návrhového přístupu. Jednotlivé metody jsou vypsány zde vzestupně dle jejich přesnosti a složitosti: Návrh založený na normalizovaných zkouškách požární odolnosti, tabulkové hodnoty, zjednodušené výpočetní metody, zpřesněné výpočetní metody, požární zkoušky celé konstrukce.

Před samotným výpočtem a posouzením požární odolnosti je potřeba se zamyslet nad tím, jaký bude zvolen model konstrukce. Jestli například pro výpočet únosnosti konstrukce je dostačující posoudit jednotlivé konstrukční prvky, nebo je zapotřebí sledovat chování konstrukce jako celku. Možné využití jednotlivých metod pro posuzování požární odolnosti konstrukcí v souvislosti s modelem konstrukce a způsobem modelování požáru v daném prostoru znázorňuje Obr. 1 [2].

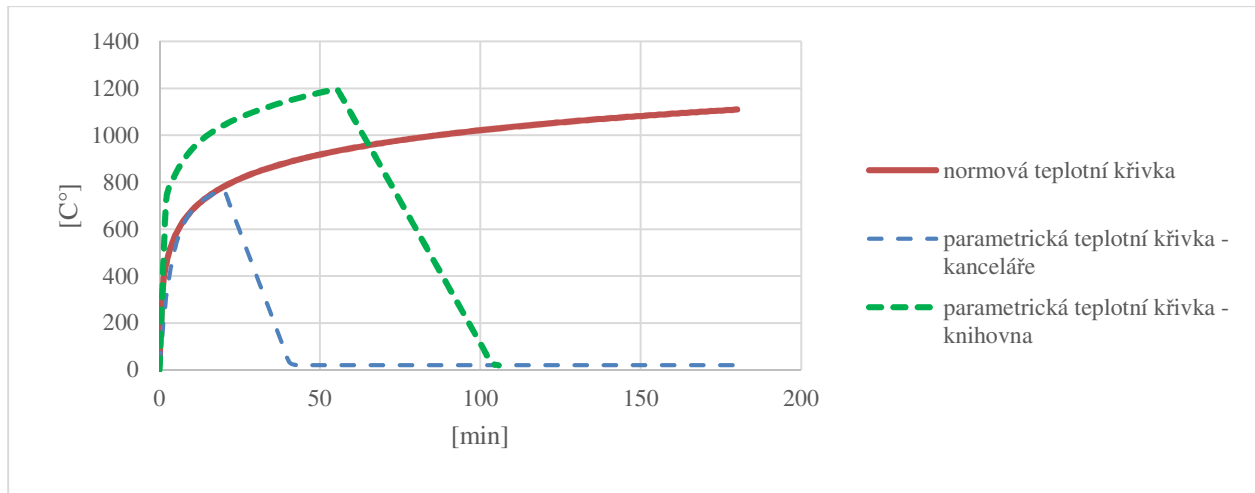
MODEL POŽÁRU MODEL KONSTRUKCE	Rovnoměrné rozložení teploty v požárním úseku		Nerovnoměrné rozložení teploty v požárním úseku 
	nominální křivky	parametrické křivky	
konstrukční prvek 	   	  ?  	 
část konstrukce 	 ?  ? 	 ?  ? 	 
celá konstrukce 			 

	požární zkoušky		možné v budoucnu ?
	tabulkové hodnoty		
	zjednodušené metody		
	zpřesněné metody		

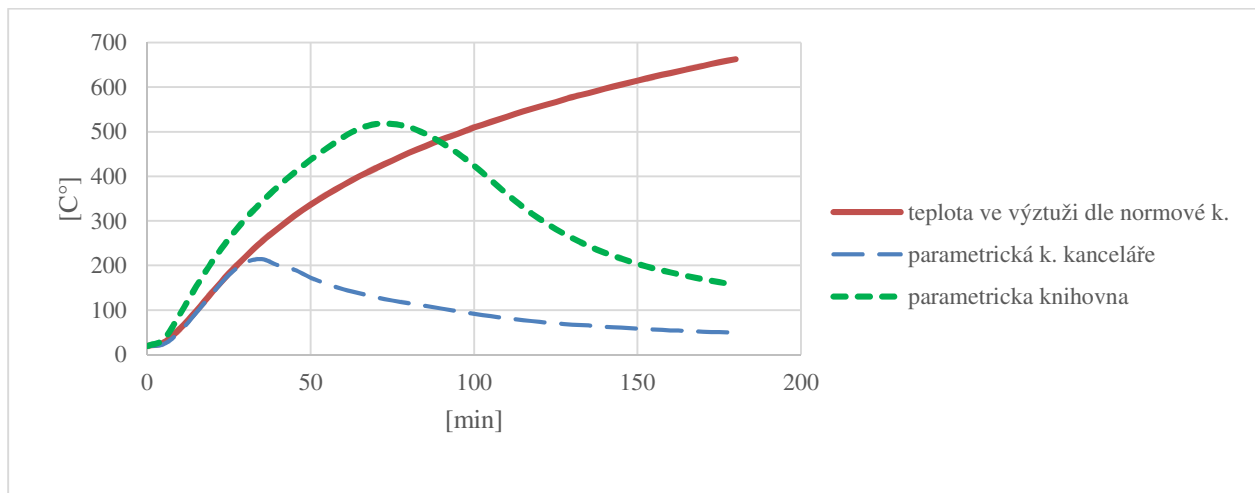
Obr. 1 Možné využití návrhových metod pro různé kombinace návrhových přístupů
 Fig. 1 Possible use of design methods for different combinations of design approaches

ANALÝZA MOMENTU ÚNOSNOSTI ŽB DESKY PŘI POŽÁRU

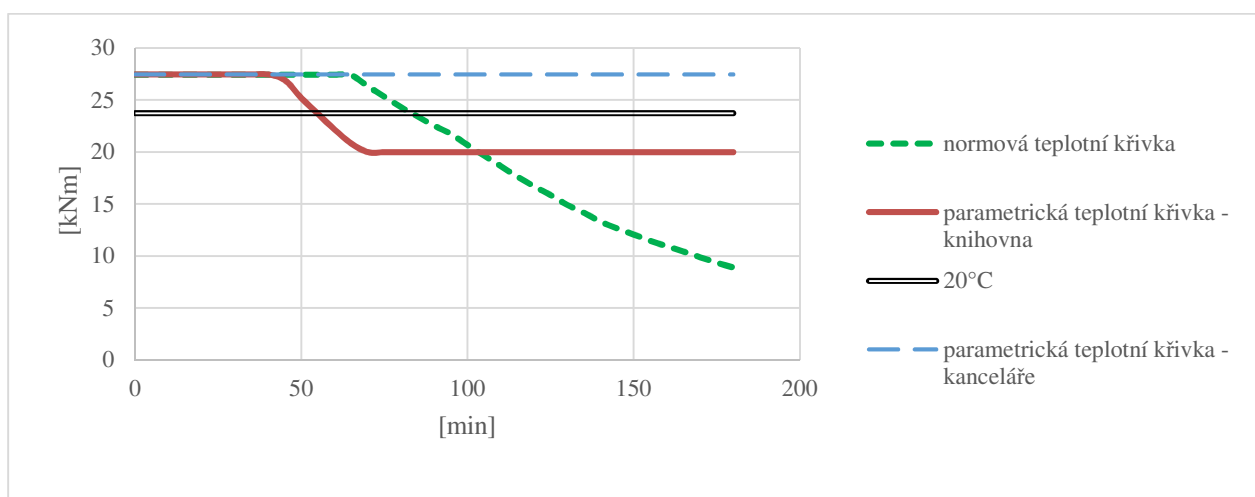
Výpočet únosnosti monolitické ŽB desky proběhl pro dva různé modely požáru. Jako příklad byly vytvořeny reprezentativní požární úseky, které jsou rozměrově i konstrukčně stejné a liší se pouze provozem (knihovna + kanceláře). V těchto požárních úsecích je popsán průběh teploty plynu pomocí dvou zjednodušených modelů – normové teplotní křivky a parametrické teplotní křivky. Následně je zjednodušenou výpočetní metodou – metodou izotermie 500 °C proveden výpočet momentu únosnosti v každých 5 minutách požáru, jak v případě normové, tak i parametrické teplotní křivky. Grafy uvedené níže znázorňují výsledné průběhy teploty plynu v PÚ (Obr. 2), vypočtené teploty v těžišti výztužných prutů (Obr. 3) a momenty únosnosti (Obr. 4).



Obr. 2 Průběh teploty plynu
Fig. 2 Gas temperature course



Obr. 3 Průběh teploty v těžišti výztužných prutů
Fig. 3 The course of the temperature in the gravity centre of the reinforcement bars



Obr. 4 Průběh únosnosti ŽB desky při požáru
Fig. 4 Load capacity of the reinforced concrete slab during fire

ZÁVĚR

Pro posouzení PO konstrukce je nejdříve třeba získat potřebné údaje o konstrukci, průběhu teploty v jejím okolí a uvnitř konstrukce samotné. V dnešní době je na rozdíl od minulosti dostupná celá řada možností, jakým způsobem modelovat požár, konstrukci a jakým způsobem přistoupit k jejímu posouzení. Volba různých kombinací těchto postupů vede zpravidla k odlišným výsledkům. To, jaký přístup je pro posouzení zvolen, hraje významnou roli.

Praktická část této práce ukazuje, že i když se o normové teplotní křivce mluví jako o „konzervativní“, mohou nastat případy, kdy je v určité chvíli právě tato křivka v souvislosti s výpočtem únosnosti ŽB průřezu konzervativní méně než jiný přístup. Srovnání momentu únosnosti ŽB desky v PÚ knihovny, kde byla teplota plynu modelována normovou a parametrickou teplotní křivkou je toho příkladem.

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří panu Ing. Radku Štefanovi, Ph.D. a panu Ing. Martinu Benýškovi za poskytnuté informace a odborné konzultace.

LITERATURA

- [1] KUČERA, Petr a Zdeňka PEZDOVÁ. *Základy matematického modelování požáru*. Ostrava : SPBI, 2010.
- [2] *Fire desing of concrete structures - materials, structures and modeling (Bulletin 38)*. Lausanne : fib, 2007.

VLIV PARAMETRU ODVĚTRÁNÍ PŘI VÝPOČTU POŽÁRNÍHO RIZIKA A VLIV ODVĚTRÁNÍ PŘI NUMERICKÉ SIMULACI POŽÁRU

THE INFLUENCE OF VENTILATION PARAMETER IN FIRE LOAD CALCULATION AND THE INFLUENCE OF VENTILATION IN NUMERICAL SIMULATION DURING FIRE

Bc. Viktor Marks

Abstract

The subject of this paper is to describe the effect of the ventilation parameter on the calculation of fire load. The theoretical part of this paper describes the calculation of the equivalent duration of fire in production facility (according to ČSN 73 0804). Attention is focused mainly to the ventilation parameter and the possibility of more detailed calculation than provided by the Czech fire code. In the practical part an analysis is made of the influence of the location of the opening when calculating the equivalent duration of fire.

Key words: Ventilation parameter; influence of openings; equivalent duration of fire, ventilation, opening location

ÚVOD

Ekvivalentní doba trvání požáru je základní hodnotou pro určení stupně požární bezpečnosti požárního úseku, ze kterého se dále určují požadované požární odolnosti konstrukcí a další požadavky při tvorbě projektové dokumentace požárně bezpečnostního řešení. Správné určení má zásadní dopad na projekční a ekonomickou stránku projektu. Jedním ze vstupních parametrů pro její výpočet je parametr odvětrání. Hlavní roli při určení tohoto součinitele hraje množství, umístění a typ výplně otvorů.

Umístění otvorů může mít za následek změnu parametrů při požáru. Při běžném výpočtu dle ČSN 73 0804 [1] se tento jev zanedbává, ale je možné ho započítat při přesnějším výpočtu součinitelem k_{21} , k_{22} . Jedná se o jeden z možných prostředků jak zpřesnit výpočet parametru odvětrání.

VÝPOČET POŽÁRNÍHO RIZIKA PRO VÝROBNÍ OBJEKT

Požární riziko vyjadřuje pravděpodobnou intenzitu požáru v požárním úseku. Je určeno ekvivalentní dobou trvání požáru. Závisí zejména na množství a druhu hořlavých látek, rychlosti jejich odhořívání, účinnosti požárně bezpečnostních zařízení a tepelně technických vlastnostech konstrukcí ohraničující požární úsek [1].

Ekvivalentní doba trvání požáru vyjadřuje dobu trvání požáru, během které by požár probíhal podle normové teplotní křivky a vyvolal by v konstrukci stejné účinky jako plně rozvinutý požár. Ekvivalentní doba trvání požáru τ_e se zjednodušeným postupem určí podle rovnice [1]:

$$\tau_e = \frac{2 p \cdot c}{k_3 \cdot F_o^{1/6}} \quad [\text{min}] \quad (1)$$

kde: p je požární zatížení v $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$
 c součinitel vyjadřující vliv požárně bezpečnostních zařízení a opatření
 k_3 součinitel vyjadřuje podíl plochy ohraničujících konstrukcí PÚ a plochy PÚ
 F_o parametr odvětrání v $\text{m}^{1/2}$

PARAMETR ODVĚTRÁNÍ F_o

Parametr odvětrávání F_o má svůj základ v rovnicích energetické rovnováhy, a nejmýrněji charakterizuje podmínky požáru řízeného přístupem kyslíku [2]. Jeho velikost je závislá na množství a velikosti otvorů v požárním úseku. Je stanoven rovnicí:

$$F_o = \frac{\sum_{i=1}^j S_{oi} \cdot h_{oi}^{1/2}}{S_k} \quad [\text{m}^{1/2}] \quad (2)$$

kde: $S_{oi} \cdot h_{oi}^{1/2}$ je plocha a výška v m i -tých otvorů v obvodových a střešních konstrukcích
 S_k povrchová plocha stavebních konstrukcí
 j počet otvorů

U požárního úseku, který nemá žádné otvory a je odvětrán nepřímo, se předpokládá hodnota parametru odvětrání $F_o = 0,005 \text{ m}^{1/2}$. Do plochy otvorů S_o se zahrnují pouze otvory, které zaručeně umožní přístup vzduchu během prvních 15 minut požáru. Nezapočítávají se sem otvory, jejichž výplň má požární odolnost E15 a vyšší (např. zasklené sklem s drátěnou vložkou, tvrzeným, bezpečnostním či jiným sklem).

VLIV UMÍSTĚNÍ OTVORŮ NA VÝPOČET PARAMETRU ODVĚTRÁNÍ F_o

Umístění otvorů může mít za následek změnu parametrů hoření. Při běžném výpočtu dle ČSN 73 0804 se tento jev zanedbává, ale je možné ho započítat při podrobnějším výpočtu součinitelem k_{21} , k_{22} . Tyto součinitele započítávají větší hodnotu součinu $S_{oi} \cdot h_{oi}^{1/2}$, než jakou ve skutečnosti otvory mají [2].

Otvory umístěné nad sebou vytvářejí předpoklad pro diferentní proudění plynů, kdy spodními otvory přitéká čerstvý vzduch a horními otvory dochází k odvodu zplodin hoření. Dva otvory nad sebou tak působí účinněji než dva otvory vedle sebe. Tento jev může být ve výpočtu zohledněn součinitelem k_{21} , rovnice (2) má pak tedy tvar:

$$F_o = \frac{S_{o1} \cdot h_{o1}^{1/2}}{S_k} \cdot k_{21} \quad [\text{m}^{1/2}] \quad (3)$$

Otvory umístěné naproti sobě částečně zvyšují rychlost odhořívání a zpravidla stačí vítr o malé rychlosti, aby předurčil směr přítoku čerstvého vzduchu a odtoku zplodin hoření druhým otvorem. Tento jev může být ve výpočtu zjednodušeně zohledněn součinitelem k_{22} , rovnice má pak tedy tvar:

$$F_o = \frac{S_{o1} \cdot h_{o1}^{1/2}}{S_k} \cdot k_{22} \quad [\text{m}^{1/2}] \quad (4)$$

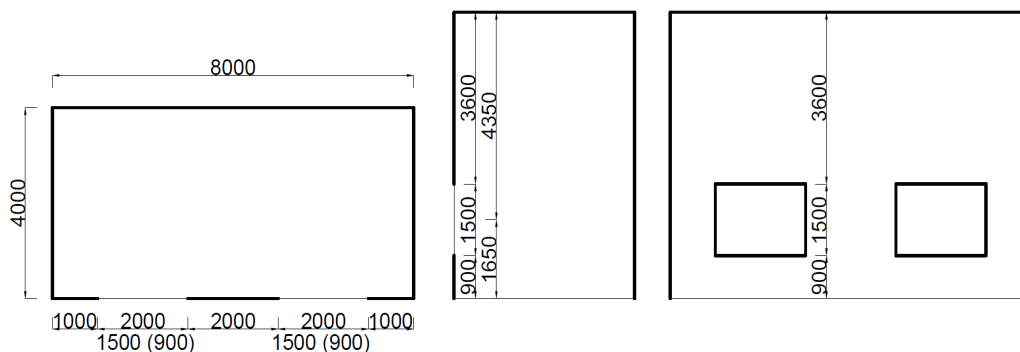
V případech, že by nastala situace, kdy otvory jsou protilehlé a zároveň výškově posunuty, lze tyto případy počítat buď pomocí součinitele k_{21} nebo k_{22} . Případně spočítám obě varianty a za výslednou hodnotu se považuje výsledný vyšší parametr F_o .

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

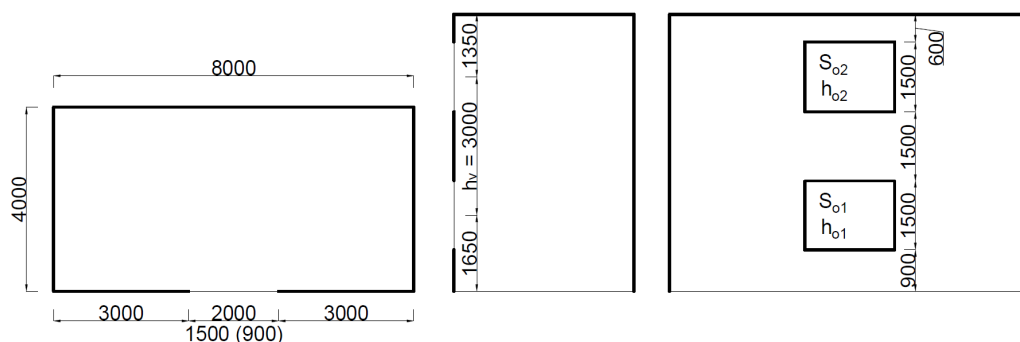
Řešeným příkladem je analýza vlivu umístění oken (a tím parametru odvětrání) při výpočtu ekvivalentní doby trvání požáru. Vliv parametru odvětrání na výpočet ekvivalentní doby trvání požáru je zkoumán při 4 různých situacích:

- V požárním úseku nejsou žádné otvory
- V požárním úseku jsou otvory vedle sebe, viz *Obr. 1*
- V požárním úseku jsou otvory nad sebou (započítán součinitel k_{21}), viz *Obr. 2*
- V požárním úseku jsou otvory naproti sobě (započítán součinitel k_{22}), viz *Obr. 3*

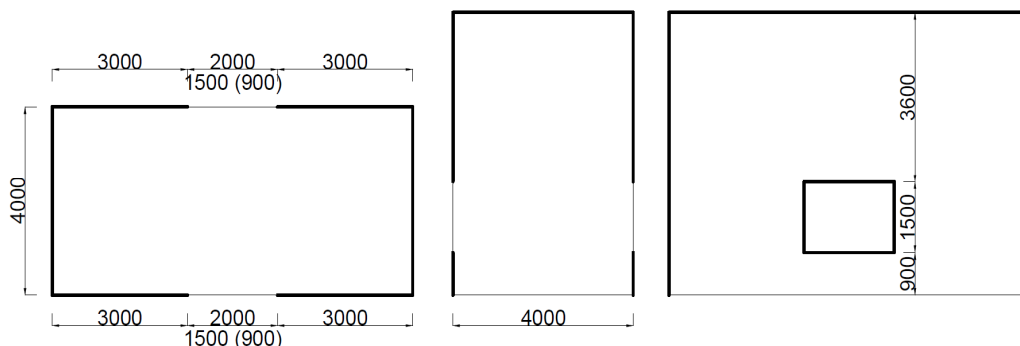
Pro analýzu je uvažována místnost o rozměrech $8 \times 4 \times 6$ m a otvory a rozměrech $2 \times 1,5$ m. Tyto otvory budou vždy dva a jejich umístění se bude měnit. Pro požární úsek jsou stanoveny konstantní hodnoty vstupujících parametrů, které v sobě nezahrnují vliv parametru odvětrání, tedy požární zatížení $p = 130 \text{ kg/m}^2$ a součinitel vyjadřující vliv požárně bezpečnostních opatření $c = 1$.



Obr. 1 Požární úsek s otvory vedle sebe
Fig. 1 Fire section with openings next to each other



Obr. 2 Požární úsek s otvory nad sebou
Fig. 2 Fire section with openings above each other



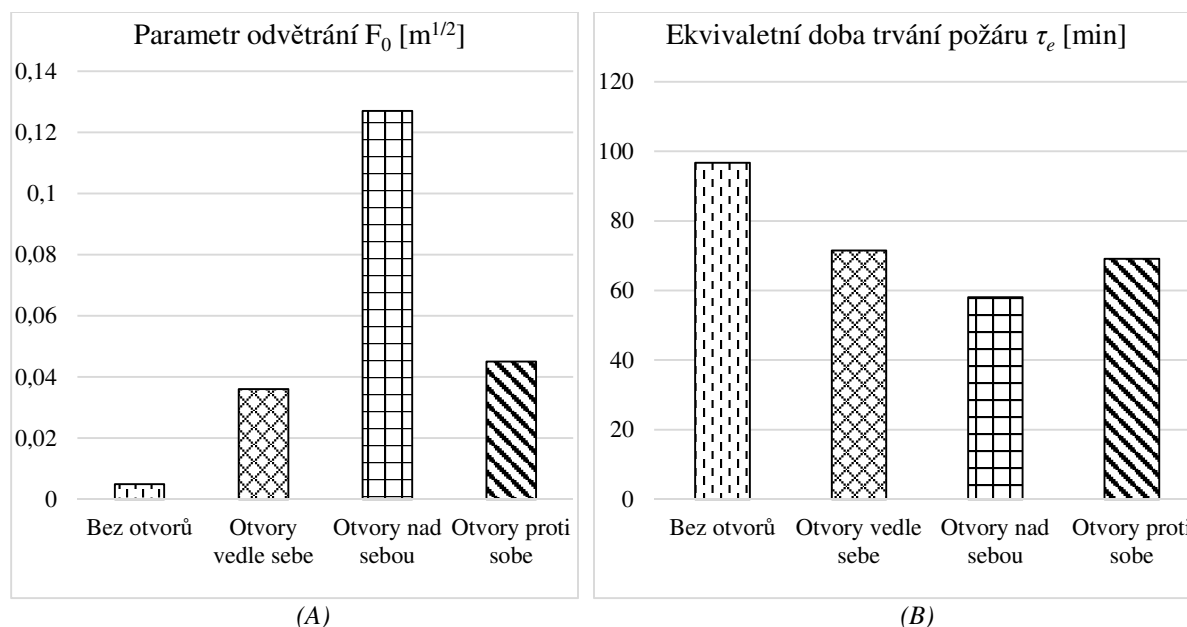
Obr. 3 Požární úsek s otvory naproti sobě
Fig. 3 Fire section with openings opposite to each other

Vypočítané hodnoty pro jednotlivé situace vidíme v Tab. 1 a jejich porovnání na Obr. 4. Z výsledků je patrné, že čím je vyšší parametr odvětrání F_o , tím je nižší ekvivalentní doba trvání τ_e . Ekvivalentní doba trvání požáru je nejvyšší v požárním úseku bez otvorů. Naopak dle očekávání nejnižší v situacích, kdy byly započítány součinitele vlivu umístění otvorů k_{21} , k_{22} . U situace s otvory naproti sobě došlo ke snížení ekvivalentní doby trvání požáru a necelé 2 minuty. Určení součinitele k_{22} závisí především na celkové ploše a výšce otvorů a ploše ohraničujících konstrukcí. V příkladu je tato plocha několikanásobně menší než plocha ohraničujících konstrukcí tudíž výsledný vliv součinitele je malý. V případě, kdy jsou otvory umístěny nad sebou, je rozhodující pro určení součinitele k_{21} výškové umístění otvorů a samotná výška otvorů. V příkladu jsou otvory umístěny daleko od sebe, výsledný součinitel k_{21} je velký.

