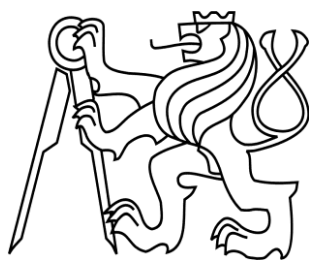




**Sborník odborných článků s požární tematikou v předmětu
Diplomový seminář (DISE)
2017**



České vysoké učení technické v Praze | Fakulta stavební
Magisterský studijní program: Stavební inženýrství | Studijní obor: Integrovaná bezpečnost staveb

K124 – Katedra konstrukcí pozemních staveb, K125 – Katedra technických zařízení budov,
K133 – Katedra betonových a zděných konstrukcí, K134 – Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Praha, červen 2017

PŘEDMLUVA

V předmětu Diplomový seminář (DISE) studijního oboru Integrální bezpečnost staveb, magisterského studijního programu Stavební inženýrství, se studenti připravují ke zpracování diplomové práce. Cílem předmětu je blíže seznámit studenty s metodikou vědecké práce, prohloubit specifické znalosti oboru a zpracovat rešerši ze zvolené oblasti požární bezpečnosti staveb. Studenti v rámci předmětu seznamují své kolegy s postupem své práce prezentací na třech seminářích, sepiší seminární práci a shrnou stav svého poznání v odborném článku. Z odborných článků studentů je připraven tento sborník.

Studenti na zadaných úkolech pracovali pod vedením pedagogů z Katedry konstrukcí pozemních staveb, Katedry technických zařízení budov, Katedry betonových a zděných konstrukcí a Katedry ocelových a dřevěných konstrukcí. Práce a články konzultovali následující kolegové: prof. Ing. František Wald, CSc., prof. Ing. Jaroslav Procházka, CSc., Ing. Kamila Cábová, Ph.D., Ing. Ilona Koubková, Ph.D., Ing. Hana Najmanová, Ing. Marek Pokorný, Ph.D., Ing. Lukáš Blesák, Ph.D., Ing. Daniel Adamovský, Ph.D., Ing. Radek Štefan, Ph.D., Ing. Michal Netušil, Ph.D., Ing. arch. Bc. Petr Hejtmánek a Ing. Martin Benýšek.

Webové stránky předmětu: [DISE](http://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=vyuka&sub=predmety&type=all&kod=124DISE)

(<http://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=vyuka&sub=predmety&type=all&kod=124DISE>)

Webové stránky požární bezpečnosti staveb na Fakultě stavební ČVUT v Praze: <http://pozar.fsv.cvut.cz/>

Marek Pokorný
garant předmětu

OBSAH

BOBEK, O. Případová studie problematiky odstupových vzdáleností	5
BUCHNAROVÁ, H. Vývoj matematického modelu kónického kalorimetru pro ověřování požárnětechnických charakteristik materiálů	9
BUKOVJAN, M. Návrh a studie mlhového stabilního hasicího zařízení a porovnání účinnosti hašení se sprinklerovým hasicím zařízením	13
ČERMÁK, J. Vývoj výpočetního nástroje pro stanovení požárního rizika, stupně požární bezpečnosti a posouzení betonových konstrukcí podle tabulek	18
DIVIŠOVÁ, D. Analýza procesu pyrolýzy a hoření kapalin	22
DOUŠA, M. Validace modelu konstrukce slaměného objektu při požáru	26
FILSAK, K. Ověření normových požadavků na zřizování požárních ucpávek ve stěně	30
GRENAR, J. Teplotní analýza betonových a ocelobetonových prvků.....	34
HÁŠOVÁ, T. Analýza dat z databáze SSU zaměřená na vzniklé škody při požárech objektů a budov	38
HAVEL, A. Interakce zařízení pro odvod kouře a tepla a stabilního hasicího zařízení	41
HAVRDOVÁ, T. Stabilní hasicí zařízení s využitím sprinklerových systémů v administrativních budovách	46
HOFFMANNOVÁ, A. Hodnocení podmínek evakuace osob ve školských provozech	51
JIRÍČEK, Z. Analýza odstupových vzdáleností od pergol a přístřešků	56
KALHOUS, T. Posouzení spojů dřevěných konstrukcí na účinky požáru.....	60
KŘÍŽOVÁ, M. Vliv větru na přirozený odvod kouře a tepla.....	64
LOKVENC, M. Evakuace a pohyb osob po schodištích.....	68
MACHÁČEK, R. Požárně bezpečnostní řešení budovy vizualizačním databázovým softwarem	72
MALÁ, M. Návrh a studie stabilního hasicího zařízení ve skladovacích prostorech.....	76
MÜLLEROVÁ, M. Analýza dat z databáze SSU	80
PETRAKOVÁ, M. Analýza rizik šíření účinku požáru vzduchotechnickými systémy	84
SODOMKA, W. Integrace a bezpečnost komínových systémů v nízkoenergetických a pasivních stavbách.....	88
TRSEK, V. Porovnání účinnosti sprinklerové a mlhové vodní clony z hlediska šíření účinku požáru	92
ZEMAN, F. Virtuální pec pro zkoušku požární odolnosti	96
ZEMÁNEK, P. Posuzování požárních podhledů dřevěných konstrukcí a porovnání s Eurokódem.....	101