Tab. 1 Souhrn výsledků

Tab. 1 Summary of results

Situace	F_0 [$m^{1/2}$]	k_{2i} [-]	τ_e [min]
Bez otvorů	0,005	-	96,73
Otvory vedle sebe	0,036	-	71,55
Otvory nad sebou	0,127	3,5	58,07
Otvory proti sobě	0,045	1,23	69,13



Obr. 4 Porovnání (A) Parametru odvětrání; (B) Ekvivalentní doby trvání požáru
 Fig. 4 Comparison of (A) The ventilation parameter; (B) The equivalent duration of fire

Z praktického hlediska může mít započítání vlivu otvorů velký význam při návrhu požárně bezpečnostního řešení. Při určení stupně požární bezpečnosti (součinitel k_8 uvažujeme 1), za předpokladu více jak dvoupodlažní budovy, při situaci s okny nad sebou spadáme do IV. SPB, okna naproti sobě a vedle sebe do V. SPB, a bez oken do VI. SPB. Může dojít ke snížení SPB a ve finálním návrhu snížení finančních nákladů na projekt.

ZÁVĚR

Parametr odvětrání má velký vliv na výpočet ekvivalentní doby trvání požáru. Přesnější výpočet vlivu umístění oken může být využit především v situacích, kdy běžný výpočet odpovídá hraniční hodnotě mezi dvěma SPB, a podrobný výpočet by mohl tuto hodnotu snížit. Přesnější výpočet je zbytečné využívat v případech, kdy základní výpočet dle normy jednoznačně určuje SPB. Doporučení je nejprve provést základní výpočet dle normy a podle výsledků případně aplikovat přesnější výpočet. Je časově neefektivní tento výpočet provádět při každém výpočtu v PBR.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 0804. Požární bezpečnost staveb - Výrobní objekty. Z1 (02/2013) + Z2 (02/2015). Praha: ÚNMZ, 2010.
- [2] REICHEL, Vladimír. Navrhování požární bezpečnosti výrobních objektů: Zabraňujeme škodám. Svazek 17. Praha, 1987.

VÝVOJ VÝPOČETNÍHO NÁSTROJE PRO STANOVENÍ POŽÁRNÍHO RIZIKA VE VÝROBNÍCH OBJEKTECH

DEVELOPMENT OF A CALCULATION TOOL FOR DETERMINATION OF FIRE RISK IN INDUSTRIAL BUILDINGS

Bc. Jan Musil

Abstract

This article describes a summarizing view of all possibilities of determination of fire risk in industrial buildings according to ČSN 73 0804 [2]. Determination of fire risk is very important for a fire protection of buildings. Other important parameters are determined according to the fire risk. The main aim of this work is to create a calculation tool for study purposes with a user-friendly environment for effective determination of fire risk.

Key words: Fire protection of buildings; fire risk; degree of fire safety; industrial buildings; flowchart

ÚVOD

Z hlediska požární bezpečnosti je pro navrhování stavby nutné rozdělení stavby do požárních úseků a stanovení pravděpodobné intenzity případného požáru v těchto úsecích nebo jejich částech. Pravděpodobnost intenzity případného požáru je stanovena pomocí požárního rizika. [1]

Většina požadavků na požární bezpečnost stavby se odvíjí právě na základě požárního rizika. Jeho stanovení je tedy klíčové, a proto vytvoření spolehlivého výpočetního nástroje je přínosné.

POŽÁRNÍ RIZIKO VE VÝROBNÍCH OBJEKTECH

Výpočet požárního rizika podle ČSN 73 0804 [2] je založen na několika experimentálních požárech prováděných v ČSSR, ale i zahraničí. Díky těmto experimentům se podařilo lépe pochopit mechaniku různých požárů a na základě toho vytvořit matematické modely, které se přibližují realitě. [1]

Požár je velmi složitý proces, a proto není možné zachytit všechny činitele do matematických modelů požáru. Každý model popisuje požár pouze s určitou pravděpodobností a je do určité míry zjednodušený. Naší snahou je, se co nejvíce přiblížit realitě tak, aby byl výpočet co nejpřesnější, ale zároveň efektivní a nepříliš náročný. [1]



Obr. 1 Graf průběhu požáru s vyznačením jednotlivých fází [1], upraveno
Fig. 1 Graph of fire development with marked stages [1], modified

ČSN 73 0804 [2] vychází z modelu požáru, který má několik základních předpokladů. Tento model vynechává fázi rozhořívání a popisuje až druhou fázi plně rozvinutého požáru, při které se nepředpokládá zásah jednotek požární ochrany ani použití požárně bezpečnostních zařízení. Během této fáze shoří 80 % celkového množství paliva. S veškerým hořlavým materiálem se počítá jako se dřevem či výrobkem na bázi dřeva, proto musí být ostatní materiály převedeny na ekvivalentní normovou výhřevnost dřeva. [1]

Druhá fáze požáru je charakteristická tím, že ve většině případů dojde ke vzniku flashover, tedy k prostorovému hoření, kdy plameny zachvátí celý prostor požárního úseku. Teploty plynů v požárním úseku přesáhnou teploty 500 až 600 °C, dojde k porušení skleněných výplní a výměna plynů probíhá bez překážek, a proto se ve většině případů jedná o požár řízený odvětráním. [1]

Dále se předpokládá, že součinitel sálání vně požárního úseku odpovídá sálání černého tělesa a rychlost odhořívání paliva během druhé fáze plně rozvinutého požáru je konstantní. Posledním důležitým předpokladem je, že v kterémkoliv okamžiku požáru musí být energetická rovnováha mezi spotřebovaným a uvolněným teplem. [1]

Jednotlivé předpoklady je možné vyčíst z grafu průběhu požáru na Obr. 1. Požární riziko tedy vyjadřuje předpokládanou intenzitu požáru v posuzovaném požárním úseku. Požární riziko se stanovuje samostatně pro každý požární úsek. U výrobních objektů je určeno za pomoci ekvivalentní doby trvání požáru v minutách. Ekvivalentní doba trvání požáru může být určena několika způsoby a to:

- Zjednodušeným postupem ekvivalentní dobou trvání požáru pro prosté požární zatížení podle rovnice:

$$(1) \quad \tau_e = \frac{2p \cdot c}{k_3 \cdot F_o^{1/6}} \quad [\text{min}] \quad [2], \text{ čl. 6.2.2}$$

kde p je požární zatížení [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$],
 k_3 součinitel závislosti plochy S_k a plochy S [-],
 F_o parametr odvětrání [$\text{m}^{1/2}$],
 c součinitel vyjadřující vliv požárně bezpečnostních zařízení a opatření [-].

Tohoto výpočtu nelze užít, pokud se v požárním úseku nachází místně soustředěné požární zatížení nebo pokud má požární úsek více než jedno užitné podlaží.

- Pomocí diagramu, který vychází z empirické rovnice (1) pro zjednodušený postup ekvivalentní doby trvání požáru. Jedná se o nejjednodušší formu stanovení požárního rizika. [1]
- Podrobným výpočtem pravděpodobnou dobou trvání požáru pro průměrné požární zatížení podle rovnice:

$$(2) \quad \bar{\tau} = \frac{\bar{p} \cdot c}{v_v} \quad [\text{min}] \quad [2], \text{ čl. 6.2.3}$$

kde \bar{p} je průměrné požární zatížení [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$],
 v_v rychlost odhořívání látek tvořících průměrné požární zatížení [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$],
 c součinitel vyjadřující vliv požárně bezpečnostních zařízení a opatření [-].

Následně se určí ekvivalentní doba trvání požáru τ_e podle tabulky A.1 přílohy A normy [2] v závislosti na pravděpodobné době požáru $\bar{\tau}$ a přepočtovém parametru odvětrání F_l . [2]

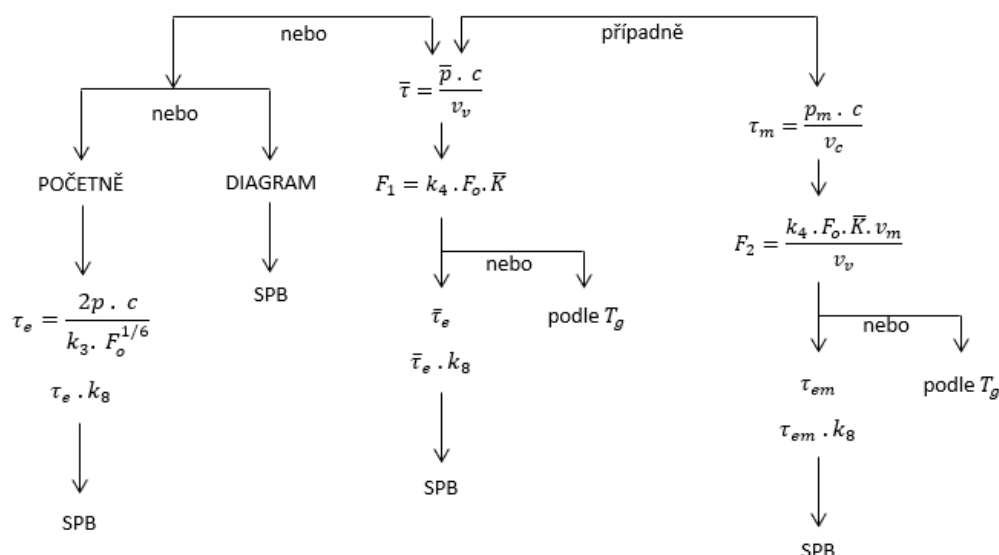
- Pokud se v části PÚ vyskytuje výrazně vyšší požární zatížení, dochází ke vzniku místně soustředěného zatížení, pro které se požární riziko stanoví za pomoci pravděpodobné doby požáru podle rovnice:

$$(3) \quad \tau_m = \frac{p_m \cdot c}{v_c} \quad [\text{min}] \quad [2], \text{ čl. 6.2.4}$$

kde p_m je místně soustředěné požární zatížení [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$],
 v_p rychlost odhořívání látek tvořících místně soustředěné požární zatížení [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$],
 c součinitel vyjadřující vliv požárně bezpečnostních zařízení a opatření [-].

Následně se určí ekvivalentní doba trvání požáru τ_{em} podle tabulky A.1 přílohy A normy [2] závislá na pravděpodobné době trvání požáru τ_m a přepočtovém parametru odvětrání F_2 . [2]

Jednotlivé postupy, jak stanovit dobu požáru a stupeň požární bezpečnosti, jsou znázorněny v následujícím schématu Obr. 2.



Obr. 2 Schéma stanovení doby požáru a stupně požární bezpečnosti [1]
 Fig. 2 Scheme of determination of fire time and degree of fire safety [1]

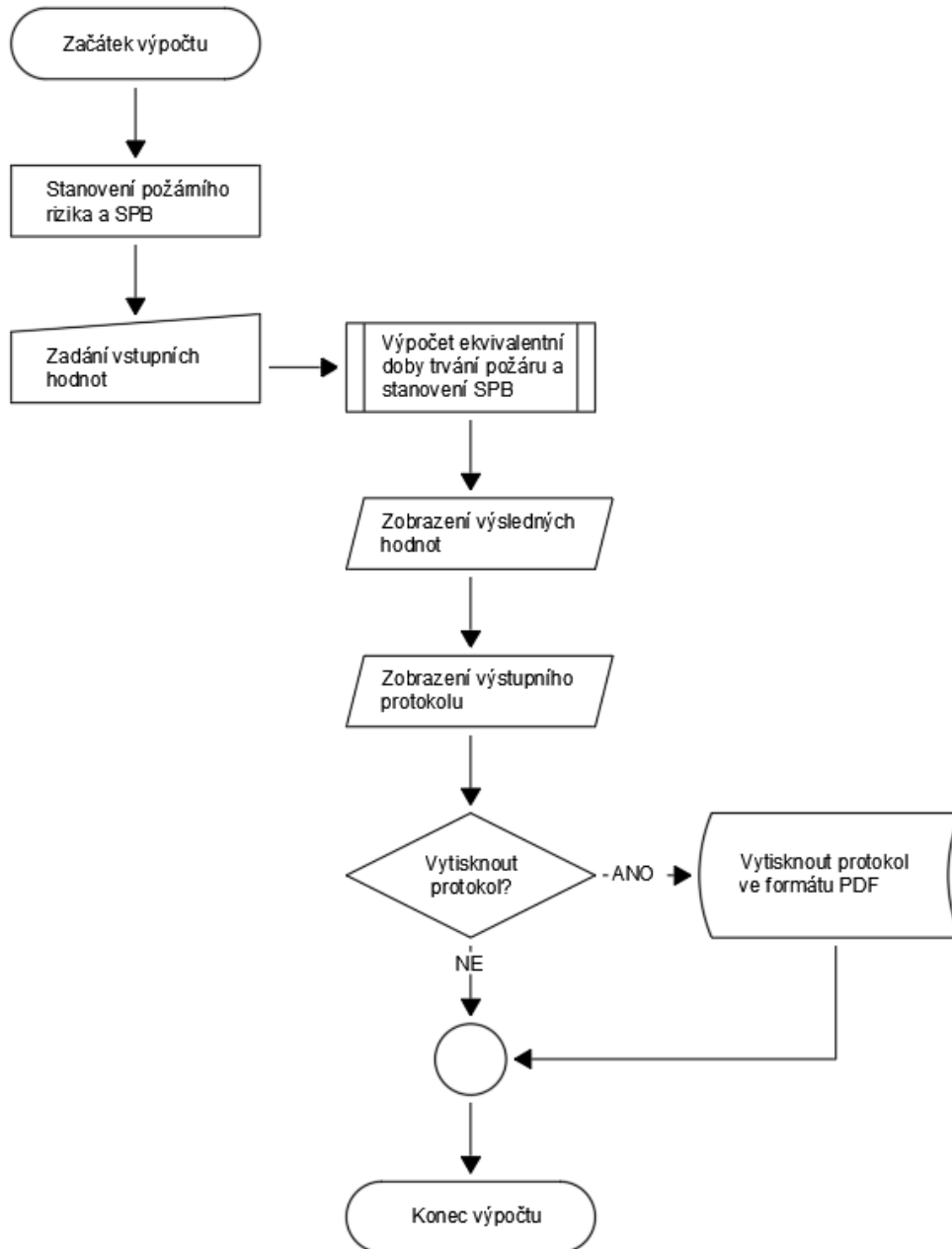
VÝVOJ VÝPOČETNÍHO NÁSTROJE

Při tvorbě výpočetního nástroje je nutné nejprve vytvořit teoretický podklad, vzorce, podle kterých bude program počítat. Tato teorie byla shrnuta v první části tohoto článku. Následně je potřeba graficky znázornit postup jednotlivých kroků algoritmu za pomoci vývojového diagramu.

Na Obr. 3 je možné vidět základní vývojový diagram pro výpočetní nástroj požárního rizika ve výrobních objektech. Graficky znázorňuje základní strukturu programu, podle které program bude postupovat.

Po vytvoření první použitelné verze programu je nutné program verifikovat a validovat. Pro ověření správné funkčnosti programu je vhodné vytvořit sadu vzorových příkladů, které jsou poté vypočítány několika programy a následně jsou výsledky porovnávány.

V případě úspěšného ověření funkčnosti programu je možné pokračovat v jeho dalším rozšiřování a vylepšování. V neposlední řadě je důležité vytvořit uživatelsky přívětivé přehledné prostředí programu. Jedná se o jedno z kritérií, díky kterému může být program konkurenceschopný.



Obr. 3 Základní vývojový diagram výpočetního nástroje

Fig. 3 Basic flowchart of a calculation tool

ZÁVĚR

Je zřejmé, že stanovení požárního rizika není jednoznačně dáno, jelikož samotný požár je velmi složitý proces. I norma [2] umožňuje několik možností, jak při jeho stanovování postupovat. Cílem je vytvořit výpočetní nástroj, který bude umožňovat použití různých postupů a následně bude možné výsledky jednoduše porovnat a zanalyzovat. Program bude dostupný pro studijní účely, měl by být uživatelsky přívětivý a dále by měl zrychlit a zefektivnit práci.

LITERATURA

- [1] REICHEL, Vladimír. *Navrhování požární bezpečnosti výrobních objektů*. První vydání. Praha: SNTL, 1987. Zabraňujeme škodám. ISBN není uvedeno.
- [2] ČSN 73 0804. *Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty*. První vydání. Praha: ÚNMZ, 2010.

METODY MĚŘENÍ TEPLoty V BETONU VYSTAVENÉM VYSOKÝM TEPLOTÁM

METHODS OF TEMPERATURE MEASUREMENT IN CONCRETE EXPOSED TO HIGH TEMPERATURES

Bc. Jan Havlůj

Abstract

The aim of the paper is to summarize the previous research in the field of measuring the interior temperature in concrete exposed to high temperatures as well as to bring some new findings to experimental measuring. The first part focuses on the process that occurs in concrete during an exposure to high temperatures. Furthermore, the importance of measuring temperature in connection to humidity and pore pressure is explained. The theoretical part focuses on the issue of measuring temperature while explaining the principle of measuring with thermocouples, the construction of the whole conductor and its parts, its basic features, the types of thermocouples, the rules for that. The practical part of the paper discusses the layout of a sample, as well as the creation of fixative products for the attachment of the thermocouples.

Key words: *Temperature measurement; thermocouple; temperature; concrete; fixation product*

ÚVOD

Při vzniklém požáru je negativně ovlivňována struktura betonových konstrukcí. V souvislosti právě se zvyšující se teplotou dochází k znehodnocování betonu, ať už k poklesu tlakových či tahových pevností, tak ke ztrátě vlastní pevnosti. Nutné je však i zmínit vzájemnou provázanost mezi dalšími fyzikálními veličinami, jako je vlhkost a pórový tlak. Pokud měříme teplotu a jednu z dvou zmíněných fyzikálních veličin, můžeme pak dopočítat třetí neměřenou hodnotu pomocí sorpčních izoterem.

Pro stanovení požární odolnosti a materiálového chování betonu je zapotřebí zjištění rozložení teploty v prvku. To zjišťujeme numerickým výpočtem, experimentálním měřením nebo použitím naměřených hodnot z minulosti. Tato práce se zaměřuje na experimentální měření, tak aby bylo co nejkvalitnější a výsledky byly nejméně nejvíce spolehlivé. Práce se v první části věnuje principu a funkci termočlánků, konstrukci vodiče a jeho částí, typům měřidel a jejich vlastnostem. Na konci je popsán kabelový termočlánek, který bude použit při experimentu. Druhá část se zaměřuje na návrh a výrobu vzorků z betonu, a zároveň fixačních výrobků z oceli nebo sololitu. Vzorky budou použity k experimentálnímu měření a na nich bude probíhat zkoumání transportu tepla. Cílem tohoto bádání je zjištění vlivu jednotlivých fixačních přípravků na změřené teploty, a jakým způsobem to jednotlivé výrobky ovlivňují.

PRINCIP FUNKCE TERMOČLÁNKŮ

Funkce termočlánků závisí na tzv. termoelektrickém jevu, který popisuje vznik napětí v obvodu složeném ze dvou různých vodičů, jejichž konce mají rozdílné teploty. Při různé teplotě konců vodiče, se na každém konci objeví jiný potenciál (napětí). Míra tohoto jevu je určena Seebeckovým (termoelektrickým) součinitelem, který může mít hodnotu kladnou nebo zápornou. Seebeckovy koeficienty se udávají vzhledem k olovu. Vzniklé napětí je v řádu několika mikrovoltů na stupeň Celsia.








Seebeckův jev se tedy projevuje u dvou vodičů z různých kovových materiálů, které jsou na koncích spolu vodivě spojeny. Jestliže teplota jednoho spoje bude různá od teploty druhého spoje, vzniká termoelektrické napětí a obvodem prochází termoelektrický proud. [1]

KONSTRUKCE TERMOČLÁNKU

Konstrukce termočlánku je rozdělena do několika hlavních částí: měřící spoj, druh vodiče přenášející napětí, povrchová ochrana vodiče a koncová úprava. Měřící spoj bývá tvořen mechanickým spojením, pájením nebo svařením drátů stejného průměru. Rozdělujeme ho na dva základní typy: chráněný a nechráněný. U nechráněného je použitelnost značně omezená, z důvodu náchylnosti na možné opotřebení, případné poškození z důvodu vlhkosti, oxidace nebo otěru. U chráněného spoje je rozdělení ještě na uzemněný a neuzemněný, přičemž rozdílem je pak doba odezvy, která je vyšší u neuzemněného. Zde je pak mezi pláštěm a samotným vodičem vložena izolace. Druh vodiče přenášející napětí se nejčastěji stanovuje v závislosti termoelektrického napětí na teplotě, aby změna napětí byla co nejvyšší. [2]

Tab. 1 - Značení termočlánků dle ČSN EN 60 584-1:2014 [2]

Tab. 1 – Marking of thermocouples according to ČSN EN 60 584-1:2014 [2]

Označení	Původní značení dle složení	Doporučený teplotní rozsah použití [°C]	Barevné značení		
			Kladný pól		Záporný pól
<i>T</i>	Cu-CuNi	+200 až +350	hnědá		bílá
<i>J</i>	Fe-CuNi	+400 až +750	černá		bílá
<i>E</i>	NiCr-CuNi	+440 až +800	fialová		bílá
<i>K</i>	NiCrRr-NiAl	+750 až +1200	zelená		bílá
<i>N</i>	NiCrSi-NiSi	+850 až +1200	lila		bílá
<i>S</i>	Pt10Rh-Pt	+1400 až +1600	oranžová		bílá
<i>R</i>	Pt13Rh-Pt	+1400 až +1600	oranžová		bílá
<i>B</i>	Pt30Rh-Pr6Rh	+1500 až +1700	bez údaje	/	bílá

Samotný termočlánek je většinou chráněn izolací, která se vyrábí z různých materiálů a určuje, do jakého prostředí lze termočlánek použít. Mezi nejčastěji používané materiály řadíme skelné vlákno, keramické vlákno, silikon, teflon FEP. Použitelnost materiálu je závislá na teplotě použití a možnosti poškození (otěr, chemická odolnost). Koncová část termočlánku, která je mimo měřený prvek se osazuje konektorem, který propojí termočlánek s datalogerem na zaznamenání teploty. Nejčastěji se lze setkat se třemi druhy konektorů: miniaturní vysokoteplotní konektory (HMP), standartní konektory (OST), vysokoteplotní konektory (HST).

ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI A TYPY TERMOČLÁNKU

Mezi obecné požadavky na termočlánky patří: vysoký koeficient teplotního napětí (udává se v mV/100 °C), lineární průběh napětí, stálost termoelektrických vlastností v čase, mechanická a chemická odolnost v redukčním a oxidačním prostředí, odolnost proti korozi, použitelnost v širokém rozsahu teplot, příznivý dynamický výkon termočlánků. Všechny tyto vlastnosti se mění podle toho, z jaké dvojice kovů je termočlánek vyroben. Dalšími vlastnostmi termočlánků jsou přesnost a spolehlivost. Třídy přesnosti jsou rozděleny do 3 skupin. Skupina 1 a 2 pro teploty vyšší než -40 °C a skupina 3 pro hodnoty teplot do -200°C. [2]

V několika místech měřicího řetězce vznikají nejistoty, tím je ovlivněna spolehlivost měřicího procesu. Tyto místa mohou být na termočlánku, při přenosu tepla, na přívodu a v samotném měřicím přístroji. Dále pak vznikají určité možnosti poruchovosti, mezi ty patří zkrat, přerušeni obvodu, porucha měřicího přístroje a dekalibrace termočlánku. Poslední z uvedených poruch se detekuje nejhůře, může se jednat pouze o několik stupňů, a tak jediná možnost je pravidelná kalibrace používaného vybavení. [2]

KABELOVÝ TERMOČLÁNEK TYPU K (NiCr – NiAl)

Pro naše experimentální účely byl vybrán jako vhodné měřicí zařízení termočlánek typu K. Důvodem je dostatečná linearita křivky dle grafu závislosti termoelektrického napětí na teplotě pro termočláanky. Doporučeným teplotním rozsahem použití je teplota do 600 °C. Termočlánek má nízký koeficient teplotního napětí $T_n = 4,8 \text{ mV}/100 \text{ °C}$. Jako ochrana vodičů je použit GHGH oval, tudíž keramické vlákno/keramické vlákno s vnějším rozměrem 2 x 0,5 mm. Použité termočláanky nemají ochranný keramický korálek na konci měřícího konce, jedná se tedy o nechráněný měřicí konec. Koncová část termočláanky, která se připojuje do měřícího zařízení má osazen miniaturní konektor typu MTCK-MM-X. Výhodou tohoto termočláanky je dlouhá životnost. Mezi nevýhody patří omezená ohebnost, citlivost vedení ve vlhkém prostředí a malá odolnost v otěru. [3]

NÁVRH EXPERIMENTU

Cílem této práce je návrh a výroba 2 betonových vzorků, a zároveň návrh a výroba fixačních prvků pro uchycení termočláanky. Účelem experimentálního měření teploty je zjišťování transportu tepla uvnitř betonové konstrukce a možnosti ovlivnění měřené teploty v závislosti na použitém typu fixačního zařízení. Tyto vzorky budou vystaveny tepelnému záření z plynového infrazářiče výkonu 30 kW, ke kterému bude přiložen betonový prvek a dojde k jeho ohřívání. Současně bude probíhat měření vlhkosti uvnitř vzorku v určitých hloubkách. Použity budou hygropinová pouzdra a vzorek bude v průběhu experimentu vážen.

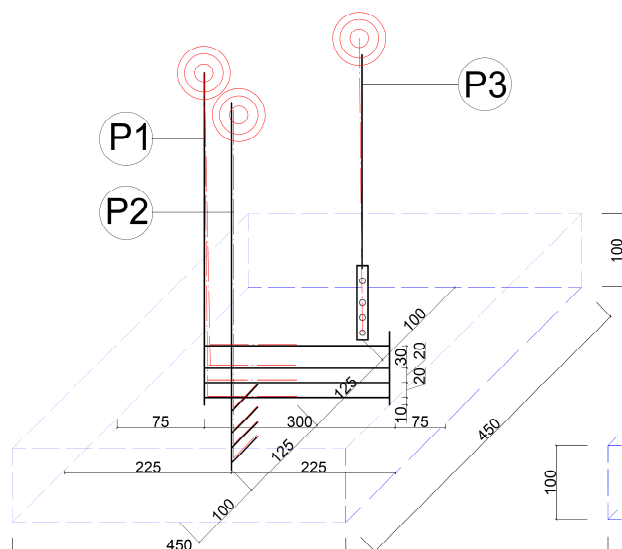
PRVNÍ VZOREK

Betonová deska je vyrobena do dřevěného bednění. Její rozměry jsou 450 x 450 x 100 mm, její hmotnost je přibližně 50 kg. Specifikace výšek měření je 1 cm, 3 cm, 5 cm a 8 cm od exponovaného povrchu, viz obr. 1, kde jsou hloubky popsány. Na experiment je použito 14 termočláanky. Jako fixační pomůcky byly použity 3 druhy fixačních výrobků, jejich umístění je na obrázku 1 níže. Další dva termočláanky pro měření teploty byly osazeny na povrchu na exponované a neexponované straně. Fixační výrobek číslo 1 je žebříkový ocelový nosič, jenž je spojen na obou stranách v určitých hloubkách a na jedné z jeho stran je vyveden nad betonovou desku, kvůli vytažení vodičích kabelů. Druhý výrobek je tyčový ocelový nosič, který má odstupňované výšky trnů. Délka trnu je 5 cm, dle [4]. Přípravek třetí byl vyroben jako tyčový sololitový nosič. Podkladem pro vytvoření nosičů termočláanky a podkladem pro návrh vzorku byly malorozměrové požární zkoušky prováděné na ČVUT Praha [5].

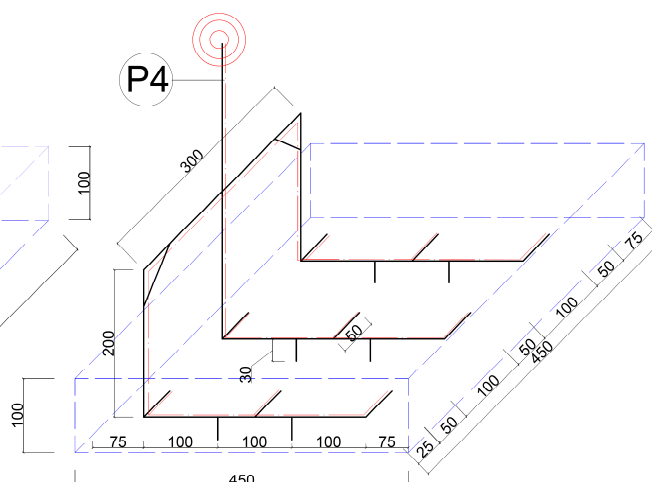
DRUHÝ VZOREK

Betonová deska je vybetonována do formy dřevěného bednění. V tomto vzorku je měřena teplota ve stejné hloubce, která je pevně nastavena fixačním zařízením, tudíž se jedná o plošné měření transportu tepla konstrukcí. Hloubka měření je nastavena na 3 cm od exponovaného povrchu. Rozměry betonové desky jsou 450 x 450 x 100 mm, její hmotnost je přibližně 50 kg a je vybavena 9 termočláanky, které jsou v ní zabetonovány. Jako fixační zařízení byl použit jeden výrobek, který je sice spojen, ale až mimo betonovou část, ve výšce 10 cm nad ní. Z důvodu, aby v betonové části bylo co nejméně materiálu, který by mohl negativně přispívat k vedení tepla a znehodnocovat zkoušku samotnou. Fixační zařízení je zobrazeno na obrázku 1 níže včetně přidaných rozměrů. Další dva termočláanky pro měření teploty byly osazeny na povrchu na exponované a neexponované straně. [5]

Vzorek 1



Vzorek 2



<ul style="list-style-type: none"> ⊙ P1 Zebříkový ocelový nosič ⊙ P2 Tyčový ocelový nosič ⊙ P3 Tyčový sololitový nosič ⊙ P4 Prostorový plošný nosič 	<ul style="list-style-type: none"> — Konstrukce - - - TC - - - Dřevené bednění
---	---

Obr. 1 – Schéma rozmístění termočlánků ve vzorku 1 a 2
 Fig. 1 – Layout diagram of thermocouples in sample 1 and 2

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří panu Ing. Radku Štefanovi, Ph.D. za poskytnuté informace, cenné rady, a především za výpomoc při výrobě betonových vzorků a fixaci termočlánků.

ZÁVĚR

Článek měl za úkol čtenáře seznámit s problematikou měření teploty uvnitř betonové konstrukce za vysokých teplot. Je zde vysvětleno, jakým způsobem probíhá měření teploty a na co je důležité si dát pozor při výběru vhodného měřícího zařízení. Dále je zde popsán návrh experimentu, který má za cíl zjišťování transportu tepla uvnitř betonové konstrukce a ovlivňování teploty samotné v závislosti na typu použitého fixačního přípravku. Byly vybetonovány dva vzorky kvádrů o rozměrech 450 x 450 x 100 mm včetně samotného rozmístění termočlánků, které poslouží k experimentálnímu měření. Součástí experimentu bude i měření vlhkosti betonové desky.

LITERATURA

- [1] ČIČMANEC, Pavol. *Všeobecná fyzika*. Bratislava: Alfa, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1980.
- [2] ČSN EN 60 584-1. *Termoelektrické články – Část 1: Údaje napětí a tolerance*. Praha: ÚNMZ, květen 2013.
- [3] MAVIS. *Termočlánkové snímače kabelové*. mavis. [Online] [Citace: 2.5.2016.] <http://www.mavis.cz/termoclanek-kabelovy-mtc12>
- [4] ČSN EN 1363-1. *Zkoušení požární odolnosti – Část 1: Základní požadavky*. Praha : ÚNMZ, Leden 2013.
- [5] ŠTEFAN, Radek. *Malorozměrové požární zkoušky*. Praha, 2018. ČVUT v Praze

MĚŘENÍ VLHKOSTI V BETONU VYSTAVENÉM VYSOKÝM TEPLOTÁM

METHODS OF MOISTURE MEASUREMENT IN CONCRETE EXPOSED TO HIGH TEMPERATURES

Bc. Daniel Rajman

Abstract

Seminar work focuses on the characteristics and division of today's concrete and on the processes that occur at elevated temperatures. Furthermore, the thesis deals with moisture, its sources and processes in concrete that are affected by it. Other parts are specified for concrete humidity measurement methods at normal temperatures and elevated temperatures, namely concentration-based and relative humidity methods at normal temperature and nuclear magnetic resonance at elevated temperatures. The seminar work also deals with the design and implementation of an experiment in the laboratory of the Faculty of Civil Engineering of the CTU in Prague. The experiment is performed to determine the relative humidity inside concrete specimens using the Hygropin hygrometer to heat the sample unilaterally.

Key words: *Moisture; moisture meter; concrete; temperature; measurement, NMR; fire*

ÚVOD

Vlhkost stavebních materiálů je důležitý parametr, kterým je třeba se zabývat. Stavební materiály se zpravidla nevyskytují v suchém stavu, vždy obsahují určitou vlhkost, která při nadměrném množství ovlivňuje do značné míry tepelně-technické, fyzikální, estetické a v neposlední řadě statické vlastnosti stavebních materiálů a konstrukcí. Tento jev může mít často za následek znehodnocení těchto materiálů a konstrukcí. V dnešní době známe velké množství metod měření vlhkosti, avšak ne vždy jsou tyto metody přesné a nelze je použít pro měření vlhkosti při zvýšených teplotách.

DEFINICE VLHKOSTI A JEJÍ ÚČINKY

Vlhkost je fyzikální veličina, kterou za běžných podmínek obsahuje každý materiál a která ovlivňuje vlastnosti daného materiálu. Jedná se o vodu v betonu získanou během výroby, popřípadě během životnosti prvku z okolního prostředí. Ovlivňuje řadu vlastností stavebních materiálů a může mít často za následek degradaci stavebního materiálu nebo stavební konstrukce. Přítomnost vody ve stavebních materiálech hraje důležitou roli v mnoha procesech, které jej mohou poškozovat. Zvláště dvě fázové změny vody, mráz a var poškozují beton.

Vlhkost vyjadřujeme především jako vlhkost hmotnostní, lze jí klasifikovat, jak je uvedeno v Tab. 1.

Tab. 1 Klasifikace vlhkosti v betonu (převzato z [1])

Tab. 1 Moisture classification in concrete (taken from [1])

Vlhkost u [%]	Klasifikace
$u < 3.0$	vlhkost velmi nízká
$3.0 \leq u < 5.0$	vlhkost nízká
$5.0 \leq u < 7.5$	vlhkost zvýšená
$7.5 \leq u < 10.0$	vlhkost vysoká
$10.0 < u$	vlhkost velmi vysoká

VLIV VLHKOSTI V BETONU ZA ZVÝŠENÝCH TEPLOT

Extrémním případem poškození budovy způsobené vlhkostí materiálu je požár. Pokud se jedná o požár v tunelu nebo v budově, povrch betonové stěny se zahřeje na teplotu výrazně nad 100 °C během několika minut a stoupá až k 1200 °C. Vlhkost v betonu se začne vařit a vodní pára může unikat pouze přes ohříváný povrch. Protože je beton velmi nízkopropustný materiál, dochází k vytváření vysokých tlaků. Kombinace těchto vysokých tlaků, tepelného namáhání od velkých teplotních gradientů a oslabení porézní matrice dehydratací může způsobit odprýskávání betonu. Přenos tepla a odprýskávání betonu při vysokých teplotách hrají důležitou roli. Tyto procesy se dějí uvnitř stavebního materiálu.

Při dosažení teploty 100 °C se voda začne značně odpařovat z betonu. Odpařováním vody z betonu se začne zvyšovat pórový tlak v mikrostruktuře betonu. Tímto procesem při vysoké vlhkosti a vysoké hustotě mikrostruktury může dojít k vysokému pórovému tlaku, který může způsobit explozi a odštěpení části betonu. To následně ovlivňuje požární odolnost prvku. V nejhorším případě může dojít až k statickému selhání prvku a zřícení konstrukce.

Proto se u vysokohodnotných betonů snažíme o co nejmenší procento vlhkosti, aby k odštěpování nedocházelo. Za přijatelnou vlhkost se uvažuje maximální hodnota 3 %. [2]

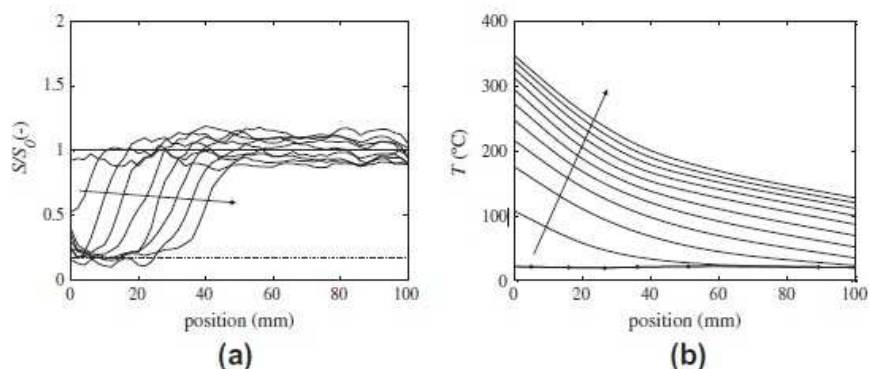
METODY MĚŘENÍ VLHKOSTI V BETONU ZA BĚŽNÉ TEPLoty

Voda v betonu je prezentována v třech stádiích: jako volná voda zadržaná kapilaritou, jako absorbovaná voda zadržaná povrchovými silami a jako chemicky vázaná voda. Ideální metoda měření vlhkosti v betonu by se měla skládat ze všech těchto tří stadií, to je ale obtížné, jelikož vlhkost v betonu není rovnoměrně rozložená a rozložení vlhkosti se liší v čase. Teplota, rychlost větru a relativní vlhkost prostředí jsou proměnné, které je třeba vzít v úvahu i v okamžiku měření vlhkosti. [3]

Rozlišujeme dvě metody měření vlhkosti v betonu za běžné teploty, jednou z nich je metoda založená na koncentraci, která se dále dělí na gravimetrickou metodu a gama-denzitometrickou metodu a na metody založené na relativní vlhkosti, do kterých patří měření relativní vlhkosti pomocí senzorů, rezistivita, dielektrická metoda, mikrovlnné přístroje, tepelná metoda, infračervená absorpce, vlhkoměr Hygropin aj.[3]

METODY MĚŘENÍ VLHKOSTI V BETONU ZA ZVÝŠENÉ TEPLoty

Měření vlhkosti v betonu za zvýšených teplot je neprobádané téma. V roce 2010 představil holandský fyzik G.H.A. van der Heijden a kol. NMR metodu (nukleární magnetická rezonance), která je schopná jednorozměrně změřit vlhkostní profily v ohříváných materiálech. Skener, který je umístěn ve vývrtu v materiálu, je schopen odolávat teplotám až 500 °C. Metodika tohoto měření je zavedena pro korekci teplotních účinků při těchto zvýšených teplotách. Opravy jsou založeny na Curiově zákonu o paramagnetismu a pozorované teplotní závislosti relaxačních mechanismů vyskytujících se v pórovitých materiálech. Obě tyto korekce se používají k získávání profilu vlhkosti z profilu NMR signálu. Součástí tohoto výzkumu byl experiment, který se prováděl na betonovém válci, kde byl prezentován jednostranný ohřev betonu s obsahem vlhkosti v rovnováze s 97% RH. Tento druh experimentu je zvláště zajímavý ve výzkumu zaměřeném na vliv požáru v betonu, protože přímo odhaluje přepravu vlhkosti a tepla, která se vyskytuje uvnitř betonu. Získané profily vlhkosti odhalují vrchol vlhkosti, který se vytváří blízko povrchu, což vede k nasycené vrstvě a následnému odlupování vrstvy betonu. Na Obr. lze vidět profily signálu z přístroje v závislosti na poloze uvnitř betonového prvku.

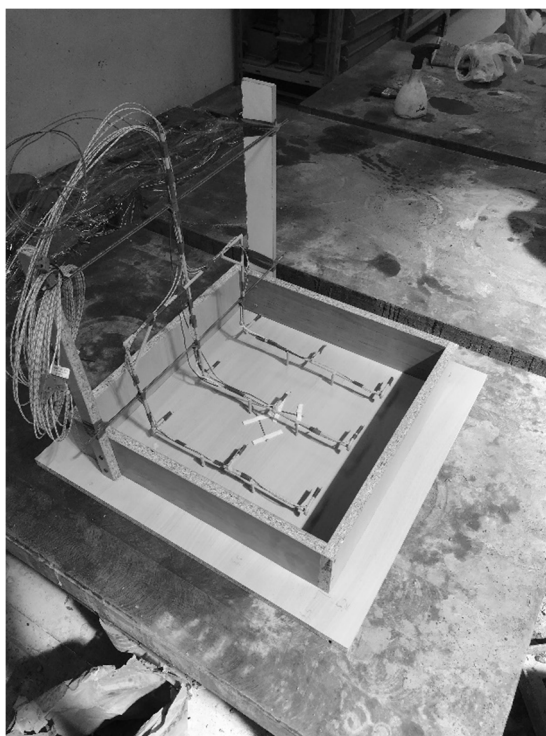


Obr. 2 (a) Profily neřízeného signálu (S) v závislosti na poloze uvnitř betonu. (b) Časový vývoj teplotních profilů, polohy termočlánků jsou označeny černými tečkami. (převzato z [2])

Fig. 13 (a) Profiles of the uncontrolled signal (S) depending on the position inside the concrete. (b) The temporal development of temperature profiles, thermocouple positions are indicated by black dots. (taken from [2])

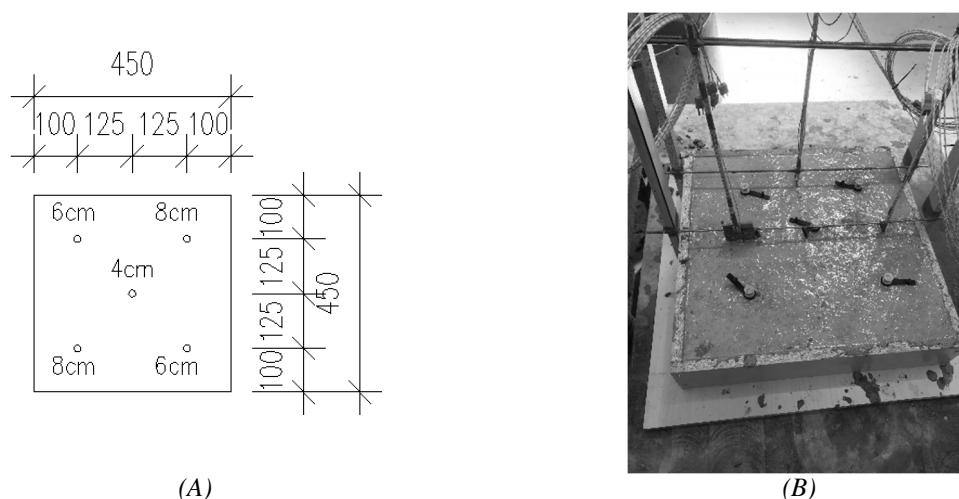
ŘEŠENÝ PŘÍKLAD - NÁVRH A PROVEDENÍ EXPERIMENTU

Praktickou část této seminární práce tvoří experiment zaměřený na měření vlhkosti a transportu tepla uvnitř betonových vzorků při jednostranném ohřívání. Vzorek se bude současně po celou dobu experimentu vážit. Experiment bude proveden na Fakultě stavební ČVUT v Praze. Budou se zkoušet celkem dva betonové vzorky o rozměrech 450 x 450 x 100 mm a váze 50 kg. Tyto vzorky budou vystaveny tepelnému záření z plynového infražáříče KASPO K30 STL. Rozměry plynového záříče odpovídají zhruba rozměrům betonových vzorků, aby nedocházelo k velkému uvolňování tepla do okolí. Teplota uvnitř vzorků se bude měřit pomocí termočlánků, které jsou v nich předem umístěné. Za účelem zjišťování vlhkosti uvnitř vzorků se do každého vzorku již při betonáži vložila měřicí pouzdra Hygropin o průměru 8 mm. Na jejich výrobu byl použit prostý beton třídy C30/37. Betonové vzorky jsou zhotoveny do dřevěného bednění.