CONTENTS

BOBEK, O. Case Study of Separation Distances.....	5
BUCHNAROVÁ, H. Development of the Mathematical Model of the Cone Calorimeter for Experimental Verification of Fire Technical Characteristics of Materials	9
BUKOVJAN, M. Design and Studies of Water Mist Sprinkler Sytsem and Comparison Firefighting with Sprinkler System	13
ČERMÁK, J. Development of a Calculation Tool for Determination of Fire Safety and Assessment of Concrete Structures According to Tables.....	18
DIVIŠOVÁ, D. Analysis of the Process of Pyrolysis and Burning Liquids	22
DOUŠA, M. Model Validation Straw Bale Construction in Case of Fire.....	26
FILSAK, K. Verification of Standard Requirements for Fire-stopping in Walls	30
GRENAR, J. Thermal Analysis of Concrete and Steel-concrete Structures	34
HÁŠOVÁ, T. Analysis of Data from SSU Database with Focus on Losses Incured during Property and Building Fires	38
HAVEL, A. Interaction of Ventilation System and Sprinkler System	41
HAVRDOVÁ, T. Fixed Firefighting System Using Automatic Sprinkler Systems in Office Buildings	46
HOFFMANNOVÁ, A. Evaluation of Evacuation Conditions in School Institutuions	51
JIRÍČEK, Z. Analysis of Separating Distances from Pergolas and Shelters.....	56
KALHOUS, T. Assessment of Joints of Timber Structures Exposed to Fire	60
KŘÍŽOVÁ, M. Influence of Wind on Natural Smoke and Heat Exhaust	64
LOKVENC, M. Evacuation and Movement of People on Stairs	68
MACHÁČEK, R. Fire Safety Design by the Database Visualisation Software.....	72
MALÁ, M. Design and Study of Fixed Firefighting System in Storage	76
MÜLLEROVÁ, M. Data Analysys from the SSU Database	80
PETRÁKOVÁ, M. Analysis of Fire Spread through Ventilation System	84
SODOMKA, W. Integration and Safety of Chimney Systems at Low Energy.....	88
TRSEK, V. Comparison of Water Spray and Mist Curtains Efficiency in Terms of Fire Spread	92
ZEMAN, F. Virtual Furnace for fire resistance test	96
ZEMÁNEK, P. Assessment of Fireplaces of Wooden Structures and Comparison with the Eurocode	101

PŘÍPADOVÁ STUDIE PROBLEMATIKY ODSUPOVÝCH VZDÁLENOSTÍ

CASE STUDY OF SEPARATION DISTANCES

Bc. Ondřej Bobek

Abstract

This article deals with current issues of separation distances from the point of view of fire safety of buildings. It describes the approach and methods of evaluation of the given issue in the Czech Republic and selected countries of the world, namely Great Britain (England and Wales), New Zealand, Australia and Sweden. Subsequently, the acquired knowledge will be applied to the example.