Obr. 3 Vzorek s rozmístěním termočlánků
Fig. 3 Sample with thermocouple placement

Pro měření vlhkosti uvnitř betonových vzorků byla již při betonáži do vzorků vložena měřící pouzdra. Celkem 10 pouzder, 5 v každém vzorku. Byla zasunuta do různých hloubek. Rozmístění je na Obr.4 (A) a Obr.4 (B). Umístění je v obou vzorcích stejné, z důvodu porovnání vlhkosti obou vzorků. Měřící pouzdra jsou umístěna na neexponované straně a slouží pro sondy, které se do nich vkládají za účelem zjišťování relativní vlhkosti. V závislosti na nastavení sonda ukazuje datum, čas, vlhkost v betonu, relativní vlhkost a teplotu.



Obr. 4 (A) Rozmístění měřících pouzder ve vzorku (půdorys); (B) Rozmístění měřících pouzder ve vybetonovaném vzorku

Fig. 4 (A) Layout of measuring sleeves in the sample (floor plan); (B) Layout of measuring sleeves in the sample

ZÁVĚR

Cílem tohoto článku bylo čtenáře seznámit s problematikou měření vlhkosti uvnitř betonu, představit jednotlivé metody měření vlhkosti v betonu za běžné a za zvýšené teploty. Dále představit návrh a provedení experimentu, který je zaměřen na zjišťování vlhkosti uvnitř betonových vzorků pomocí vlhkoměru Hygropin, jehož nedílnou součástí tvoří měřící pouzdra umístěná do betonových vzorků již při betonáži. Tato pouzdra jsou umístěná v různých hloubkách a slouží pro sondy, díky kterým se bude zjišťovat vlhkost v daných hloubkách vzorku. Spolu s měřícími pouzdry jsou ve vzorcích zabetonované termočlánky pro zjišťování přenosu tepla uvnitř vzorků.

PODĚKOVÁNÍ

Především bych chtěl poděkovat panu Ing. Radku Štefanovi, Ph.D., za odborné konzultace a za pomoc při přípravě vzorků, dále panu Ing. Josefu Novákovi, Ph.D., za pomoc při betonáži.

LITERATURA

- [1] KUČA, Martin. *Experimentální analýza transportu tepla v betonových a ocelobetonových prvcích*. Praha, 2016. Diplomová práce. ČVUT.
- [2] VAN DER HEIJDEN, G.H.A., H.P. HUIJINK, L. PEL a K. KOPINGA. *One-dimensional scanning of moisture in heated porous building materials with NMR*. Journal of Magnetic Resonance [online]. 2011, **208**(2), 235-242 [cit. 2018-04-10]. DOI: 10.1016/j.jmr.2010.11.010. ISSN 10907807. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1090780710003599>
- [3] QUINCOT, Gonzalo, Miguel AZENHA, Joaquim BARROS a Rui FARIA. *Methods to measure moisture in concrete*. Guimarães, 2011. FCT.

METODY MĚŘENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ BETONU PŘI VYSOKÝCH TEPLOTÁCH

MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE AT ELEVATED TEMPERATURES – TEST METHODS

Bc. Filip Rochelt

Abstract

This article is focused on test methods of mechanical properties of concrete at elevated temperatures. It outlines the issue with elevated temperature and two main attitudes of testing. Also a foreign experiment is described. The end of this article is focused on our experiment. Experiment is focused on measuring compressive strength of concrete at elevated temperatures. Description of procedure of an experiment and evaluation is included.

Key words: Concrete; compressive strength; mechanical properties; elevated temperatures; test methods; experiment

ÚVOD

Mechanické vlastnosti materiálů se zjišťují při různých podmínkách, aby bylo možné jejich vlastnosti matematicky vyjádřit a poté díky matematickému modelu předpovídat jejich budoucí chování za těchto podmínek. Díky znalosti mechanických vlastností materiálu lze provádět statické výpočty. Pokud dokážeme popsat chování materiálu i za zvýšené teploty, pak lze navrhovat budovy i na účinky požáru.

Měření mechanických vlastností za běžné teploty je dnes běžné a v národních normách lze najít unifikovaný postup pro měření dané vlastnosti. Také se dá na trhu najít zařízení určené pro tato měření.

To bohužel neplatí o měření mechanických vlastností za zvýšené teploty. Konkrétně pro betonové prvky v České republice neexistuje žádný právní předpis, který by stanovil postup pro měření mechanických vlastností betonu při zvýšené teplotě. Nicméně Eurokód 2: Část 1-2 [1] alespoň stanovuje redukční součinitele pro vyjádření mechanických vlastností v závislosti na teplotě. Tyto redukční součinitele ovšem platí pouze pro prostý beton. Pro drátkobeton a beton vyztužený polypropylenovými vlákny je třeba zjišťovat vlastnosti ze zahraničních publikací o provedených experimentech nebo z vlastního experimentu.

MOŽNOSTI PŘÍSTUPU

Mechanické vlastnosti betonu se mohou měřit při ohřátí vzorku na požadovanou teplotu („hot state testing“) nebo lze z této teploty beton opět ochladit na běžnou teplotu. V tom případě se zkouší tzv. reziduální vlastnosti betonu („residual testing“).

Z hlediska náročnosti je jednodušší zkoušet reziduální vlastnosti betonu. Při zkoušení reziduálních vlastností se betonový vzorek ohřeje na požadovanou teplotu a poté se nechá zchladnout na běžnou teplotu, při které se vzorek zkouší. Veškeré operace se vzorkem jsou prováděny za běžné teploty, což zkoušení usnadňuje.

Zkoušení mechanických vlastností vzorku při zvýšené teplotě bez ochlazení je obtížnější. Jednak je třeba vzorek o teplotě například 800 °C přemístit ze zařízení, ve kterém je ohříván do místa, kde bude zatížen. Při tomto přemístění je třeba dbát na nepoškození zahřátého vzorku a na co nejmenší ochlazení vzorku. Také zařízení, ve kterém se vzorek bude zatěžovat, musí být odolné vůči takto vysokým teplotám.

DOPORUČENÍ RILEM

Unie RILEM (z francouzské zkratky pro mezinárodní unii laboratoří a expertů v oblasti stavebních materiálů, technických zařízení a konstrukcí) byla založena roku 1947 za účelem vědecké spolupráce v oblasti stavebních materiálů a konstrukcí. Unie se snaží udávat směr současného výzkumu a výsledky publikovat do celého světa.[2]

Celá unie se skládá z technických komisí. Technická komise číslo 129 se zabývala metodami měření mechanických vlastností betonu při vysoké teplotě a jejím předsedou byl Ulrich Schneider. [2]

V doporučeních od technické komise 129 jsou popsány doporučené postupy zkoušek mechanických vlastností betonu za zvýšené teploty. Kromě postupu jsou uvedeny i doporučené rozměry a tvary vzorků, rychlosti ohřívání a ochlazování vzorků, rychlosti zatížení vzorků a další.

ZAHRANIČNÍ EXPERIMENT

Velmi podrobný je výzkum z roku 2011, který prováděli Guo a Shi [3]. Byly použity krychlové vzorky s délkou hrany 100 mm ze čtyř různých betonových směsí. [3]

Postup pro zkoušení tlakové pevnosti betonových vzorků za zvýšené teploty byl následující. Betonové vzorky byly ohřáty v přehřívací peci na požadovanou teplotu. Po ohřátí byl každý vzorek zvlášť pomocí speciálních kleští vyndán a umístěn do zkušební pece. Ve zkušební peci byla stabilizována teplota vzorku (to zabralo asi 20 minut) a poté se začalo se zatěžováním. Rychlost zatěžování byla stanovena stejná jako za běžné teploty – 0,25 MPa/s. [3]

Pro porovnání byly vzorky zkoušeny i na reziduální pevnost v tlaku. Betonové vzorky byly ohřáty v přehřívací peci stejně jako při zkoušení tlakové pevnosti za zvýšené teploty. Po ohřátí vzorků na požadovanou teplotu byly otevřeny dvířka pece, aby se vzorky ochladily na pokojovou teplotu. Po 24 hodinách od otevření dveří bylo možné zatěžovat vzorek za běžné teploty. [3]

NÁVRH EXPERIMENTU

Zkoušet se bude celkem 45 vzorků válcového tvaru o průměru 100 mm a výšce 200 mm. Tento rozměr souhlasí s ČSN EN 12390-1 [4] a s doporučením RILEM [5]. Vzorky budou mít tři různá složení – prostý beton, provzdušněný beton a vláknobeton s polypropylenovými vlákny (viz Tab.1).

Tab. 1 Složení zkoušených vzorků

Tab. 1 Test specimen composition

Složky betonu	Podíl složky [kg/m ³]		
	Vzorek 1 (prostý beton)	Vzorek 2 (provzdušněný beton)	Vzorek 3 (PP vlákna)
Portlandský cement 42,5 R	✓	✓	✓
Voda	✓	✓	✓
Kamenivo 0-4 mm	✓	✓	✓
Kamenivo 4-8 mm	✓	✓	✓
Kamenivo 8-16 mm	✓	✓	✓
Plastifikátor	✓	✓	✓
Provzdušňovací přísada	✗	✓	✗
Polypropylenová vlákna	✗	✗	✓

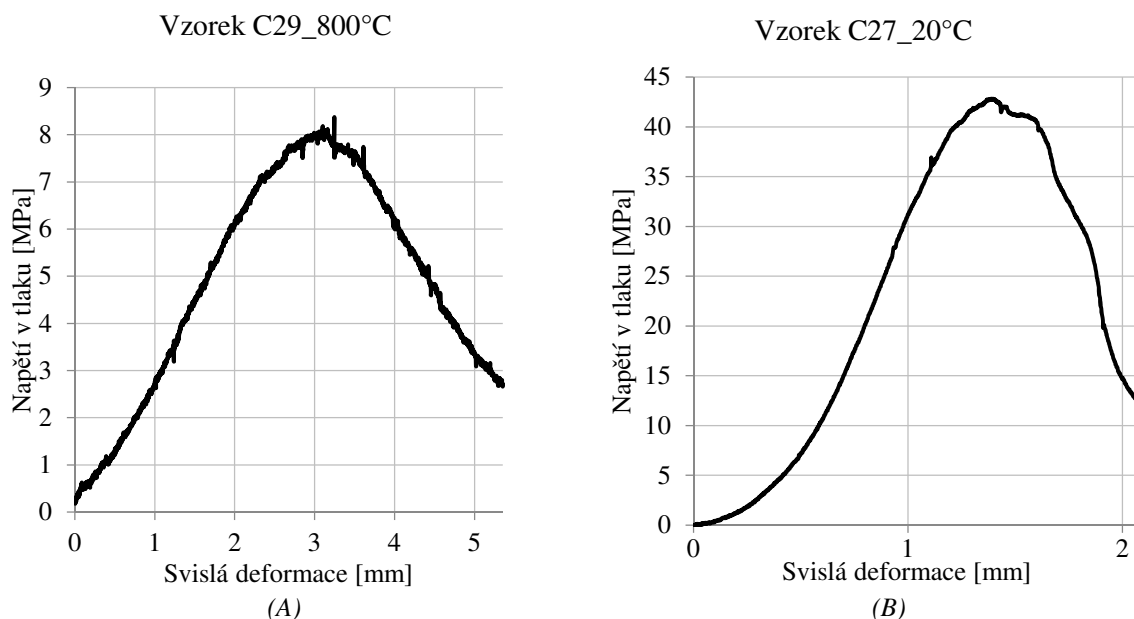
Vzorky budou zkoušeny na tlakovou pevnost při teplotách 200 °C, 400 °C, 600 °C a 800 °C. Pro zahřívání vzorků budou použity keramické dečky umístěné na plášti vzorku. Celý vzorek s takto připevněnými keramickými dečkami bude obalen ve skelné vatě o tloušťce 30 mm z důvodu efektivnějšího ohřívání. Vzorky budou ohřívány rychlostí 20 K/min. Po dosažení požadované teploty vzorku se bude udržovat teplota ještě po dobu 180 minut, aby bylo dosaženo co nejrovnoměrnosti teploty vzorku. Čas potřebný pro ohřátí vzorku na 200 °C činí celkem 189 minut, pro 400 °C je to 199 minut, pro 600 °C je to 209 minut a pro maximální teplotu 800 °C bude potřeba 219 minut.

Po ohřátí vzorku se odstraní tepelná izolace a keramická dečka. Poté se vzorek opět obalí tepelnou izolací ze skelné vaty, tentokrát pouze v ploše pláště válce. Pomocí speciálních žárovzdorných rukavic se vzorek umístí do zkušební lisu Inova 200 F. Při zkoušce pevnosti v tlaku za zvýšené teploty se budou vzorky zatěžovat rychlostí maximálně 0,5 MPa/s dle doporučení RILEM [4]. Umístění do lisu a samotné zkoušení nesmí trvat více, než 10 minut, aby se vzorek nestihl příliš ochladit.

VÝSLEDKY EXPERIMENTU

První zkouška se konala v pátek 4. května 2018. Jednalo se o vzorek s označením C29 o výšce 200,5 mm, průměru 100,2 mm a o hmotnosti 3748,9 g. Vzorek je vybetonován ze směsi z prostého betonu. Byl dodržen postup dle předchozí kapitoly.

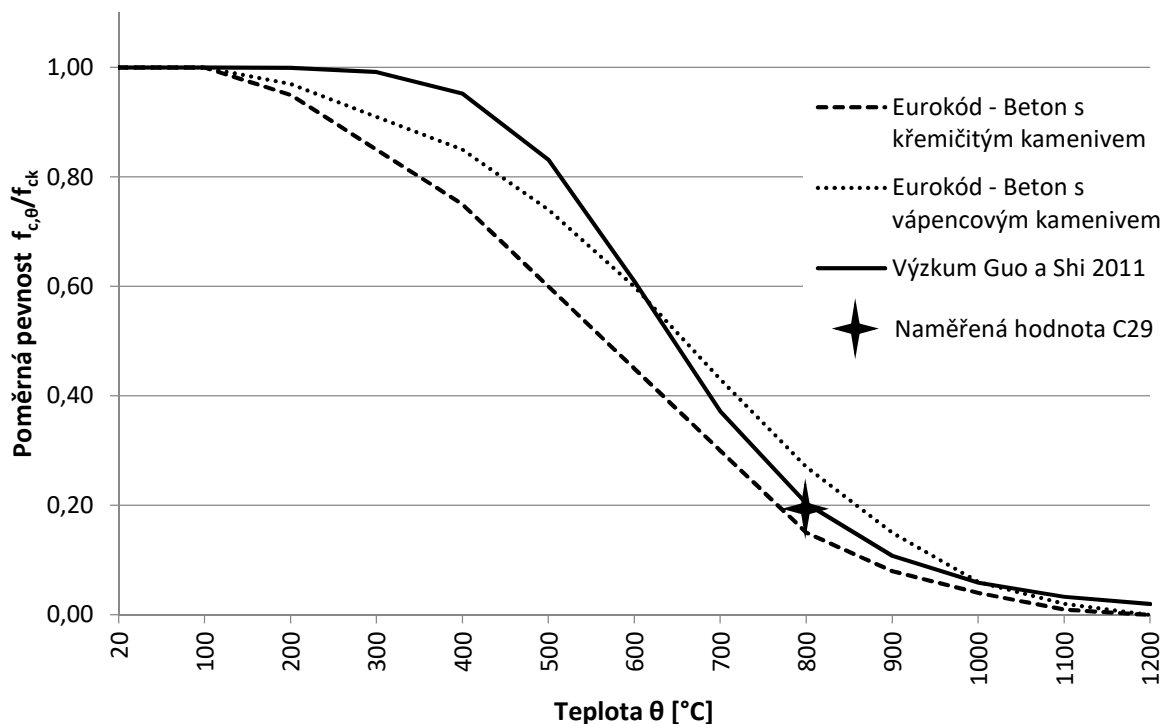
Hodnota pevnosti v tlaku vzorků z prostého betonu za běžné teploty byla změřena na vzorku C27 a činila 42,84 MPa (viz Obr. 1B). Maximální hodnota tlakového napětí ve vzorku C29 byla přibližně 8,1 MPa (viz Obr. 1A). Poměr pevnosti za zvýšené teploty a za běžné teploty je tedy 0,195.



Obr. 1 (A) Závislost tlakového napětí na deformaci při 800 °C; (B) Závislost tlakového napětí na deformaci při 20 °C

Fig. 1 (A) Stress-deformation relationship at 800 °C; (B) Stress-deformation relationship at 20 °C

Dle Eurokódu 2: Část 1–2 [1] je redukční součinitel při 800 °C pro beton s křemičitým kamenivem 0,150 a pro beton s vápencovým kamenivem 0,270. Při výzkumu Guo a Shi v roce 2011 naměřili hodnotu 0,203 pro 800 °C. Porovnání je znázorněno na Obr. 2.



Obr. 2 Porovnání naměřených hodnot s Eurokódem [1] a s výzkumem Guo a Shi [3]

Fig. 2 Comparison of our experiment with Eurocode [1] and Guo and Shi [3]

ZÁVĚR

Cílem tohoto článku bylo krátce shrnout problematiku měření mechanických vlastností betonu za zvýšené teploty a popsat a vyhodnotit prováděný experiment. I přesto že byl vyhodnocen pouze jeden vzorek, je patrné, že naměřená hodnota souhlasí s uvedenými zdroji. Pokud budou výsledky ostatních vzorků také souhlasit, pak budu moci říci, že je tato metoda ověřená. To je důležité, protože díky tomu pak i výsledky provzdušněného betonu a vláknobetonu budou průkazné.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Radku Štefanovi, Ph.D., a panu Ing. Martinu Benýškovi za odborné konzultace a dále panu Ing. Josefu Novákovi, Ph.D., za spolupráci při experimentu.

Práce vznikla za podpory Grantové agentury ČR, v rámci projektu GA17-23067S.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 1992-1-2. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru. Listopad 2006
- [2] RILEM [online]. Dostupné z: <https://www.rilem.net>
- [3] GUO, Zhenhai a Xudong SHI. *Experiment and calculation of reinforced concrete at elevated temperatures*. Waltham, MA: Butterworth-Heinemann, 2011. ISBN 978-0-12-386962-3.
- [4] ČSN EN 12390-1. *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 1: Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy*. Únor 2013
- [5] *Compressive strength for service and accident conditions*. Materials and Structures [online]. 1995, 28(7), 410–414. ISSN 0025-5432, 1871-6873. Dostupné z: doi:10.1007/BF02473077

NÁVRH A STUDIE SAMOČINNÉHO SHZ VE SKLADOVACÍCH PROSTORECH

DESIGN AND STUDY OF AN AUTOMATIC SPRINKLER SYSTEM IN WAREHOUSE

Bc. Bára Rothová

Abstract

The main subject of this article is a short introduction to the fixed firefighting systems with a focus to the specifications of automatic sprinkler systems which can be found in warehouses. The second part of this article revolves around the reaction speed of the sprinkler head based on the location of the fire's emergence. This topic is elaborated through a solved CFD model shaped exercise using the FDS software.

Key words: Automatic sprinkler system; warehouse; storage; sprinkler head; ESFR sprinkler

ÚVOD

Název stabilní hasicí zařízení slouží pro označení hasicích systému, které jsou trvale a pevně instalovány ve stavebních objektech a slouží k lokalizaci a rychlé likvidaci požáru. Tyto systémy jsou obvykle řízeny automaticky bez nutnosti řízení obsluhou. V tomto případě jsou poté označovány jako SSHZ – samočinné stabilní hasicí zařízení. Vzhledem k tomu, že systémy SSHZ reagují, na rozdíl od jednotek požární ochrany, v podstatě ihned po vzniku požáru, patří prokazatelně k nejúčinnějším aktivním prostředkům požární ochrany. Aktivní požární ochrana slouží k ochraně zdraví osob, zvířat a eliminaci případných velkých škod na majetku. Tento článek je zaměřen na problematiku a specifika použití těchto hasicích zařízení ve skladových objektech, kde je vzhledem ke kumulaci velkého množství skladovaného materiálu kladem důraz především na ochranu majetku, popřípadě stavebních konstrukcí skladových objektů.

SAMOČINNÉ STABILNÍ HASICÍ ZAŘÍZENÍ VE SKLADECH

Jak již bylo zmíněno výše, hlavním specifikem skladových objektů je kumulace velkého množství skladovaného zboží, což je ovlivněno i stále rostoucími požadavky na větší plochy skladování a vyšší skladovací výšky. Spolu s rostoucími prostory pro skladování se zvyšuje i podíl hořlavých plastů obsažených ve skladovaných materiálech, což má za následek rychlé šíření případného požáru jak v horizontálním, tak i ve vertikálním směru. Na základě výše uvedených informací bylo zjištěno, že běžná sprinklerová ochrana není pro skladové objekty dostačující, a proto se pro tyto prostory navrhuje ochrana speciální [1]. V České republice se požární bezpečnost skladů navrhuje dle ČSN 73 0845 – Požární bezpečnost staveb – Sklady, z této normy vyplývá v závislosti na umístění, velikosti požárního úseku a na skladovací výšce nutnost vybavení systémem SSHZ.

KLASIFIKACE POŽÁRNÍHO NEBEZPEČÍ

Samotné hasicí zařízení je pak řešeno v souladu s ČSN EN 12845 – Stabilní hasicí zařízení. Podle této normy musí být veškeré prostory, které mají být vybaveny sprinklerovým zařízením zařazeny do třídy nebezpečí v závislosti na druhu provozu a požárním zatížení. Sklady přesahující určité limity jsou zatříděny do třídy nebezpečí s označením **HHS**, neboli **vysoké nebezpečí skladování**. Třída vysokého nebezpečí skladování se dále dělí do čtyř kategorií:

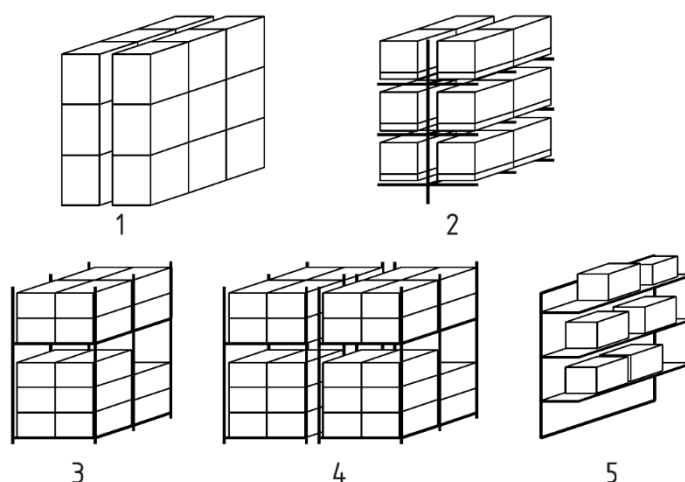
- **HHS1**, vysoké nebezpečí, skladování, kategorie I,
- **HHS2**, vysoké nebezpečí skladování, kategorie II,
- **HHS3**, vysoké nebezpečí skladování, kategorie III,
- **HHS4**, vysoké nebezpečí skladování, kategorie IV.

Do výše uvedených kategorií jsou sklady zařazeny v závislosti na materiálovém součiniteli, který zohledňuje materiál skladovaného zboží včetně jeho obalu [2].

ZPŮSOB SKLADOVÁNÍ

Neméně důležitým parametrem pro návrh sprinklerové ochrany do skladů je klasifikace skladovacích prostor dle způsobu skladování (Obr. 1):

- **ST1** – volné stohové nebo blokové skladování – zboží je skladováno v krabicích, boxech, taškách apod. a ve skladu je umístěno těsně na sebe bez jakýchkoli mezer,
- **ST2** – jednořadé regálové sklady s uličkami o šířce nejméně 2,4 m,
- **ST3** – víceřadové regálové skladování včetně dvouřadových,
- **ST4** – paletové regály – jedná se o regálovou konstrukci, na kterou jsou umístěny palety se skladovaným zbožím, pro tento způsob skladování je velmi podstatné vytvoření uliček mezi regály a zároveň zachování volného prostoru mezi skladovaným zbožím, a to jak ve vodorovném, tak i svislém směru, a to z důvodu odvodu zplodin hoření a zároveň umožnění přístupu hasiva,
- **ST5** – regály s plnou nebo laťovou policí o šířce 1 m nebo menší,
- **ST6** – regály s plnou nebo laťovou policí o šířce větší než 1 m (maximálně však 6 m).



Obr. 1 Způsob skladování [2]: 1 – volné stohové nebo blokové skladování (ST1), 2 – paletový regál (ST4), 3 – regálové skladování (ST2), 4 – regálové skladování (ST3), 5 – regály s plnými nebo laťovými policemi (ST5/6)

Fig. 1 Storage configuration [2]: 1 – free-standing storage (ST1), 2 – palletized rack (ST4), 3 – post-pallet storage (ST2), 4 – post-pallet storage, (ST3), 5 – solid or slatted shelves (ST5/6)

ZPŮSOB JIŠTĚNÍ SKLADŮ V ZÁVISLOSTI NA UMÍSTĚNÍ SPRINKLERŮ

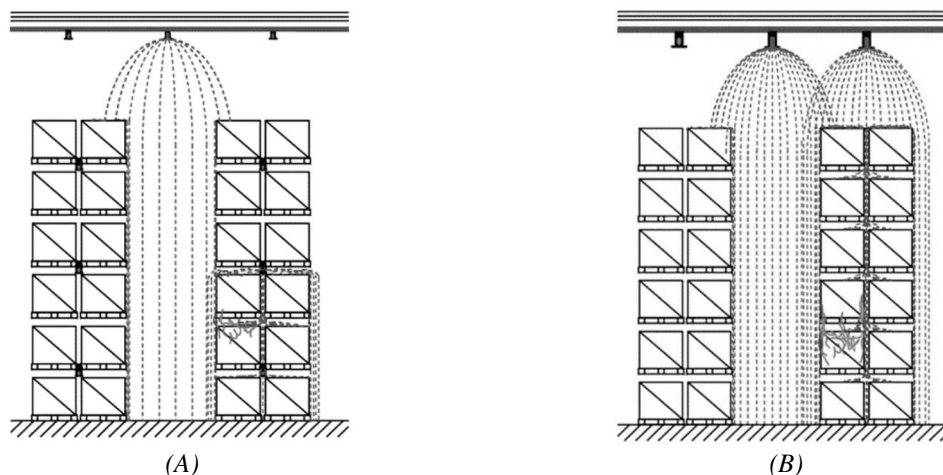
V závislosti na způsobu uspořádání sprinklerových hlavice do skladových prostorů rozlišujeme pouze stropní jištění nebo kombinaci stropního jištění s regálovým (Obr. 2).

- **Pouze stropní jištění**

Využití pouze stropního jištění je možné jen do určitých výšek skladů v závislosti na typu skladování. Od určitých výšek musí být stropní jištění doplněno jištěním regálovým. Výjimku tvoří sprinklery, jejichž funkčnost je ověřena na základě ohňových zkoušek i u vysokoregálových skladů. Tuto deklaraci má například systém ESFR. Zkratka ESFR vychází z anglického „Early Suppression Fast Response“ a vyjadřuje, že se jedná o sprinklerové hlavice s rychlou odezvou, které jsou schopny potlačit požár v počáteční fázi rozvoje, jelikož těmito sprinklery protéká až 600 litrů vody za minutu. K instalaci tohoto systému se však váže i velké množství podmínek a návrhových požadavků, které musí být striktně dodrženy, aby nedošlo ke snížení účinnosti. V prostorech, kde jsou umístěny ESFR sprinklery je například nepřipustné instalovat samočinně ovládané zařízení pro odvod tepla a kouře.

- **Stropní a regálové jištění**

Jak již bylo zmíněno, od určitých výšek skladů je stropní jištění nutno doplnit jištěním regálovým. Regálové jištění zajišťuje chlazení a hašení i přímo v regálech, což snižuje spotřebu vody a zvyšuje účinnost hašení. Nevýhodou tohoto systému je však nutnost instalace potrubního rozvodu i do regálů, čímž roste riziko mechanického poškození sprinklerové hlavice a tím nechtěného spuštění hašení. Další nevýhodou tohoto způsobu instalace je významné snížení prostorové flexibility skladů, která je ve většině případů investory a pronajímateli požadována.



Obr. 2 (A) Stropní a regálové sprinklery; (B) stropní sprinklery ESFR (zdroj: sprinkplan.cz)
 Fig. 2 (A) Ceiling and in-rack sprinklers; (B) ceiling ESFR sprinklers

Pokud je to možné, je vždy upřednostňováno využití kombinace stropního a regálového jištění před použitím pouze stropních sprinklerů [3].

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Řešený příklad byl vymodelován za pomoci softwaru FDS (Fire Dynamics Simulator), což je software založený na principech dynamického proudění tekutin neboli CFD (Computational Fluid Dynamics). Pro zpracování výsledků bylo dále užito tabulkového procesoru MS Excel a vizualizačního programu Smokeview.

Vzhledem k problematice rychlého šíření požáru ve skladových prostorách a k nutnosti návrhu co nejúčinnější požární ochrany zajišťující včasné a účinné spuštění hašení, je předmětem tohoto příkladu porovnání reakčního času sprinkleru v závislosti na místě vzniku požáru.

V rámci řešeného příkladu byla vymodelována vybraná část skladovací haly o rozměrech 6,0 x 5,0 x 10,7 m se zjednodušenými okrajovými podmínkami. Do řešeného prostoru byl umístěn ocelový paletový regál se čtyřmi výškovými úrovněmi skladování o celkové výšce 6,4 m. Regál byl poté plně zaplněn skladovacím materiálem tvořeným dřevěnými paletami, na kterých bylo situováno 36 plastových přepravek s PET láhvemi. Nad regálem bylo ve výšce 10,7 m umístěno zařízení simulující sprinklerovou hlavici, které zároveň zajišťovalo měření teploty.

Následně bylo provedeno pět výpočtů na základě rozdílných požárních scénářů. V každém požárním scénáři bylo namodelováno zapálení jedné palety, která byla však pokaždé umístěna v jiné výškové úrovni (nejdříve na podlaze před regálem a dále v každé ze čtyř polic regálu). Výpočetní čas pro všechny výše zmíněné požární scénáře byl nastaven na 250 s, spouštěcí teplota sprinklerové hlavice byla definována 68 °C. Časy, ve kterých došlo k dosažení spouštěcí teploty sprinkleru, a to po souvislou dobu alespoň 5 s, jsou uvedeny v Tab. 1 níže.

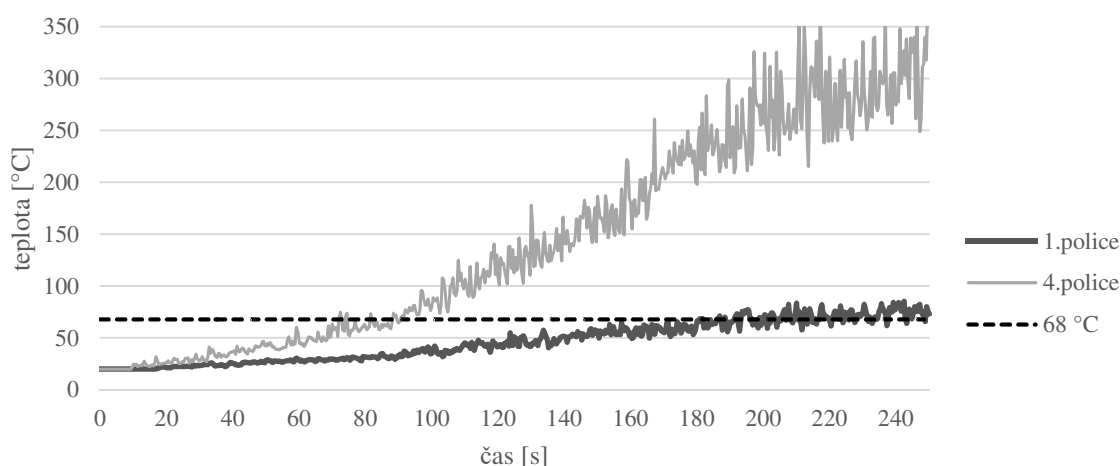
Tab. 1 Reakční čas sprinkleru

Tab. 1 Reaction speed of the sprinkler

Umístění hořící palety	na podlaze	v 1. polici	ve 2. polici	ve 3. polici	ve 4. polici
Čas dosažení 68 °C [s]	191,31	195,2	155,53	128,01	95,11

Z výše uvedené tabulky je patrné, že se zvyšující se vzdáleností a počtem překážek mezi sprinklerovou hlavicí a hořící plochou dochází k růstu reakčního času. Rozdíl v těchto časech je až 100 s. Nejdelší reakční čas byl tedy naměřen u požárního scénáře, ve kterém byla hořící paleta umístěna do nejnižší police regálu, a nad touto hořící plochou byly dále umístěny překážky bránící proudění zplodin hoření. Mezi tyto překážky patří konstrukce samotného regálu a další tři vrstvy skladovaného zboží.

Porovnání průběhu teplot naměřených v požárních scénářích s nejkratším a nejdelším reakčním časem, tedy v případě, kdy byla hořící paleta umístěna ve vrchní a poté v nejspodnější polici regálu, je znázorněno v grafu níže (Obr. 3). V grafu je také zvýrazněna sledovaná hodnota spouštěcí teploty 68 °C. V neposlední řadě je z uvedeného grafu patrné, že v případě vzniku požáru ve vyšší výšce dochází k výraznější kumulaci horkých zplodin hoření v prostoru pod stropem, což vede k podstatě rychlejšímu nárůstu teplot, rozdíl v naměřených teplotách v čase 250 s dosahoval hodnot až cca 270 °C.



Obr. 3 Průběh teplot

Fig. 3 Temperature progress

ZÁVĚR

Předmětem článku bylo stručné představení samočinných stabilních hasicích zařízení, se zaměřením na problematiku a specifikaci těchto zařízení ve skladových prostorech. Druhá část článku se věnovala řešenému příkladu, ve kterém byly porovnávány reakční časy sprinklerové hlavicice v závislosti na výšce a poloze vzniklého požáru. Výsledkem tohoto příkladu bylo potvrzení předpokladu, že s rostoucí vzdáleností a počtem překážek, pro proudění horkých zplodin hoření, mezi sprinklerovou hlavicí a hořícím povrchem roste i reakční čas sprinklerů.

LITERATURA

- [1] RYBÁŘ, Pavel. *Sprinklerová zařízení*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2011. ISBN 978-80-7385-106-4.
- [2] ČSN EN 12845 *Stabilní hasicí zařízení - Sprinklerová zařízení - Návrh, instalace a údržba*, Praha: ÚNMZ. 2015
- [3] RYBÁŘ, Pavel. Sprinklerová stabilní hasicí zařízení - III. díl. TZB-info [online]. [vid. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/pozarni-vodovod/14023-sprinklerova-zarizeni-iii-dil>

NÁVRH A STUDIE SPRINKLEROVÉHO SHZ V ADMINISTRATIVNÍCH BUDOVÁCH

DESIGN AND STUDIES OF SPRINKLER SYSTEMS IN OFFICE BUILDINGS

Bc. Martin Krlín

Abstract

The subject of this article is to introduce sprinkler systems, that are the most used firefighting systems in office buildings. Attention in the following text is paid mainly to basic information, function and components of sprinkler systems. The second part of the text is focused on the exemplar, where it is compared efficiency of upright and pendent sprinkler heads. This exemplar is created as mathematical CFD model for three different fire scenarios – office space without application of sprinklers, with application of upright sprinklers and with application of pendent sprinklers.

Key words: Sprinkler systems; office buildings; upright sprinklers; pendent sprinklers; CFD model; fire

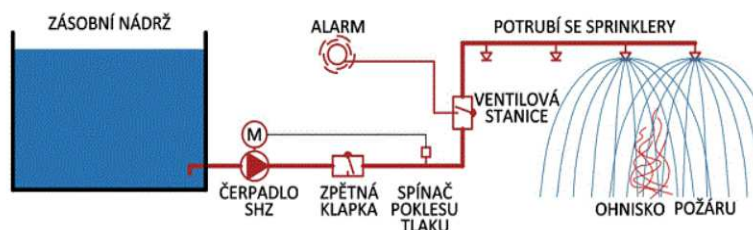
ÚVOD

Systémy stabilních hasicích zařízení (dále jen SHZ) patří dle vyhlášky ministerstva vnitra č. 246/2001 Sb. mezi vyhrazená požárně bezpečnostní zařízení trvale instalovaná v objektu a jsou jedním z mnoha systémů zajišťující protipožární bezpečnost staveb a ochranu majetku či osob. Jedná se o nejvýznamnější prvky aktivní ochrany z toho důvodu, že se jedná o jediné požárně bezpečnostní zařízení aktivně hasící požár. Jsou určeny pro automatický zásah při vzniku požáru, konkrétně v jeho počátečních fázích rozvoje, kde jsou systémy SHZ nejúčinnější. Hlavním cílem SHZ je uhasit požár přímo v jeho zárodku nebo bránit jeho šíření. [1]

SPRINKLEROVÁ SHZ

Sprinklerová SHZ jsou nejrozšířenějším zařízením tohoto druhu, kdy se jako hasivo nejčastěji používá voda (vodní), popřípadě voda kombinovaná s pěnou (pěno-vodní). Patří do skupiny vodních SHZ. Dle vyhlášky ministerstva vnitra č. 246/2001 Sb., o požární prevenci se jedná o vyhrazená požárně bezpečnostní zařízení, pro jejichž montáž, projektování a zajišťování provozuschopnosti je nutno dodržovat požadavky této vyhlášky. Sprinklerové zařízení je navrhováno pro detekci a uhašení požáru v jeho počátečních fázích nebo pro zabránění šíření požáru. V administrativních objektech se nejčastěji využívá právě sprinklerových systémů s vodním hasivem. [2]

Běžné sprinklerové zařízení se skládá ze zdroje vody (nebo více zdrojů), monitorovacích zařízení a z jedné nebo více sprinklerových soustav tvořených z ventilových stanic, rozváděcích a rozdělovacích potrubí pevně připojených ke stavebním konstrukcím a hasicích koncovek – sprinklerových hlavíc, které zajišťují rovnoměrné pokrytí chráněného úseku hasivem (viz Obr. 1). U některých typů sprinklerových systémů je pro zvýšení účinnosti součástí hasicího zařízení EPS nebo jiný detekční systém, který slouží pro řízení ventilových stanic. [2]

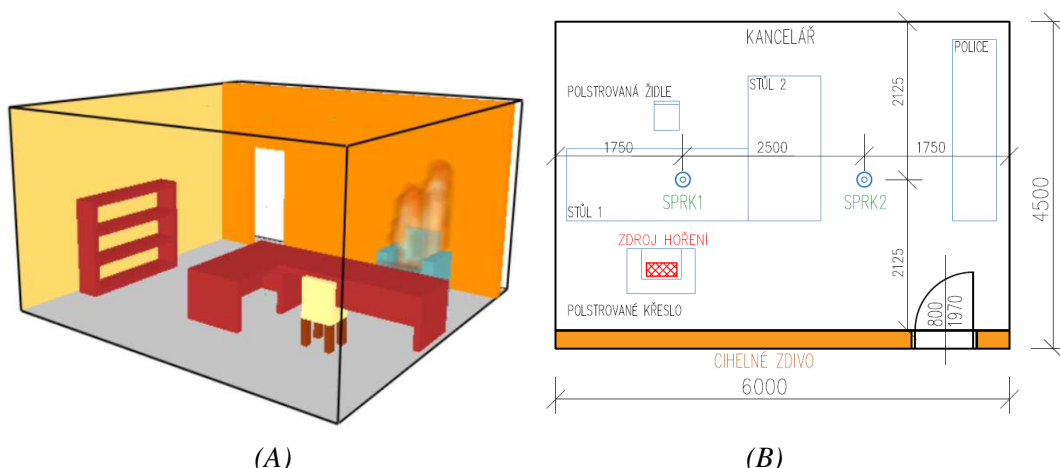


Obr. 1 Schéma sprinklerového SHZ [3]

Fig. 1 Scheme of the sprinkler system [3]

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

V rámci řešeného příkladu byl vytvořen CFD model kancelářského prostoru o rozměru 6,0 x 4,5 m a světlé výšce místnosti 3,0 m, kde byl dále modelován kancelářský nábytek jako dřevěné stoly, dřevěná police, polstrovaná židle a polstrované křeslo. Zdroj hoření byl umístěn na úroveň sedadla křesla a byl definován jako požár polstrovaného křesla s maximální hodnotou HRR 643 kW. Doba měření modelu byla nastavena na 120 s. Dle zásad navrhování sprinklerů byly do modelovaného prostoru navrženy vždy dvě hlavice jisticí plochu místnosti. Rozvržení je patrné z Obr. 2.



Obr. 2 (A) Dispozice modelovaného prostoru - axonometrie; (B) Dispozice modelovaného prostoru - půdorys

Fig. 2 (A) Layout of model space – axonometry; (B) Layout of model space – floor plan

Cílem příkladu bylo porovnat účinnost, respektive čas uhašení požáru s využitím stojatých a závěsných sprinklerových hlavice. Parametry byly převzaty z konkrétních typů sprinklerových hlavice firmy TYCO (viz Tab. 1). Porovnání obou typů hlavice bylo provedeno v softwaru FDS (Fire Dynamics Simulator) s doplňkovým využitím softwaru PyroSim 2018.

Tab. 1 Parametry sprinklerových hlavice

Tab. 1 Parameters of sprinkler heads

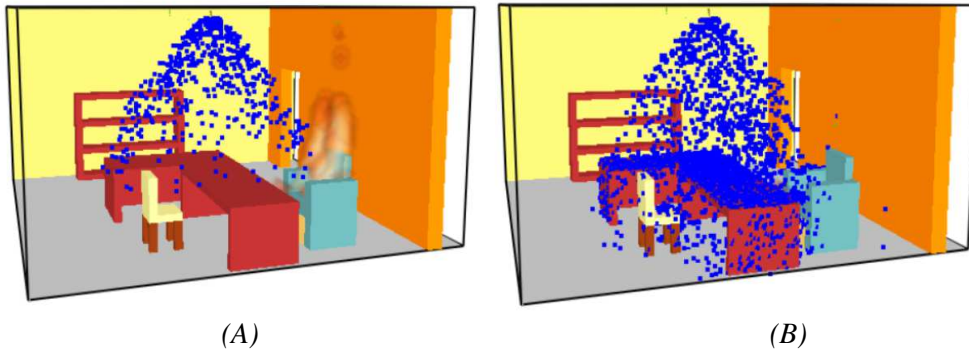
Typ sprinkleru	TYCO TY-B stojatý	TYCO TY-B závěsný
RTI	40 – rychlá odezva	100 – standardní odezva
K-faktor	115	115
Otevírací teplota	68 °C	68 °C

VÝSLEDKY VÝPOČTU

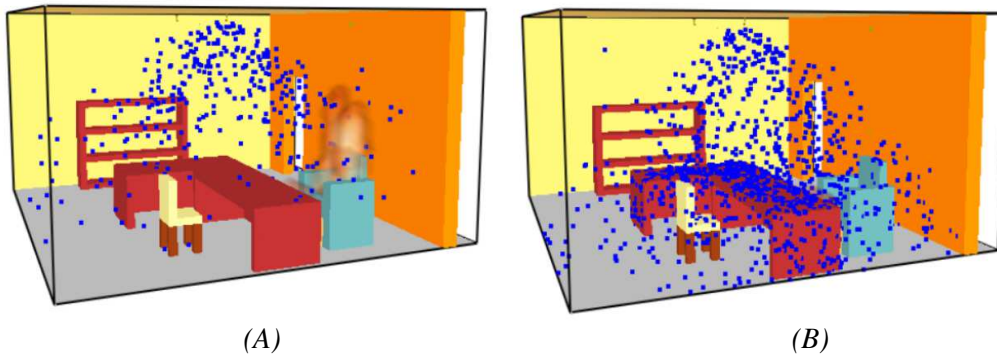
Sledována byla aktivace sprinklerů a následné uhašení požáru. Teplota byla měřena nad místem zdroje hoření, konkrétně u stropu ve výšce 3,0 m nad podlahou, kde docházelo k nejvyšším kumulacím teplot. V požárním scénáři bez aplikace sprinklerového systému se oheň ze zdroje hoření (polstrovaného křesla) rozšířil dále na stoly, přičemž nejvyšší naměřená teplota dosáhla hodnoty 863 °C.

Ve scénáři s aplikací závěsných sprinklerových hlavice došlo k aktivaci prvního sprinkleru v čase 46,9 s od začátku měření, přičemž k úplnému uhašení požáru došlo v čase 69,9 s. Nejvyšší maximální teplota s využitím těchto typů sprinklerů byla naměřena na 657 °C (viz Obr. 3).

V posledním scénáři, při aplikaci stojatých sprinklerových hlavice, byla aktivace prvního sprinkleru zaznamenána v čase 36,1 s a k uhašení požáru došlo v čase 46,6 s, přičemž nejvyšší zaznamenaná teplota v místnosti byla 488 °C (viz Obr. 4).