Key words: separation distance; unprotected area; radiant heat flux; straw bale construction; fire safety

ÚVOD

Ve stavebnictví se musí při umístění stavby brát ohled na odstupové vzdálenosti z různých hledisek. Důležitým hlediskem je dodržení odstupových vzdáleností z hlediska požární bezpečnosti staveb, z důvodu zabránění šíření případného požáru na sousední objekty. Právě s odstupovými vzdálenostmi z hlediska požární ochrany bývá v České republice při umístění stavby ve většině případů problém. Je to dáno moderním přístupem ke stavebnictví, kterým je stále častější použití hořlavých obnovitelných materiálů pro výstavbu a také návrh hodně prosvětlených objektů. To ovlivňuje požární otevřenost a uzavřenost obvodových stěn a dochází tím k nárůstu minimálních odstupových vzdáleností. Především díky využití hořlavých obnovitelných materiálů je tato problematika v dnešní době stále více aktuální.

ODSUPOVÉ VZDÁLENOSTI V ČESKÉ REPUBLICE

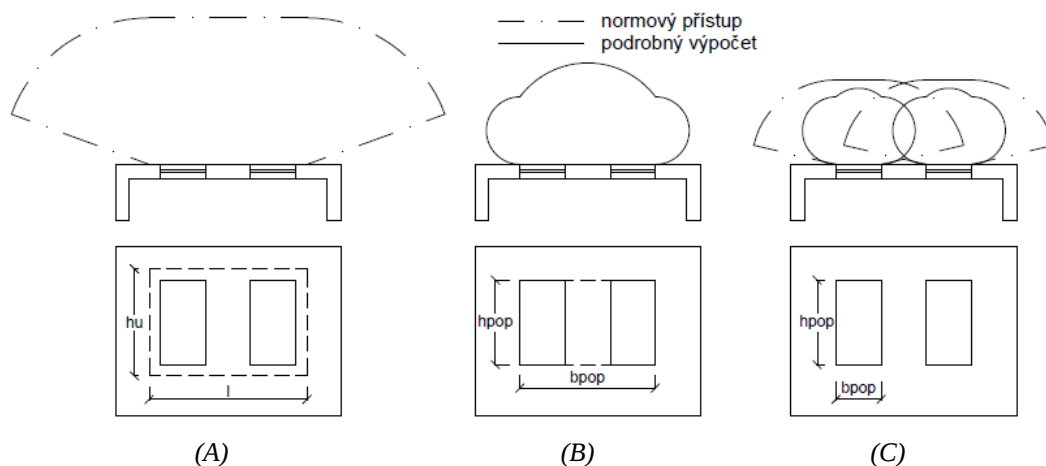
V České republice se problematika odstupových vzdáleností řeší podle českých technických norem řady ČSN 73 08xx. Podle těchto norem se odstupové vzdálenosti stanovují jednak z hlediska sálání tepla z požárně otevřených ploch a za druhé z hlediska odpadávání hořících částí stavebních konstrukcí (především druhu DP3). Odstupovou vzdáleností, která tvoří požárně nebezpečný prostor, je větší z těchto hodnot.

Při stanovení odstupových vzdáleností z hlediska sálání tepla se uvažuje jako kritická hodnota hustota tepelného toku $18,5 \text{ kW/m}^2$. Při stanovení odstupových vzdáleností z hlediska sálání tepla se rozlišují obvodové stěny jako požárně uzavřené plochy (PUP), částečně požárně otevřené plochy (ČPOP) nebo požárně otevřené plochy (POP). Od obvodových stěn, které jsou klasifikovány jako požárně uzavřené plochy, se odstupové vzdálenosti nestanovují. Jako takovéto stěny mohou být klasifikovány obvodové stěny druhu DP1 nebo DP2, které splňují požadovanou požární odolnost a zároveň množství tepla uvolněného z vnějšího povrchu je menší než 150 MJ/m^2 . V případě, že je množství uvolněného tepla v rozmezí 150 až 350 MJ/m^2 , jedná se o částečně požárně otevřenou plochu a pokud je uvolněné teplo větší jak 350 MJ/m^2 nebo pokud nesplňují požadovanou požární odolnost, klasifikují se obvodové stěny jako požárně otevřené plochy. Od částečně požárně otevřených ploch a zcela požárně otevřených ploch se odstupové vzdálenosti a požárně nebezpečný prostor stanoví. Při klasifikaci obvodové stěny jako částečně požárně otevřené plochy můžeme ve srovnání se zcela POP výrazně snížit velikost odstupové vzdálenosti [1, 2].