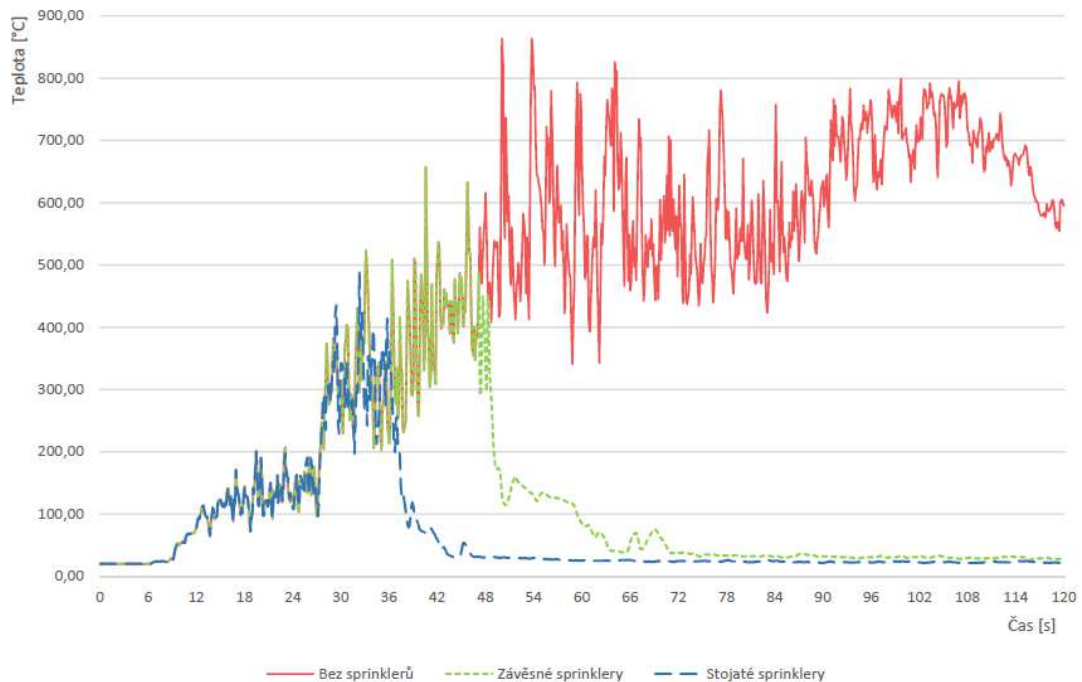


Obr. 3 (A) Závěsný sprinkler (čas 00:00:47); (B) Závěsný sprinkler (čas 00:00:70)
 Fig. 3 (A) Pendent sprinkler (time 00:00:47); (B) Pendent sprinkler (time 00:00:70)



Obr. 4 (A) Stojatý sprinkler (čas 00:00:36); (B) Stojatý sprinkler (čas 00:00:46)
 Fig. 4 (A) Upright sprinkler (time 00:00:36); (B) Upright sprinkler (time 00:00:46)

Jak můžeme vidět z předešlých obrázků, sprinklery jsou velmi efektivním samočinným hasicím zařízením eliminující rozvoj požáru od jeho prvních fází. Porovnání teplot z jednotlivých scénářů je zobrazeno v Obr. 5.



Obr. 5 Porovnání teplot požárních scénářů
 Fig. 5 Comparison of fire scenario temperatures

ZÁVĚR

Při porovnání účinnosti stojatých a závěsných sprinklerových hlavíc modelový výpočet ukázal rychlejší efektivitu v potlačování teploty při aplikaci hlavíc stojatých. Hlavním důvodem je nižší hodnota RTI indexu (index reakční doby sprinklerové hlavice), oproti hlavici závěsné. Obecně se sprinklery s hodnotou RTI do 50 nazývají sprinklery s rychlou odezvou (použité závěsné sprinklery s hodnotou RTI 100 mají tzv. standartní odezvu), ale ne vždy je tyto sprinklery nutné použít. Při návrhu sprinklerových samočinných stabilních hasicích zařízení se musí vycházet hlavně z hodnot požárních rizik, tříd nebezpečí a zejména charakteru hořlavých látek, které tvoří požární zatížení.

Dalším faktorem, který může ovlivňovat hasící schopnosti sprinklerů, může být úhel rozstříku, který se liší podle pozice tříštiče. Z celkového pohledu se však nedá na jednotlivé typy sprinklerů přihlížet jako na méně či více účinné, jelikož návrh každého druhu a typu sprinklerů má vždy své projekční opodstatnění.

V oboru sprinklerové ochrany dlouhodobě probíhá vývoj nových sprinklerů a hledají se způsoby jak zvyšovat účinnost a snižovat ceny instalací.

LITERATURA

- [1] 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.
- [2] RYBÁŘ, Pavel. *Sprinklerová zařízení*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2011. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-106-4.
- [3] *Projekty požárních sprinklerů (SHZ)* [online]. Dostupné z: <http://www.sprinkplan.cz/sprinkler/>
- [4] WALD, František a kol. *Modelování dynamiky požáru při návrhu konstrukcí – Příručka k programu FDS*. Praha: ČVUT v Praze – Fakulta stavební, 2015. ISBN 978-80-01-05633-2.
- [5] *Product Summary | Standard Spray*. Tyco Fire Products [online]. Dostupné z: <https://www.tyco-fire.com/index.php?P=product&S=S1>

ANALÝZA VLIVU VĚTRU NA PŘIROZENÉ VĚTRÁNÍ CHRÁNĚNÉ ÚNIKOVÉ CESTY

WIND-INDUCED NATURAL VENTILATION ANALYSIS OF PROTECTED ESCAPE ROUTES

Bc. Václav Brežík

Abstract

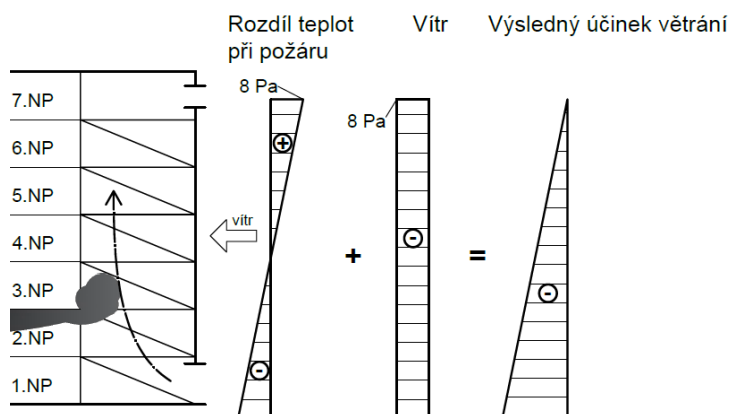
The aim of this article is to analyse the influence of wind on the natural ventilation of the protected escape routes. Two ways to verify ventilation efficiency will be compared. For the first option, which is a simplified calculation (according to ČSN 73 0802), an Excel "program" is developed. The efficiency of natural ventilation can be easily verified, including the influence of wind in this program. FDS 6 (Fire Dynamics Simulator) and Pyrosim 2018 are used as the second method to verify the efficiency of the proposed ventilation. Both programs work with mathematical CFD (Computational Fluid Dynamics) models.

Key words: Wind; natural ventilation; fire; CFD model; protected escape routes

ÚVOD

Tento článek je zaměřen na problematiku návrhu přirozeného větrání CHÚC A a na to, jak je jeho účinnost ovlivněna větrem. Konkrétně budou porovnány výsledky zjednodušeného výpočtu, který je považován za dostačující v souladu s ČSN 73 0802 simulace pomocí CFD modelu.

Možností základních variant, jak lze umístit polohu větracích otvorů vůči návětrné straně a poloze budovy je mnoho [1]. Jednou z často využívaných variant je situace, kdy se oba větrací otvory nachází na návětrné straně. Při působení větru na tyto otvory může nastat situace, kdy v horním odvětracím otvoru vzniká podtlak na vnitřní straně obvodové stěny. Tím pádem nedochází k odvětrání zplodin hoření z prostoru CHÚC a toto větrání není účinné (Obr. 1).



Obr. 1 Tlakový diagram na vnitřní straně obvodové stěny; neúčinné větrání
Fig. 1 Pressure difference on the inside of the peripheral wall; inefficient ventilation

NÁVRH PŘIROZENÉHO VĚTRÁNÍ DLE NORMOVÝCH POŽADAVKŮ

Na spolehlivost přirozeného větrání má vliv celá řada jevů a v průběhu roku i samotného dne může být jeho účinnost proměnlivá. Při návrhu se může projektant dle ČSN 73 0802 [2] rozhodnout pro 2 možnosti. První možností je navrhnout otvory pro přívod i odvod vzduchu o určité velikosti podle normových hodnot. Konkrétní podmínky v lokaci, či z hlediska stavební dispozice pak již není nutné ověřovat (rychlost větru, poloha vůči směru větru, tlaková ztráta schodištěm, osová vzdálenost větracích otvorů).

Druhou možností je výpočet. V normě ČSN 73 0802 [2] jsou dvě varianty, první z nich je postup podle přílohy H, která ovšem slouží pro návrh ZOKT, a pro projektanta PBŘ je tento postup nesrozumitelný a složitý. Druhou možností je zjednodušený výpočet v souladu s článkem 9.4.3. V tomto článku se mimo jiné píše, že je nezbytné posoudit možnost průniku zplodin hoření do chráněné únikové cesty. Musí se zejména omezit vznik podtlaku způsobujícího přisávání zplodin hoření do chráněné únikové cesty. Při tomto postupu se doporučuje vycházet z požadavku patnáctinásobné výměny u CHÚC typu A a dvacetinásobné výměny u CHÚC typu B. Další podmínkou je, že teplotní rozdíl mezi exteriérem a interiérem je max. 10 °C. Teplota nad úrovní požáru v prostoru CHÚC je vyšší max. o 20 °C oproti teplotě v interiéru. Maximální rychlost větru na závětrné straně je 5 m.s⁻¹ [1].

ZÁKLADNÍ POPIS OBJEKTU

Bytový dům Budulínka má 7 nadzemních podlaží. Vzhledem k tomu, že lokace není blíže určena, je celoroční průměrná hodnota větru převzata z publikace „Požární větrání chráněných únikových a zásahových cest“ [1]. Schodiště v objektu je navrženo jako CHÚC typu A. Větrání CHÚC je přirozené pomocí otvorů v nejnižším a nejvyšším místě. Přívod čerstvého vzduchu je zajištěn vstupními dveřmi a ohřátý vzduch, je následně odváděn pomocí okna v posledním nadzemním podlaží.

VÝPOČET POMOCÍ PROGRAMU EXCEL

Pro rychlé a jednoduché ověření funkčnosti přirozeného požárního větrání CHÚC byl vytvořen výpočetní Excel. Výpočet byl proveden v souladu s publikací „Požární větrání chráněných únikových a zásahových cest“ [1]. V této kapitole bude ve zkratce popsán postup výpočtu a poté porovnány výsledky pro 2 varianty. První varianta je pro celoroční průměrnou hodnotu větru $w = 3,08 \text{ m.s}^{-1}$ (varianta A), pro druhou variantu byla použita hodnota vyšší, ke které v průběhu roku běžně dochází, $w = 3,8 \text{ m.s}^{-1}$ (varianta B) [1].

Přirozené větrání je založeno na principu tzv. „komínového tahu“. Jedná se o rozdíl hustot vzduchu přiváděného z exteriéru a vzduchu ohřátého v požárem zasaženém prostoru. Výpočet hustot je proveden dle stavové rovnice ideálního plynu, na základě jejich teplot. Následně se určí tlakový rozdíl, který je způsoben vlivem výše zmíněných rozdílných teplot [2]:

$$\rho = \frac{p}{461,5 \cdot T} \cdot \frac{(1+x)}{(0,622+x)}$$

Vliv větru je do výpočtu zanesen velikostí dynamického tlaku. Dynamický tlak větru je teoretická hodnota, ve které není zohledněno, na jakou stranu budovy působí. Pomocí aerodynamického součinitele budovy je nutné zohlednit, zda vítr působí na návětrnou, závětrnou či boční stěnu či střechu [1]:

$$p_{d,w} = \frac{w^2}{2} \cdot \rho_e$$

Při výpočtu tlakových rozdílů vzniklých různými teplotami a působením větru je nutné zohlednit i tlakovou ztrátu vzniklou prouděním vzduchu schodišťovou šachtou. Schodiště klade proudícímu vzduchu určitý odpor, který je nutné od celkových tlakových rozdílů odečíst. Rozpětí doporučených hodnot pro tlakovou ztrátu schodištěm je pro panelovou výstavbu od 2 do 5 Pa na jedno podlaží [1]. Další z fyzikálních podstat přirozeného větrání je podmínka větrací rovnováhy. Větrací otvory vytvářejí odpor, který musí proudící vzduch překonat. Tento odpor se ve výpočtu vyjadřuje pomocí výtokového součinitele „C“. Při uvažování stejného výtokového součinitele u přívodního i odváděcího otvoru, lze rovnice upravit na následující:

$$M_{př} = C \cdot A_{př} \cdot \left[\frac{dp_{celk}}{1 + \frac{\rho_e}{\rho_i} \cdot \left(\frac{C_{př} \cdot A_{př}}{C_{odv} \cdot A_{odv}} \right)^2} \right]^{0,5} \quad M_{odv} = C \cdot A_{odv} \cdot \left[\frac{dp_{celk}}{1 + \frac{\rho_i}{\rho_e} \cdot \left(\frac{C_{odv} \cdot A_{odv}}{C_{př} \cdot A_{př}} \right)^2} \right]^{0,5}$$

Uvnitř budovy se tlak pod neutrální rovinou projevuje jako podtlak ($-dp_1$), a naopak tlak vzniklý nad neutrální rovinou jako přetlak ($+dp_2$). [3] Výška neutrální roviny se pohybuje v závislosti na ploše

větracích otvorů a teplotě vnitřního a venkovního vzduchu. Její polohu lze odvodit na základě podobnosti trojúhelníků [1] z následujícího vztahu:

$$\frac{H}{dp_{\text{celk}}} = \frac{h_1}{dp_{\text{př}}}$$

CFD MODEL

Pomocí softwaru Pyrosim 2018 byl vytvořen zjednodušený model a výpočet byl následně proveden pomocí programu FDS 6. Pro zjednodušení výpočtu je uvažován pouze prostor jednoho bytu a schodiště. Bezpečná doba evakuace na CHÚC A je 4 minuty. Pro tento model se předpokládá vyhlášení požárního poplachu do 60 s od počátku hoření. Požární větrání tedy musí být funkční minimálně po dobu 300 s. Požár je definovaný v souladu s výsledky požární zkoušky jako požár obývacího pokoje o rozměrech 4 x 4 m dle publikace Design Fires for Fire Safety Engineering [4].

VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Varianta A – Excel

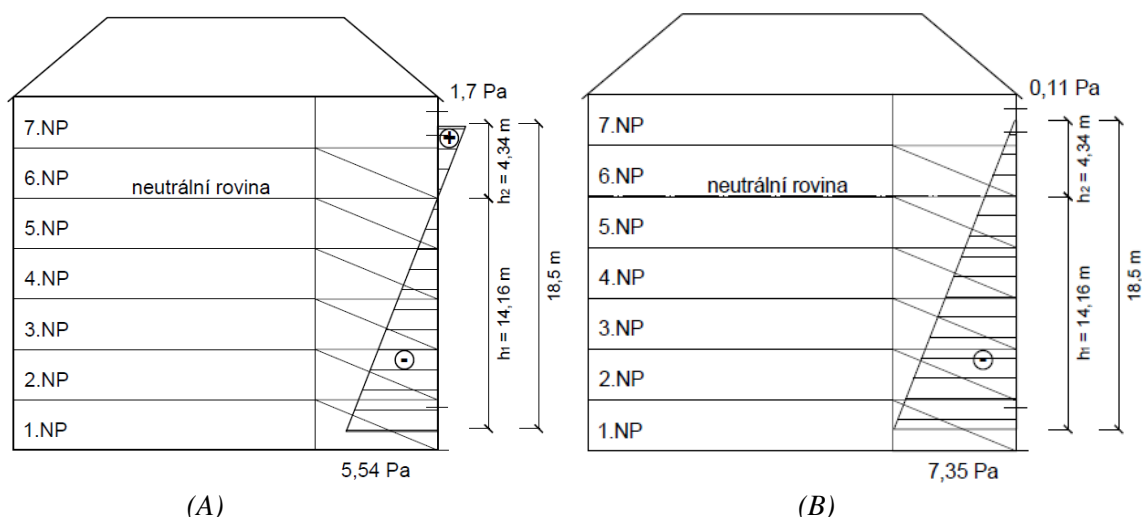
Ve variantě A dochází k výměně vzduchu zhruba 33× za hodinu, což je vyhovující hodnota. Dle normy ČSN 73 0802 je požadavek na minimální výměnu vzduchu pro CHÚC A 15× za hodinu. Takto navržené přirozené větrání je vyhovující.

Varianta A – CFD model

Již po několika sekundách dochází k vyrovnání teplot v interiéru a exteriéru. Nastavení počáteční teploty v prostoru schodiště 17 °C a venkovní teploty 7 °C tedy ztrácí význam a rozdíl teplot vzniká pouze vlivem teplého kouře, který proniká do prostoru CHÚC. Otvoru, kterým zplodiny hoření pronikají do prostoru CHÚC, je příliš veliký a tato situace by v praxi nikdy neměla nastat. Toto je hlavní důsledek negativních hodnot, kterých bylo výpočtem dosaženo. Evakuace touto chráněnou únikovou cestou není bezpečná.

Varianta B

Ve variantě B vzniká v horním odvětracím otvoru podtlak na vnitřní straně obvodové stěny. Tím pádem nedochází k odvětrání zplodin hoření z prostoru CHÚC a toto větrání není vyhovující. Výsledné tlakové diagramy z výpočtu v programu Excel jsou vykresleny na Obr. 2.



Obr. 2 Tlakový diagram na vnitřní straně obvodové stěny: (A) Varianta A; (B) Varianta B
Fig. 2 Pressure difference on the inside of the peripheral wall: (A) Variant A; (B) Variant B

ZÁVĚR

Dle obecně užívaných standardů se předpokládá, že návrhové výpočty pomocí vzorců jsou vždy na straně bezpečnosti. Výsledky z modelací, které se více podobají realitě, jsou zpravidla méně konzervativní, ale zároveň považovány za správné. Jak vyplývá z tohoto článku, výsledky získané pomocí zjednodušeného výpočtu a simulace CFD modelu mohou být rozdílné. Zatímco dle výpočtu splňuje větrání veškeré požadavky norem, dle výsledků z programu FDS 6 není zajištěno odvětrání zplodin z prostoru CHÚC a dochází zde k hromadění kouře. Hlavním důvodem, kvůli kterému se hodnoty z modelace od výpočtu odchylují, je, že vstupní data v CFD modelu nepřipomínají reálnou situaci. Největší vliv na průběh modelace mělo přímé propojení hořící místnosti a prostoru schodiště otvorem 500 x 2000 mm. Docházelo tedy k přímému odvodu zplodin hoření do prostoru CHÚC. Prouděním studeného větru do objektu dojde k ochlazení vzduchu v prostoru schodiště a následnému vyrovnání teplot v interiéru a exteriéru, tím pádem nemůže nastat komínový tah. Teplý kouř, pronikající do prostoru CHÚC vytváří určitý tlakový rozdíl, který ovšem není dostatečný, pro překonání dynamického tlaku větru a k větrání nedochází.

Při poloze přírodního i odvětracího otvoru na návětrné straně dochází důsledkem větru ke značnému ovlivnění přirozeného větrání. Z dispozičních důvodů nelze vždy zajistit ideální polohu otvorů vzhledem ke směru větru, a proto by se dle zjištěných výsledků měla ověřovat účinnost navrhovaného větrání, alespoň podrobným výpočtem, který je v souladu s normou ČSN 73 0802 považován za dostačující.

NOMENKLATURA

ρ	atmosférický tlak vzduchu [Pa]
T	absolutní teplota vzduchu [K]
x	měrná vlhkost vzduchu [$\text{kg.kg}_{\text{s.v.}}^{-1}$]
h_1	osová vzdálenost dolního větracího otvoru od neutrální roviny [m]
h_2	osová vzdálenost horního větracího otvoru od neutrální roviny [m]
H	osová vzdálenost větracích otvorů [m]
dp_{celk}	celkový tlakový rozdíl mezi větracími otvory vzniklý rozdílem teplot [Pa]
$dp_{\text{př}}$	tlakový rozdíl pro překonání odporu vzduchu přírodním otvorem [Pa]
A_{odv}	geometrická plocha odváděcího otvoru [m^2]
$A_{\text{př}}$	geometrická plocha přiváděcího otvoru [m^2]
$p_{\text{d,w}}$	dynamický tlak větru [Pa]
w	rychlost větru [m.s^{-1}]
$M_{\text{př}}$	hmotnostní průtok přiváděného vzduchu [kg.s^{-1}]
$V_{\text{př}}$	rychlost vzduchu v přírodním otvoru [m.s^{-1}]
ρ	hustota vzduchu [kg.m^{-3}]
M_{odv}	hmotnostní průtok odváděného vzduchu [kg.s^{-1}]
C	výtokový součinitel otvoru [-]
V_{odv}	rychlost vzduchu v odváděcím otvoru [m.s^{-1}]

LITERATURA

- [1] POKORNÝ, Jiří a Stanislav TOMAN. *Požární větrání: větrání chráněných únikových a zásahových cest*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2011. ISBN 978-80-7385-104-0.
- [2] ČSN 73 0802 - *Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [3] ŠENOVSKÝ, Michail, Pavel PROKOP a Petr BEBČÁK. *Větrání objektů*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007. ISBN 978-80-7385-008-1.
- [4] HIETANIEMI, Jukka a Esko MIKKOLA. *Design Fires for Fire Safety Engineering*. nedatováno, 103.

ANALÝZA MOŽNOSTÍ PŘENOSU TEPLA A KOUŘE PROSTUPEM MALÉHO PRŮŘEZU VZDUCHOTECHNICKÉHO POTRUBÍ POŽÁRNĚ DĚLICÍ STĚNOU

ANALYSIS OF POSSIBILITIES OF HEAT AND SMOKE TRANSMISSION IN A SMALL CROSS SECTION AIR DUCT THROUGH A FIRE-RATED WALL

Bc. Barbora Hlaváčková

Abstract

The subject of this article is a fire risk analysis associated with air ducts going through fire-rated walls and also with air ducts filled with sediments. The first part of the article summarizes the current state of knowledge of this issue. In the second part there is an example modelled in the FDS software, which represents heat and smoke spread by air duct system in a prefab house, the origin of fire is in the kitchen of one of the apartments. There are two variants differing in clean air duct and air duct with sediments.

Key words: Ventilation; air duct; fire damper; fire risks; Fire Dynamics Simulator (FDS)

ÚVOD

V dnešní době se klade důraz na úsporu energie použitím stavebních konstrukcí s lepšími tepelně technickými vlastnostmi, dochází k zateplování fasád a výměně oken za nová, těsná. To však vede k nedostatečnému větrání, zvýšení koncentrace škodlivin a vlhkosti. S příchodem nízkoenergetických staveb dochází k využívání nových, moderních systémů, které zajišťují kvalitu vnitřního prostředí. Dochází ve větší míře k zřizování a modernizování vzduchotechnických systémů, které jsou mimo jiné nutné řešit z hlediska požární bezpečnosti. Vzduchotechnické potrubí se může i díky jeho průtočné látce – vzduchu, stát nebezpečnou cestou pro šíření požáru.