Obvodové stěny druhu DP3 (obvodové stěny z hořlavé konstrukce, například dřevostavby) se klasifikují jako požárně otevřené plochy, pokud při požáru vykazují v rovině vnějšího líce obvodové stěny hustotu tepelného toku větší než 60 kW/m^2 . V případě, že je hustota tepelného toku v rozmezí 15 až 60 kW/m^2 , jedná se o částečně požárně otevřenou plochu [1, 2].

V České republice je možné určit odstupovou vzdálenost 2 způsoby. Jedním ze způsobů je podrobný výpočet sálání tepla a druhým použití normového přístupu a využití tabulkových hodnot. Odstupové

vzdálenosti stanovené pomocí podrobného výpočtu vychází oproti normovému přístupu menší. Je to dáno tím, že v podrobném výpočtu se počítá se skutečnými rozměry stěny, kdežto u normového přístupu jsou dány tabulky pro určité rozměry stěn. Při použití normového přístupu závisí odstupová vzdálenost na několika faktorech, kterými jsou: výpočtové požární zatížení (p_v), rozměry obvodové stěny (h_u , l), rozměry požárně otevřené plochy (b_{POP} , h_{POP}) a na procentu požárně otevřených ploch. Výpočtové požární zatížení se musí navýšit o patřičnou hodnotu v závislosti na použitém konstrukčním systému budovy. Procento požárně otevřených ploch představuje poměr mezi rozměry požárně otevřené plochy a posuzované obvodové stěny. Celková plocha obvodové stěny by se měla stanovovat co nejmenší, aby bylo procento požárně otevřených ploch co největší. Pokud je procento POP menší než 40 %, stanoví se odstupové vzdálenosti pro jednotlivé požárně otevřené plochy. Na Obr. 1 jsou znázorněny odstupové vzdálenosti a požárně nebezpečný prostor pomocí normového přístupu a podrobného výpočtu [1].



Obr. 1 Odstupové vzdálenosti stanovené: (A) pomocí normového přístupu, procento POP > 40 %; (B) pomocí podrobného výpočtu, procento POP > 40 %; (C) pomocí normového přístupu i podrobného výpočtu, procento POP < 40 %

Fig. 1 Separation distance determined by: (A) by standard approach, percentage of POP > 40%; (B) using a detailed calculation, a percentage of POP > 40%; (C) using both standard approach and detailed calculation, POP percentage < 40%

ODSTUPOVÉ VZDÁLENOSTI V CIZÍCH ZEMÍCH

V **Anglii a Walesu** se odstupové vzdálenosti stanovují podle tzv. Schváleného dokumentu B (Approved document B) [3]. Odstupové vzdálenosti závisí na účelové skupině budovy a na velikosti nechráněné plochy. Pojem nechráněná plocha je stejný jako pojem požárně otevřená plocha používaný v České republice. Obvodová stěna se klasifikuje jako nechráněná plocha, pokud nesplňuje požadovanou požární odolnost. V případě, že obvodová stěna splňuje požadovanou požární odolnost, ale je pokryta hořlavým materiálem o tloušťce větší než 1 mm, se nechráněná plocha klasifikuje jako polovina skutečné plochy hořlavého materiálu, což je podobné klasifikaci částečně požárně otevřená plocha používané v České republice. V Anglii a Walesu se uvažuje kritická hodnota tepelného toku $12,6 \text{ kW/m}^2$ [3, 4].