Nejkritičtější místem jsou prostupy požárně dělicími konstrukcemi, kde je třeba zajistit, aby se požár nerozšířil do vedlejšího požárního úseku. Existuje mnoho systémových prvků, jako jsou požární klapky, ucpávky, které jsou schopné vstup zabezpečit, problém pak nastává především u malých průřezů vzduchotechnického potrubí, kde je normou ČSN 73 0872 [1] povoleno za určitých podmínek nechat vstup bez požární klapky přesto, že i tímto průřezem se může šířit požár nebo zplodiny hoření. Riziko šíření účinků požáru může být ještě větší, pokud se jedná o potrubí zanesené usazeninami, například mastnotami a prachem z kuchyně. V článku je tato problematika stručně shrnuta a následně názorně simulována v matematickém CFD modelu.

PROSTUPY VZT POTRUBÍ POŽÁRNĚ DĚLICÍMI KONSTRUKCEMI

V místě prostupu požárně dělicí konstrukcí musí být vzduchotechnické zařízení z nehořlavých hmot a ve většině případů musí být vstup zabezpečen požární klapkou. Existují však výjimky, kdy se požární klapky použít nemusí. Jedním z případů je, pokud průřez vstupujícího potrubí má plochu nejvýše 40 000 mm² a zároveň splňuje další dvě podmínky: jednotlivé prostupy nemají ve svém souhrnu plochu větší než 1/100 plochy požárně dělicí konstrukce a vzájemná vzdálenost vstupů a vzdálenost nejbližších vyústek je alespoň 500 mm.

Požární klapky jsou zařízení, která zabraňují šíření požáru a zplodin hoření vzduchotechnickým potrubím mezi jednotlivými požárními úseky. Podle vyhlášky 246/2001 Sb. [2] se jedná o vyhrazený druh požárně bezpečnostního zařízení, na jehož projektování, instalaci, provoz, kontrolu, údržbu a opravy jsou kladeny zvláštní požadavky. Osazují se jako samostatný díl v místě prostupu potrubí požárně dělicí konstrukcí tak, aby list klapky byl umístěn v lici požárně dělicí konstrukce, případně alespoň v těsné blízkosti, kdy musí být potrubí chráněné. Požární klapka musí být požárně odolná a musí být deklarována klasifikace celistvosti, izolace a kouřotěsnosti.

Dříve velmi složitá problematika těsnění prostupů potrubí požárně dělicí konstrukcí byla značně zjednodušena, ale také zpřísněna v roce 2016, kdy byla aktualizována norma ČSN 73 0810 [3]. Těsnění se provádí buď použitím požárně bezpečnostního zařízení – systému požární přepážky nebo ucpávky, nebo dotěsněním – dozděním, případně dobetonováním.

POŽÁRNÍ RIZIKA

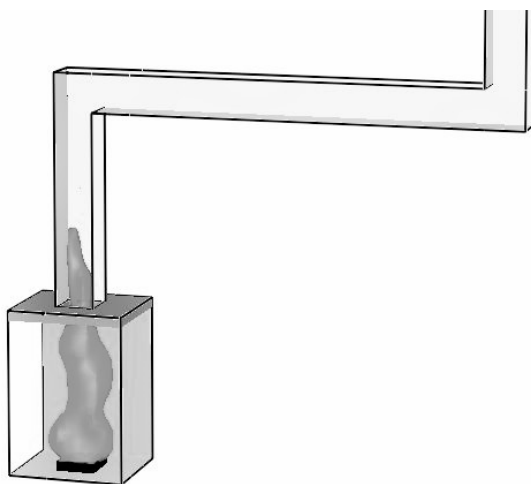
V minulosti došlo k několika požárům, které měly souvislost se vzduchotechnikou, jak ve výrobních, tak i v nevýrobních objektech. Z 60 % jde o výrobní provozy, především strojního průmyslu, kde byly příčinou technické závady na ventilátorech a nedbalost zaměstnanců. Ze 17 % jde o stravovací provozy a ze stejného podílu budovy pro bydlení a ubytování. Zde požár nejčastěji způsobila neopatrná práce s otevřeným ohněm a opět nedbalost lidí, která se stala nejčastější příčinou požáru [4].

Velká rizika v případě vzniku požáru mohou představovat zanesená vzduchotechnická potrubí, která mohou zejména přispívat k šíření účinků požáru do sousedních bytů či místností a dalších podlaží objektu. Požáry usazenin uvnitř vzduchotechnického potrubí se obtížně hasí, v řadě případů se musí zásah omezit na ochranu okolí a usazeniny se nechají vyhořet. Existují technologické postupy pro čištění a desinfekce vzduchotechnických potrubí, ale žádným závazným právním předpisem není toto čištění požadováno. Firmy, které se touto problematikou zabývají, potvrzují, že veškerá prozkoumaná stoupací potrubí vzduchotechniky v panelových domech, která slouží pro odvětrání bytů nájemníků, jsou silně zanesena tuky, oleji i sazemi. Tyto látky zvyšují riziko vzniku požáru vlivem samovznícení. Mastnota se do systému stoupacího potrubí dostává z kuchyňských digestoří, které propouští páry s částicemi oleje.

MATEMATICKÝ CFD MODEL

Pro vytvoření modelu byl použit tzv. CFD (Computational Fluid Dynamics) model, založený na principu dynamického proudění tekutin, konkrétně výpočetní program FDS (Fire Dynamics Simulator), verze 6.6.0. Pro interpretaci dat získaných výpočtem v FDS byl použit program Smokeview 6.6.0, který dokáže graficky zobrazit model a výsledky pomocí vizualizací.

Příklad simuluje požár bavlněné utěrky na kuchyňské varné desce a digestoř, napojenou na centrální odsávání bytového domu. V jednom případě budeme sledovat šíření tepla a kouře do vzduchotechnického potrubí, ve druhém případě bude potrubí zanesené usazeninami, které se mohou lehce vznítit.

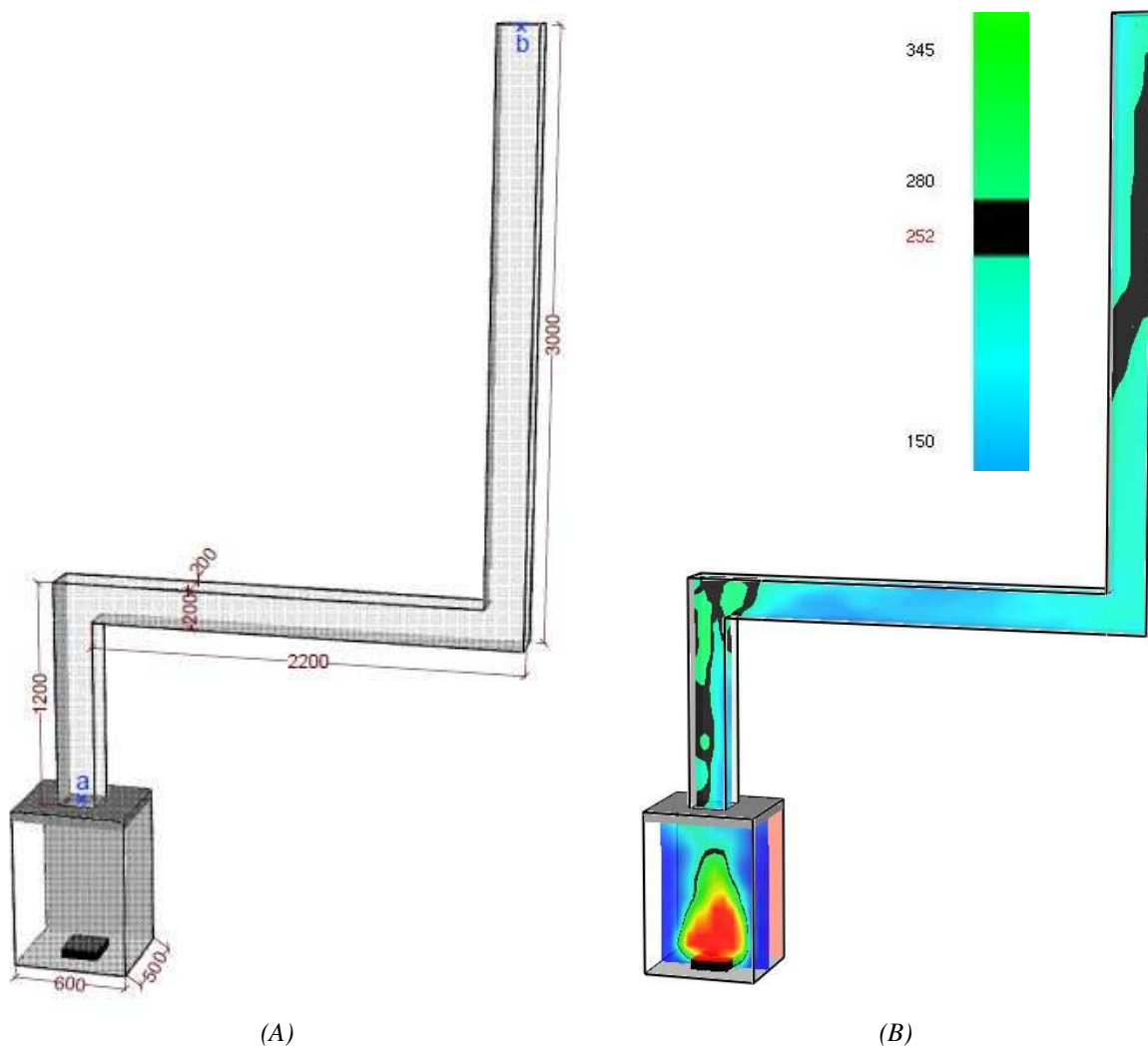


*Obr. 1 Izoplocha teploty 380 °C v čase 58 s
Fig. 1 Isosurface of temperature 380 °C in 58 s*

Nejprve byly do zdrojového souboru zadány potřebné příkazy pro geometrii modelu (Obr. 2 (A)) a také výpočetní síť o velikosti buněk 50 mm a 25 mm. Dále byly nadefinovány použité materiály a k nim přiřazeny požárně technické charakteristiky. Pro potrubí, digestoř a varnou desku byla použita ocel,

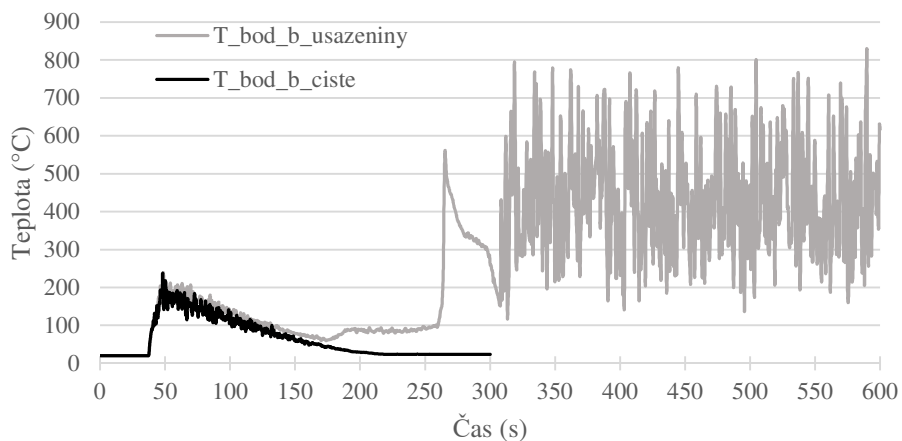
stěna za varnou deskou je z pórobetonu a hořící vzorek z bavlny. Pro simulaci usazenin v potrubí byl použit slunečnicový olej. Maximální hodnota uvolněného tepla z bavlněného vzorku byla 71,1 kW, křivka průběhu v čase byla převzata z katalogu rychlosti uvolňování tepla, který je součástí publikace Modelování dynamiky požáru při návrhu konstrukcí [5].

Pro sledování průběhu teplot byly na začátek a konec potrubí instalovány termočlánky (body „a“ a „b“ na Obr. 2 (A)), dále je sledován průběh teplot v polovině souřadnice „y“ (Obr. 2 (B)) a izoplocha, která zobrazuje teplotu 380 °C, což je teplota vznícení slunečnicového oleje. Na Obr. 1 můžeme vidět, že se tato teplota dostává na úroveň vzduchotechnického potrubí a je tedy velmi pravděpodobné, že dojde ke vznícení usazenin a rozšíření požáru do dalších podlaží.



Obr. 2 (A) Geometrie a umístění termočlánků; (B) Průběh teplot v čase 50 s
Fig. 2 (A) Geometry and location of thermocouples; (B) Temperature flow in time of 50 s

V případě čistého vzduchotechnického potrubí dosahují teploty na úrovni dalšího podlaží až 250 °C (Obr. 2 (B), Obr. 3). V případě znečištěného potrubí dosahují teploty na stejném místě až 800 °C (Obr. 3). Z toho plyne, že i potrubí nezanesené usazeninami tvoří bez zabezpečení požární klapkou na hranicích požárních úseků velká rizika šíření účinků požáru. Avšak znečištěné potrubí může mít katastrofální následky.



Obr. 3 Graf průběhu teplot v bodě „b“ v čistém potrubí a v potrubí zaneseném usazeninami
 Fig. 3 Graph of the temperature flow at point “b” in the clean air duct and air duct filled with sediments

ZÁVĚR

Článek měl čtenáře seznámit s problematikou šíření účinků požáru vzduchotechnickým potrubím. Řešený příklad v softwaru FDS názorně ukázal, jak vysokých teplot může být dosaženo až na úrovni dalšího podlaží od obyčejného požáru utěrky pod digestoří. V případě znečištěného potrubí může dojít ke vzplanutí či vznícení mastných usazenin a rozšíření požáru v celém bytovém domě. Tomu lze zabránit použitím požárních klapek na úrovni požárních úseků i u malých průřezů vzduchotechnického potrubí.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 0872 Požární bezpečnost staveb – Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením. Praha: Český normalizační institut, 1995
- [2] Vyhláška č. 246/2001 Sb., O stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci). 2001
- [3] ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016
- [4] PETRÁKOVÁ, Magda. *Analýza rizik šíření účinku požáru vzduchotechnickými systémy*. Praha, 2018. Diplomová práce. ČVUT
- [5] WALD, František a kol. *Modelování dynamiky požáru v budovách – Příručka k programu FDS*. Praha: ČVUT v Praze, 2017. ISBN 978-80-01-05633-2.

UMÍSTĚNÍ POŽÁRNÍHO HLÁSIČE ELEKTRICKÉ POŽÁRNÍ SIGNALIZACE

FIRE ALARM LOCATION OF THE FIRE DETECTION AND FIRE ALARM SYSTEMS

Bc. Iveta Zámoravcová

Abstract

The subject of the article focuses on the current state of knowledge in the field of fire detectors and their location on the structure, fire detection technology focused on two specific detectors and comparison of their properties and evaluation of fire detection rate.

Key words: *Fire alarm, fire detection and fire alarm systems, fire detection rate, location of the detector.*

ÚVOD

Elektrická požární signalizace patří mezi vyhrazené požárně bezpečnostní zařízení. Její nedílnou součástí systému jsou právě hlásiče požáru. V současnosti máme na výběr ze dvou druhů hlásičů dle způsobu detekce – tlačítkové a samočinné. Tlačítkové hlásiče jsou aktivovány rozbitím ochranného prvku, samočinné hlásiče nejsou závislé na lidském faktoru a pracují na principu samočinného vyhodnocení fyzikálních a chemických hodnot charakterizující vznik požáru.

Hlavním cílem je srovnání časové reakce detektoru, který je umístěn podle normového postupu a postupu nedodržujícím normu.

PRINCIP KOUŘOVÉHO HLÁSIČE

Kouřový požární hlásič je jedním z nejpoužívanějších detektorů požáru. Umísťuje se jak do bytových jednotek, tak i do komerčních prostor. Kouřové hlásiče vyhodnocují vznik požáru díky přítomnosti viditelných i neviditelných aerosolů rozptýlených v ovzduší, které vznikají při požáru. Kouřové hlásiče se dělí na optické a ionizační. Metody pro detekci optického hlásiče jsou na principu rozptylu nebo absorpce nejčastěji infračerveného záření na částicích aerosolu [1]. Optické osy bodových hlásičů jsou orientovány tak, aby paprsek vysílaný přímočaře ze zdroje nedopadal na světlocitlivý prvek.

PRINCIP TEPLOTNÍHO HLÁSIČE

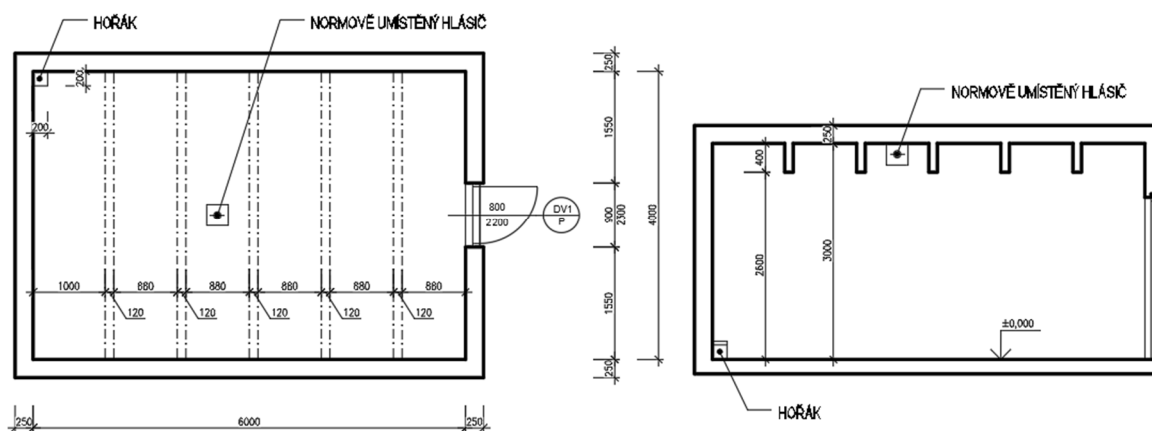
Teplotní požární hlásič vyhodnocuje vznik požáru nárůstem teploty v prostoru nebo rychlostí změny teploty, popřípadě kombinací obou jevů. Při překročení nastaveného parametru je vyhlášen poplach. Teplotní hlásiče se dělí na bodové a liniové. Bodové teplotní hlásiče se používají nejčastěji jako kombinované, tj. sdružující systém maximální i diferenciální. Jsou založeny na principu měření teplot dvěma termistory.

MODELOVÝ PŘÍKLAD

Modelovým příkladem je místnost o délce 6,0 m, šířce 4,0 m a světlé výšce 3,0 m. Stěny tvoří železobetonová konstrukce. Stropní konstrukce tvoří železobetonový žebírkový strop, rozměry žebírka jsou 0,12 x 0,4 m a jsou osově vzdáleny 0,88 m. Dveře do místnosti jsou o rozměru 0,8 x 2,2 m a jsou osazeny v ose stěny. Pro porovnání byly vybrány 2 typy hlásičů, a to kouřový a teplotní. Protože použití jednotlivého hlásiče závisí na druhu provozu, ve kterém je umístěn, není v praxi vhodné porovnání rychlosti detekování vzniklého požáru vzájemně mezi těmito hlásiči. Nicméně pro porovnání v tomto příkladu je ukázáno, s jakou časovou prodlevou reagují jednotlivé hlásiče.

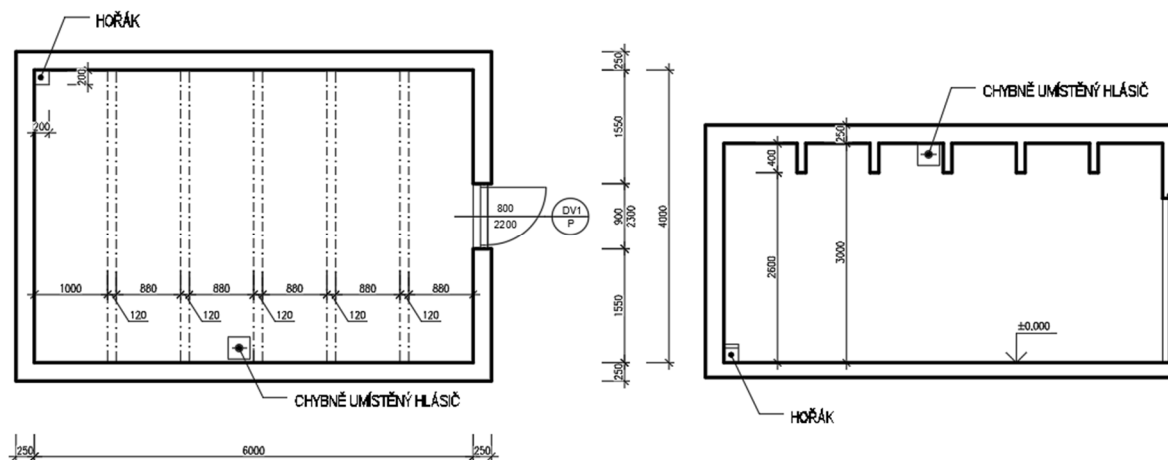
První modelový příklad zkoumá umístění kouřového hlásiče podle normového postupu. Dle čl. 6.5.1.3 ČSN 34 2710 [2] vliv nosníků na umístění hlásičů pod stropem, je zjevné, že při výšce žebírka

$h = 0,4$ m a výšce místnosti $H = 3,0$ m je třeba brát žebírko v úvahu. Plocha místnosti je 24 m^2 a plocha jednoho stropního pole je $3,52 \text{ m}^2$, dle tab. 3 ČSN 34 2710 [2] musí být hlásič umístěn v každém 5. poli, tzn. vzhledem k ploše a rozmístění žebírek postačí pouze jeden kouřový hlásič v místnosti. Umístění hlásiče je dle obr. 1, symetricky mezi žebírky $2,5$ m od počátku.



Obr. 1 Normově umístěný hlásič – půdorys a řez
Fig. 1 Standard location detector – floor plan and cross section

Druhým případem je umístění, které neodpovídá normovým požadavkům. Je tedy nevhodně umístěn v bezprostřední blízkosti stěny a žebírka. Krajní vzdálenost umístění od stěny je min. $0,3$ m, doporučená vzdálenost je $0,7$ m. V modelovém příkladu je hlásič umístěn $0,2$ m od stěny a žebírka dle obr. 2.