Pro stanovení odstupových vzdáleností jsou ve Schváleném dokumentu B uvedeny dvě metody, které využívají princip „zrcadlový obraz“. Jeho cílem je, že budova umístěná na odvrácené straně příslušné hranice pozemku musí být umístěna ve stejné odstupové vzdálenosti od hranice pozemku, čímž je zajištěno, že celkový tepelný tok ze všech nechráněných ploch v obvodové stěně nepřesáhne hodnotu $12,6 \text{ kW/m}^2$. Velikost odstupové vzdálenosti závisí kromě velikosti nechráněné plochy také na účelové skupině. Schválený dokument B rozlišuje dvě: první účelovou skupinou jsou budovy obytné, administrativní, montážní a rekreační, pro které se předpokládá emitované záření z nechráněných ploch 84 kW/m^2 . Do druhé účelové skupiny patří budovy obchodní, průmyslové, skladovací a jiné nebytové, pro které se předpokládá emitované záření 168 kW/m^2 . Odstupová vzdálenost k příslušné hranici nesmí být menší než 1,0 m. Pro stanovení odstupových vzdáleností mohou být kromě metod uvedených ve Schváleném dokumentu B použity i přesnější metody [3, 4].

Stavební předpisy **Nového Zélandu** vychází ze Schváleného dokumentu B používaného v Anglii a Walesu. Přístup k posuzování odstupových vzdáleností je tedy velmi podobný přístupu Anglie. Kritická intenzita záření se uvažuje rovněž $12,6 \text{ kW/m}^2$ a také se využívá princip „zrcadlového obrazu“. Stavební předpisy Nového Zélandu uvádí celkem pět metod pro stanovení odstupových vzdáleností, které závisí na velikosti nechráněné plochy, účelové skupině budovy a na velikosti požárních úseků [4].

Přístup k problematice odstupových vzdáleností je v **Austrálii** zcela odlišný než v dosud posuzovaných zemích. Velikost odstupových vzdáleností nezávisí na žádných požárních údajích objektu. Ve stavebním předpisu Austrálie jsou uvedeny tabulky pro stanovení velikosti odstupových vzdáleností. Volba tabulky závisí na umístění objektu. Tyto tabulky udávají odstupové vzdálenosti k hranici pozemku a přípustnou radiaci pro budovy, které jsou umístěné na odlišných pozemcích nebo odstupové vzdálenosti a přípustnou radiaci mezi budovami umístěnými na stejném pozemku [4].

Ve **Švédsku** se odstupové vzdálenosti řeší pomocí tzv. Švédského návrhářského průvodce (Swedish design guide) [5]. Podobně jako v Austrálii nezávisí velikost odstupové vzdálenosti na požárním zatížení, ani na jiných požárních údajích budovy. Je dán přímo požadavek na oddělení budov, který říká, že budova musí být umístěna minimálně 4 m od hranice pozemku. Pokud nebude vzdálenost dodržena a budova bude umístěna méně než 4 m od hranice, tak musí být sousední budova umístěna tak, aby mezi budovami byla proluka minimálně 8 m [4, 5].

POŽÁRNĚ INŽENÝRSKÝ PŘÍSTUP

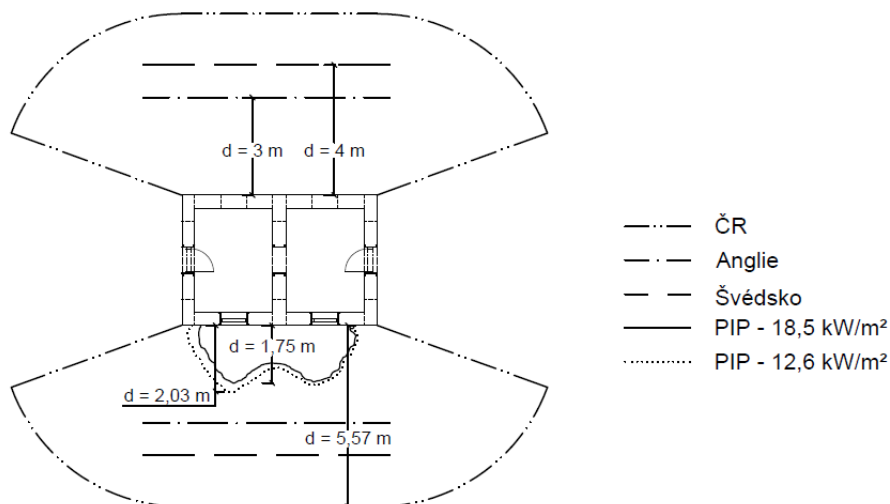
Tento způsob posouzení požární bezpečnosti se používá především pro rozsáhlé nebo specifické stavby a díky jeho využití je možné dostat méně nákladné řešení než pomocí norem a stavebních předpisů. Základní postup tohoto přístupu se dá rozdělit do 4 hlavních částí: kvalitativní analýza, kvantitativní analýza, porovnání výsledků a zpracování dokumentace. Kvalitativní analýza tvoří základ pro analýzu kvantitativní a mimo jiné se v ní určují kritéria přijatelnosti, která se porovnávají s výsledky získanými v kvantitativní analýze a určují úspěšnost/neúspěšnost návrhu. V kvantitativní analýze je pomocí vhodných metod a výpočetních programů posouzen návrh požární bezpečnosti. Dále se porovnají získané výsledky s kritérii přijatelnosti a zpracuje se dokumentace požárně inženýrského přístupu. Pro vzorový příklad se jako kritérium přijatelnosti uvažovala maximální hustota tepelného toku od posuzované stěny $18,5 \text{ kW/m}^2$ pro ČR nebo $12,6 \text{ kW/m}^2$ pro Anglii a Wales. Posouzení proběhlo pomocí CFD modelu v programu FDS. V objektu byl modelován požár, pomocí plynových hořáků, díky čemuž byla hustota tepelného toku v lici obvodové stěny 107 kW/m^2 , což odpovídá normovému zatížení 45 kg/m^2 pro ČR. Pro Anglii a Wales byla uvažována hustota tepelného toku v lici stěny 84 kW/m^2 . Pomocí řezové roviny měřící hustotu tepelného toku byly stanoveny odstupové vzdálenosti [1].

APLIKACE ZÍSKANÝCH POZNATKŮ

Postupy stanovení odstupových vzdáleností pro jednotlivé země, popsané výše, budou aplikovány na vzorovém příkladu. Jedná se o objekt, který má půdorysné rozměry $6,0 \times 4,0 \text{ m}$ a konstrukce je tvořena z hořlavého materiálu, v ČR uvažováno jako konstrukce DP3. Odstupové vzdálenosti byly posouzeny pro podélné obvodové stěny, které se předpokládají bez požadované požární odolnosti a jsou hodnoceny jako požárně otevřené plochy, popřípadě nechráněné plochy podle klasifikace používané v Anglii a Walesu.

Na Obr. 2 jsou na vzorovém příkladu znázorněny odstupové vzdálenosti pro jednotlivé země. Jak je z obrázku patrné, největší odstupové vzdálenosti vycházejí pro Českou republiku, konkrétně hodnota odstupových vzdáleností je 5,57 m. V Anglii a Walesu vycházejí odstupové vzdálenosti od hranice menší, konkrétně 3,0 m. Ovšem při aplikaci principu „zrcadlového obrazu“, kdy se předpokládá umístění objektu na sousedním pozemku ve stejné vzdálenosti od příslušné hranice, vychází odstupová vzdálenost mezi těmito objekty 6,0 m. Pro Nový Zéland vychází odstupové vzdálenosti stejně, jako pro Anglii a Wales, což je dáno tím, že na Novém Zélandu vychází se Schváleného dokumentu B [3] používaného v Anglii, jak je popsáno výše. Ve Švédsku je dána přímo minimální odstupová vzdálenost