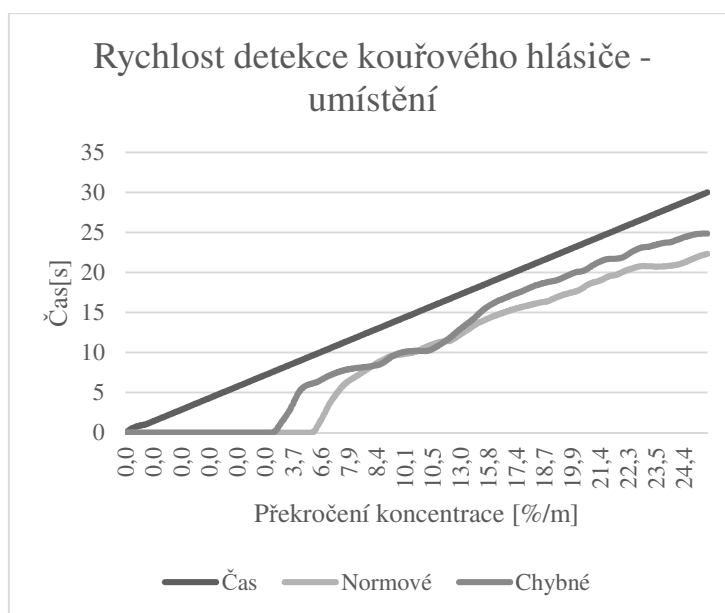


Obr. 2 Chybně umístěný hlásič – půdorys a řez
Fig. 2 Incorrect position of the detector - floor plan and cross section

Všechny čtyři příklady – normově a chybně umístěný kouřový hlásič, a normově a chybně umístěný teplotní hlásič jsou modelovány pomocí CFD (Computational Fluid Dynamics) simulace v programu FDS (Fire Dynamics Simulator) a SMW (Smokeview) [3]. Vstupními hodnotami pro simulaci byly parametry místnosti (rozměry, materiály, typ stropu, povrchy, otvor), výpočetní síť, časový krok, parametry hořáku a definování hlásiče (kouřový nebo teplotní) a jeho polohy.

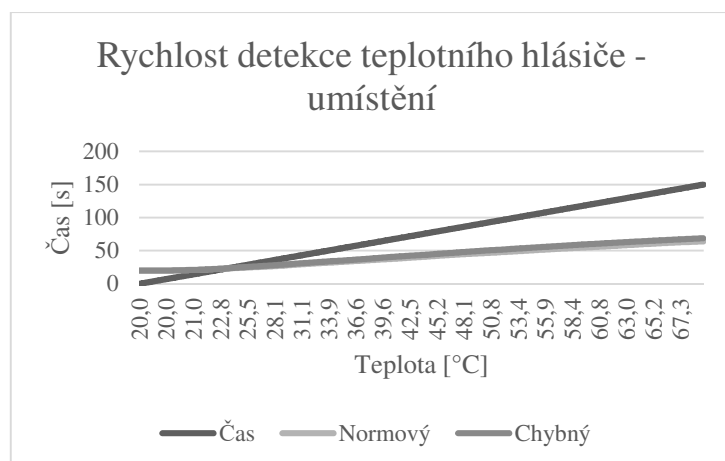
VÝSLEDKY MODELOVÁNÍ

V prvním příkladu je normově umístěný opticko-kouřový hlásič, tzn. symetricky mezi žebírky uprostřed místnosti. Výsledky jsou znázorněny na obr. 3.



Obr. 3 Výsledky porovnání kouřového hlásiče

Fig. 3 Results comparison of smoke detector



Obr. 4 Výsledky porovnání teplotního hlásiče

Fig. 3 Results comparison of temperature detector

Ve druhém případě je chybně umístěný opticko-kouřový hlásič, tzn. v blízkosti stěny a žebra obr. 2. Jakmile koncentrace kouře v místnosti překročila nastavený limit částic kouře, hlásič se samočinně aktivoval a vyslal signál do ústředny EPS. Kouřový hlásič byl aktivován v čase 7,53 s. Ačkoli druhý modelový příklad nerespektuje normu a záměrně je hlásič umístěn do míst, která se nedoporučují, jeho výsledek je přívětivější z pohledu rychlosti detekce kouřových zplodin.

Ve třetím případě je normově umístěný teplotní hlásič, tzn. symetricky mezi žebírka uprostřed místnosti. Doba reakce teplotního hlásiče byla delší, proto se čas pro ukončení simulace prodloužil na 150 s. Teplotní hlásič se aktivuje, jakmile jeho čidlo detekuje teplotu okolí větší než 54 °C, tedy nejnižší možné aktivační teploty. Ta je v místnosti dosažena v čase 114,91 s.

V posledním modelovém případě je umístěný teplotní hlásič, který svou polohou neodpovídá normovým požadavkům. Parametry jsou totožné jako u předchozího použitého teplotního hlásiče. Pouze se změnila poloha hlásiče. Aktivační teplota 54 °C byla dosažena v čase 102,76 s. I v tomto případě je výsledek přívětivější z pohledu rychlosti detekce teploty.

Tab. 1 Výsledky modelování

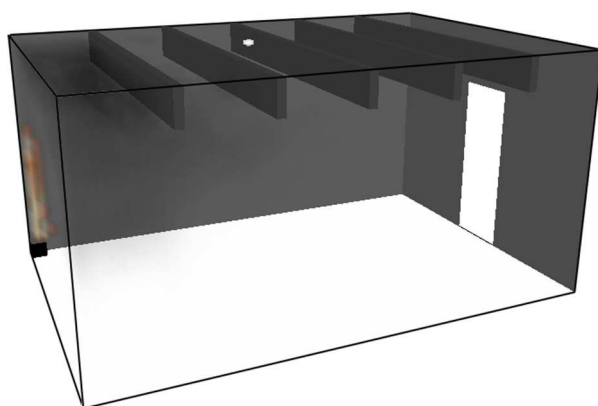
Tab. 1 Results of models

Typ hlásiče a umístění	Čas aktivace [s]
Kouřový – normově	9,61
Kouřový – chybně	7,53
Teplotní – normově	114,91
Teplotní – chybně	102,76

ZÁVĚR

Cílem bylo srovnání časové reakce detektoru, který je umístěný podle normového postupu a postupu nedodržujícím normu, naměřené výsledné hodnoty jsou uvedeny v tab. 1. Dle zjištěných výsledků by se dalo říci, že není potřeba dodržovat normu a tím hlásiče umisťovat podle libovolného úsudku, nebo kam se architektonicky více hodí. Je potřeba ctít normu a dbát i např. na pravidelnou údržbu hlásičů, tzn. hlásiče musí být snadno dostupné.

Obecně záleží na druhu provozu a předpokladu, co bude v dané místnosti hořet a jakým způsobem. Poté se zvolí typ konkrétního hlásiče tak, aby nedocházelo k planým poplachům. Např. v kuchyni není vhodné umisťovat kouřový hlásič, protože při vaření vzniká velké množství výparů, které může hlásič zachytit a vyhodnotit jako vznikající požár. Nejrozšířenějším detektorem v bytových jednotkách a komerčních prostorách je kouřový hlásič. Při umístění do místnosti s profilovaným stropem, např. v tomto případě modelovaný žebírkový strop, nebo trámový strop dochází k tomu, že se kouř kumuluje v prostoru mezi žebry a postupuje pomaleji k detektoru obr. 7. Za to tepelný tok je méně ovlivňován překážkami umístěnými ve stropní konstrukci.



Obr. 7 Průběh simulace
Fig. 7 Reaction of simulation

LITERATURA

- [1] DUDÁČEK, A. *Požárně bezpečnostní zařízení (EPS)*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996. ISBN 8070783125
- [2] ČSN 34 2710 – *Elektrická požární signalizace – Projektování, montáž, užívání, provoz, kontrola, servis a údržba* (2011), Z1 (2013)
- [3] WALD, F. a kol. *Modelování dynamiky požáru při návrhu konstrukcí – Příručka k programu FDS*. Praha: ČVUT v Praze – Fakulta stavební, 2015. ISBN 978-80-01-05633-2.

ZÁSADY NÁVRHU ELEKTRICKÉ POŽÁRNÍ SIGNALIZACE V NEVÝROBNÍM OBJEKTU

PRINCIPLES OF DESIGNING OF FIRE DETECTION AND FIRE ALARM SYSTEM IN NON-INDUSTRIAL FACILITIES

Bc. Adéla Kloudová

Abstract

Purpose of this article is to introduce principle of Fire Detection and Fire Alarm System and which components FDAS includes. The next part of the article is focused on the example when comparing different types of fire detectors placed in atypical space – at atriums. The example is created as CFD model by FDS software, where the subject of research is fire detection time.

Key words: FDAS; smoke detector; heat detector; fire; atrium

ÚVOD

Elektrická požární signalizace (dále jen EPS) je soubor hlásičů požáru, ústředny EPS a přenosových a doplňkových zařízení. Ty dohromady vytvářejí systém, pomocí kterého je opticky nebo akusticky signalizováno ohnisko požáru, nebo již vzniklý požár. Hlavním úkolem EPS je zajistit včasnou detekci a lokalizaci požáru v raném stádiu a následně předat informace složkám zajišťujícím represivní zásah. Správná funkce tohoto systému může zajistit nejen detekci požáru, ale i bezpečnější evakuaci osob nebo hašení požáru.

KOMPONENTY EPS

Systém EPS se vždy skládá z hlásičů požáru a ústředny EPS. Ve většině případů mohou být instalovaná doplňková zařízení – zařízení dálkového přenosu, obslužné pole požární ochrany, klíčový trezor, zařízení pro odvod kouře a tepla a dalšími.

POŽADAVKY NA ELEKTRICKOU POŽÁRNÍ SIGNALIZACI

Elektrická požární signalizace se řadí do tzv. vyhrazených druhů požárně bezpečnostních zařízení. Pro její projektování platí hlavní tři předpisy:

- ČSN 73 0875 Požární bezpečnost staveb – Stanovení podmínek pro navrhování elektrické požární signalizace v rámci požárně bezpečnostního řešení [3]
- ČSN 34 2710 Elektrická požární signalizace – Projektování, montáž, užívání, provoz, kontrola, servis, údržba [4]
- ČSN EN 54 Elektrická požární signalizace – soubor norem (části 1-31) [5–8]

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Jelikož norma konkrétně neupravuje, jaké požární hlásiče je vhodné použít pro prostor atrií, jsou v řešeném příkladu namodelovány tři nejvhodnější použitelné hlásiče – lineární, bodový kouřový a bodový teplotní.

HLÁSIČE POŽÁRU

Lineární optické hlásiče – využívají pro detekci požáru metody vyhodnocování změny (zeslabení) intenzity záření, sestávají ze dvou vzájemně oddělených částí. Uvedená konstrukce přitom může být řešena dvěma způsoby a to vzájemně odděleným vysílačem (zdrojem) a přijímačem, nebo vysílačem

(zdrojem) a přijímačem integrovaným v jedné části a odrazným zrcadlem. Nevýhoda těchto hlásičů je, že se musí umísťovat na pevné konstrukce, které nemění svůj tvar při změně teplot.

Kouřové bodové hlásiče – fungují na základě odrazení světla. Kouřové bodové hlásiče lze dále rozdělit na optické, které pro detekci využívají vyhodnocování rozptylu optického paprsku. K rozptylu optického paprsku dochází v důsledku interakce optického záření a pevných částic kouře. Dalším typem bodového kouřového hlásiče je hlásič ionizační, u kterého je detekce požáru založena na vyhodnocení změny vodivosti ionizovaného plynného prostředí detekční komůrky v důsledku průniku a přítomnosti neoxidovaných pevných částic kouře do komůrky.

Teplotní bodové hlásiče – rozeznáváme dva typy teplotních bodových hlásičů. První z nich se nazývá statický (maximální), který monitoruje maximální přípustnou teplotu v prostoru. Druhým typem teplotního bodového hlásiče je diferenciální (přírůstkový) hlásič, který monitoruje maximální přípustnou rychlost nárůstu teploty.

POUŽITÝ SOFTWARE

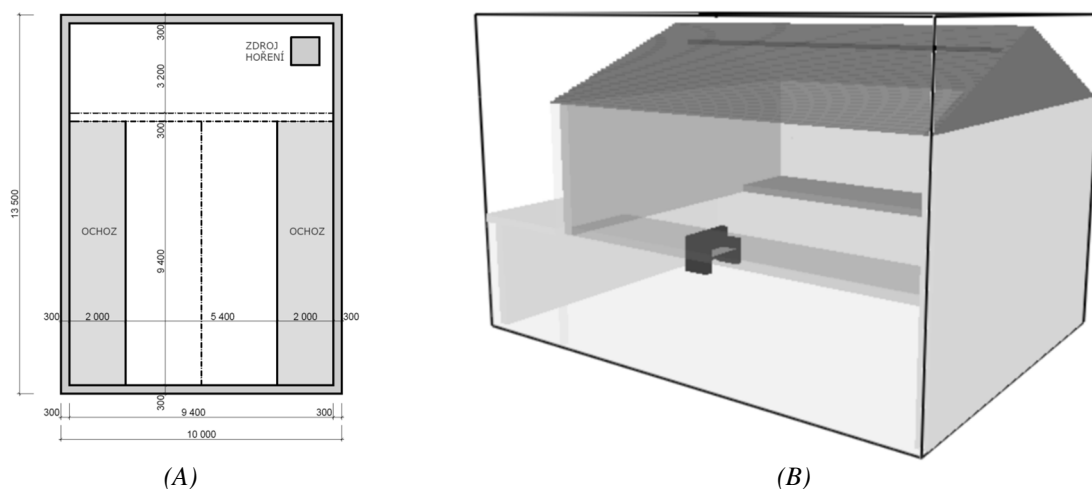
Při modelování jednotlivých požárních scénářů byl použit software FDS (procesor), Smokeview a Microsoft Office Excel (post-procesor).

POŽÁRNÍ SCÉNÁŘE

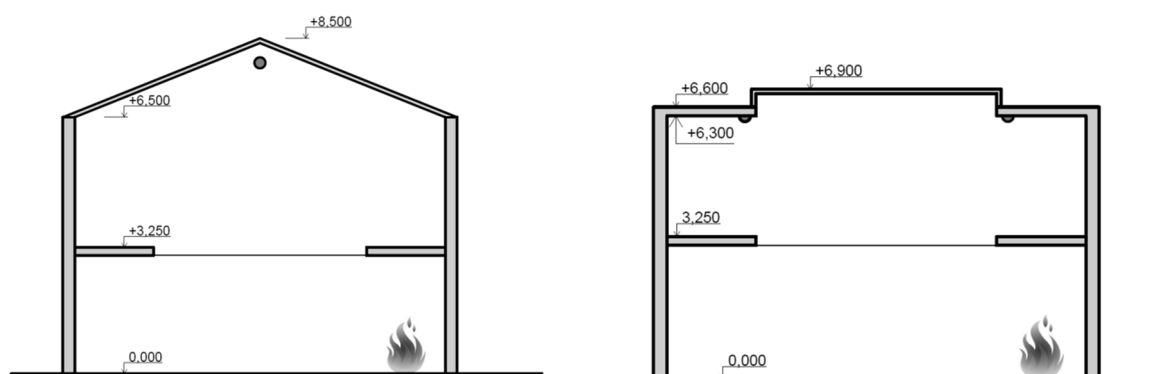
- Požární scénář č. 1 – Detekce požáru pomocí lineárních hlásičů požáru
- Požární scénář č. 2 – Detekce požáru pomocí kouřových bodových hlásičů požáru
- Požární scénář č. 3 – Detekce požáru pomocí teplotních bodových hlásičů požáru

VÝPOČETNÍ MODEL

Pro určení výpočetního prostoru jsou nadefinované dvě sítě – spodní část atria a vrchní část, kde je v případě požárního scénáře č. 1 namodelována sedlová střecha, v případě požárního scénáře č. 2 a 3 střecha plochá. Velikost jedné výpočetní buňky je 150 x 150 x 150 mm. Podrobné rozměry výpočetního modelu viz Obr. 1 a 2. Jako zdroj hoření byla namodelována pohovka s dřevěným rámem, polštáři z polyuretanu a látkovým potahem (rozměry 1450 x 600mm), které byla předepsána maximální hodnota HRR (heat release rate – rychlost uvolňování tepla) 3078 kW [1]. Hlavním cílem modelování bylo určení rychlosti zdetekování požáru jednotlivými druhy hlásičů. Veškeré hlásiče byly umístěny podle již zmíněných norem. Model byl počítán pouze na dobu nezbytně nutnou pro aktivaci požárních hlásičů.



Obr. 1 (A) Půdorys řešeného modelu; (B) Model vytvořený v programu FDS
Fig. 1 (A) Floor plan; (B) Model created by FDS software



(A)

(B)

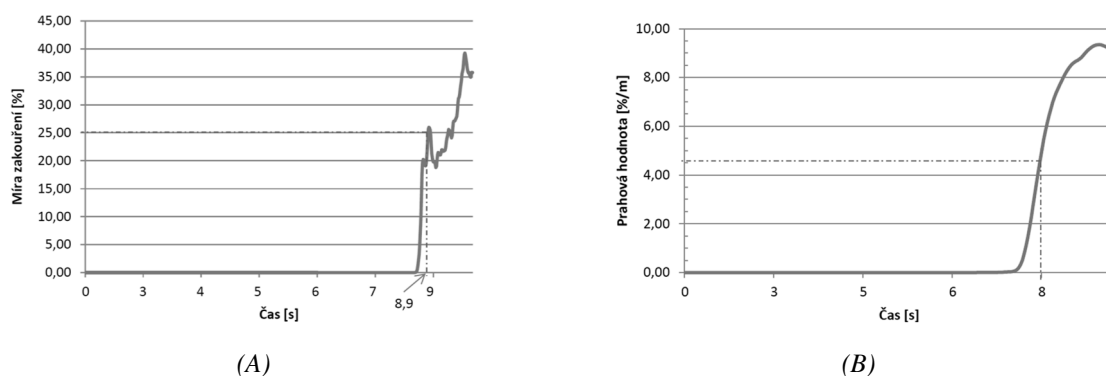
Obr. 2 (A) Řez - požární scénář č. 1; (B) Řez - požární scénář č. 2 a 3

Fig. 2 (A) Cross section – fire scenario number 1; (B) Cross section – fire scenario number 2 and 3

POROVNÁNÍ VÝSLEDKU MODELOVANÉHO PŘÍKLADU

V případě požárního scénáře č. 1 byl v objektu vymodelován jeden lineární kouřový hlásič, kde byla přijímací a vysílací jednotka umístěna na štítové stěně, přesně 500 mm pod hřebenem střechy (ve výšce 7,9 m nad čistou podlahou). Nejnižší běžná pevná vyhodnocovací hladina míry zakouření těchto zařízení je 25%. Požár byl tedy zdetekován přesně za 8,9 s, viz Obr. 3 (A).

V případě požárního scénáře č. 2 bylo v objektu vymodelováno 6 kouřových bodových hlásičů kouře. Model byl oproti požárnímu scénáři č. 1 mírně poupraven z důvodu umístění hlásičů. Hlásiče byly umístěny na stropě ve výšce 6,3 m nad čistou podlahou. Požár byl zdetekován přesně za 8 s, viz Obr. 3 (B).



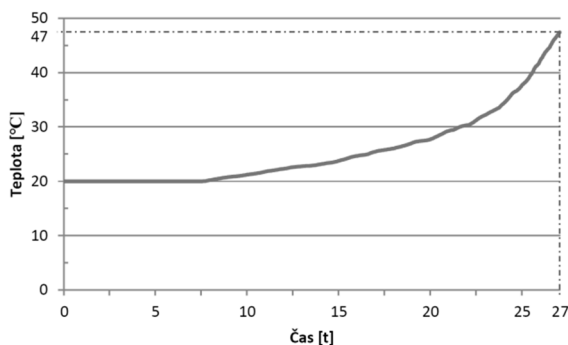
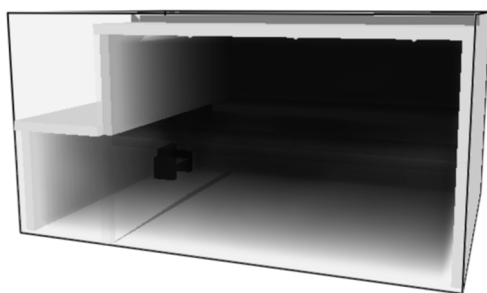
(A)

(B)

Obr. 3 (A) Čas zdetekování požáru – lineární kouřový hlásič; (B) Čas zdetekování požáru – bodové hlásiče kouře

Fig. 3 (A) Time of fire detection - linear optical smoke detector; (B) Time of fire detection - smoke detector

Požární scénář č. 3 se velmi podobá scénáři č. 2, avšak byly v modelu použity teplotní bodové hlásiče požáru (detekce požáru při teplotě 60 °C a vyšší). Do 29 s času požáru bylo atrium velmi zakouřené, avšak nedošlo k detekci požáru, proto byl výpočet zastaven, viz Obr. 4.



(A)

(B)

Obr. 4 (A) Zakouření atria; (B) Teplota v místě hlásiče

Fig. 4 (A) Smoked atrium; (B) Detector temperature

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo porovnat rychlost odezvy automatických požárních hlásičů. Jak je možné vyčíst z grafů, rozdíl mezi bodovým hlásičem kouře a lineárním hlásičem v případě modelovaného příkladu není příliš velký. Nutno však podotknout, že model byl pro výpočet s bodovými hlásiči upraven, čímž došlo k rozdílným výškám, ve kterých jsou hlásiče umístěné. Co se týče teplotního hlásiče, je z výpočtu zřejmé, že nebyl pro tento konkrétní případ vhodně určen.

LITERATURA

- [1] WALD, F. a kol. *Modelování dynamiky požáru při návrhu konstrukcí – Příručka k programu FDS*. Praha: ČVUT v Praze – Fakulta stavební, 2015. ISBN 978-80-01-05633-2.
- [2] DUDÁČEK, Aleš. *Automatická detekce požáru. 2., aktualiz. vyd.* V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2008. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-060-9.
- [3] ČSN 73 0875. *Požární bezpečnost staveb - Stanovení podmínek pro navrhování elektrické požární signalizace v rámci požárně bezpečnostního řešení*. Praha : ÚNMZ, 2011.
- [4] ČSN 34 2710. *Elektrická požární signalizace – Projektování, montáž, užívání, provoz, kontrola, servis a údržba*. Praha : ÚNMZ, 2011 + Z1:2013.
- [5] ČSN EN 54-1. *Elektrická požární signalizace - Část 1: Úvod*. Praha : ÚNMZ, 2011.
- [6] ČSN EN 54-5. *Elektrická požární signalizace – Část 5: Hlásiče teplot – Bodové hlásiče*. Praha : ÚNMZ, 2001 + Z1:2003.
- [7] ČSN EN 54-7. *Elektrická požární signalizace - Část 7: Hlásiče kouře - Hlásiče bodové využívající rozptýleného světla, vysílaného světla nebo ionizace*. Praha : ÚNMZ, 2001
- [8] ČSN EN 54-12. *Elektrická požární signalizace – Část 12: Hlásiče kouře – Hlásiče lineární využívající optického světelného paprsku*. Praha: ÚNMZ, 2003.
- [9] Honeywell s.r.o, *Projektování EPS ESSER 8000 a FlexES (školení)*. Praha, 2018.

Zapálení2018

sborník 1. studentské vědecké konference Fakulty stavební ČVUT v Praze

kolektiv vedoucích preddiplomních prací

Pokorný, M., Hejtmánek, P., Wald, F., Cábová, K., Štefan, R., Koubková I., Pechová, P., Sokol, Z., Adamovský, D., Najmanová H., Benýšek, M., Kuříková, 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: Česká technika | nakladatelství ČVUT,
Zikova 4, 166 36 Praha 6**

154 stran | první vydání v nákladu 50 kusů

ISBN: 978-80-01-06444-3

Květen 2018