4,0 m od hranice pozemku, to znamená 8 m od jiného objektu. Odstupové vzdálenosti pro Austrálii nebyly ve vzorovém příkladu posouzeny, z důvodu posouzení odstupové vzdálenosti a pro ni přípustnou radiaci ke konkrétní budově nebo hranici, která není známa. Při využití požárně inženýrského přístupu byl vzorový objekt namodelován v programu FDS, pomocí kterého byl také simulován požár a stanoveny odstupové vzdálenosti. Jak je vidět na Obr. 2 odstupová vzdálenost, podle požárně inženýrského přístupu, je 1,75 m pro hustotu tepelného toku $18,5 \text{ kW/m}^2$ a 2,03 m pro hustotu tepelného toku $12,6 \text{ kW/m}^2$, což je výrazný rozdíl oproti hodnotám stanovených podle normových postupů. Od podélné obvodové stěny bez otvorů dle požárně inženýrského přístupu nevznikají dokonce žádné odstupové vzdálenosti.



Obr. 2 Zobrazení odstupových vzdáleností pro jednotlivé země na vzorovém příkladu – hodnota odstupových vzdáleností od objektu k hranici pozemku

Fig. 2 Showing separation distances for each country on a sample example - the distance between the object and the boundary of the plot

ZÁVĚR

Ze získaných hodnot odstupových vzdáleností pro vzorový příklad je na první pohled patrné, že stanovení odstupových vzdáleností je v České republice nejprísnější, protože bychom neměli zasahovat na cizí pozemky. Avšak po zohlednění zrcadlového principu používaného v Anglii a Walesu a dá se říci, že i ve Švédsku, naopak vycházejí odstupové vzdálenosti, podle metod používaných v České republice, jako nejvíce přijatelnější. Dále je patrné, že posouzení odstupových vzdáleností pomocí požárně inženýrského přístupu nám dává výrazně menší hodnoty a využití tohoto přístupu je pro posouzení odstupových vzdáleností a požární bezpečnosti celkově výhodné.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 0802. *Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty*. Praha: ÚNMZ, 2009.
- [2] POKORNÝ, Marek. *Požární bezpečnost staveb: sylabus pro praktickou výuku*. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05456-7.
- [3] *The Building Regulations 2010. Approved document B, Approved document B.* Newcastle-Upon-Tyne: NBS, 2011. ISBN 978-1-85946-488-5.
- [4] CARLSSON, Emil. *EXTERNAL FIRE SPREAD TO ADJOINING BUILDINGS - A review of fire safety design guidance and related research*. 5051. Lund, Sweden: Department of Fire Safety Engineering, Lund University. 1999.
- [5] *Boverket's building regulations - mandatory provisions and general recommendations*, BBR. 2016.

VÝVOJ MATEMATICKÉHO MODELU KÓNICKÉHO KALORIMETRU PRO OVĚŘOVÁNÍ POŽÁRNĚTECHNICKÝCH CHARAKTERISTIK MATERIÁLŮ

DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE CONE CALORIMETER FOR EXPERIMENTAL VERIFICATION OF FIRE TECHNICAL CHARACTERISTICS OF MATERIALS

Bc. Hana Buchnarová

Abstract

This article is focused on detection of fire technical characteristic of construction product. These characteristics are detected from real fire test like Cone calorimeter. The article describes this device and tries to compare the results of real measurement with the fire model created in FDS program.

Key words: cone calorimeter; heat release rate; fire; combustion; FDS; PMMA

ÚVOD

V současné době se projekce a realizace stavebních objektů zabývá složitými projekty, které jsou náročné pro zajištění bezpečnosti. Projekty jako výškové budovy, velkorozměrové sklady anebo liniové podzemní stavby mají, z hlediska požární bezpečnosti, limitovány vysokými normativními požadavky. Proto je potřeba k takovýmto projektům přistupovat individuálně tzv. inženýrským přístupem, který vychází z vědeckých poznatků a zkušeností. Tento přístup může snížit finanční náklady při zajištění stejné míry bezpečnosti, jakou zajišťují preskriptivní předpisy. Inženýrský přístup je v současné době limitován přesnými vstupními daty pro vkládání do požárních modelů.

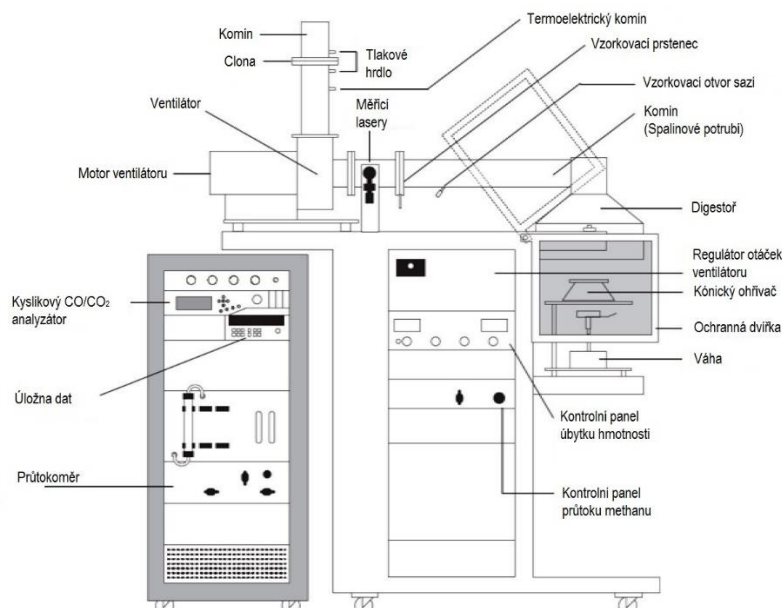
Tato práce si klade za cíl zpřístupnit data širší odborné veřejnosti, a proto hledá spojitost mezi reálnými zkouškami v kónickém kalorimetru a modelem v programu FDS. Experiment modelu kónického kalorimetru je navrhnout pro ověřování chování materiálu. Tento model by měl sloužit k ověřování relevance požárnětechnických charakteristik stavebních výrobků.

KÓNICKÝ KALORIMETR

Kónický kalorimetr na obr. 1 je nejpoužívanější zařízení k zjišťování vlastností materiálu. Data z něj zjištěná jsou používána pro modelování chování materiálu během požáru. Výsledkem testu jsou čas zapálení, hmotnostní úbytek, množství částic v kouři, analýza plynů, rychlost uvolňování tepla, optická hustota kouře a další požární parametry [1].

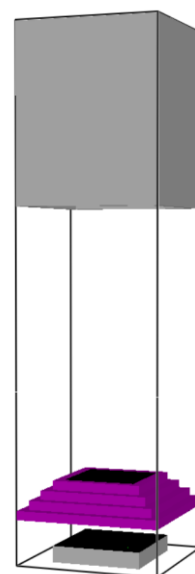
Toto požární testovací zařízení pracuje na principu spotřebování kyslíku během spalování. Rychlost uvolňování tepla je určována z koncentrace kyslíku a z toku plynných spalin. Metoda je založena na faktu, že velké množství materiálu má podobnou konstantu teploty uvolňované na jednotku hmotnosti kyslíku během kompletního spalování. A současně se jedná o klíčovou metodu pro měření kónickým kalorimetrem.

V měření kónickým kalorimetrem je spotřeba kyslíku vyjádřena hodnotou konstanty 13,1 MJ/kg. Tato hodnota se v praxi běžně používá pro svou přesnost a maximální odchylku 5 %. Pravidlo prokazuje, že je tato konstanta dostačující pro měření spotřeby kyslíku při spalování za účelem určení přesného uvolňovaného tepla. Tato hodnota je základem metody spotřeby kyslíku pro měření rychlosti uvolňování tepla.



Obr. 1 Schematické zobrazení kónického kalorimetru
(Převzato a přeloženo z [2])

Fig. 1 Schematic image of the Cone Calorimeter
(Taken and translated from [2])



Obr. 2 Zjednodušený model
kónického kalorimetru
v FDS

Fig. 2 Simple model of cone
calorimeter in FDS

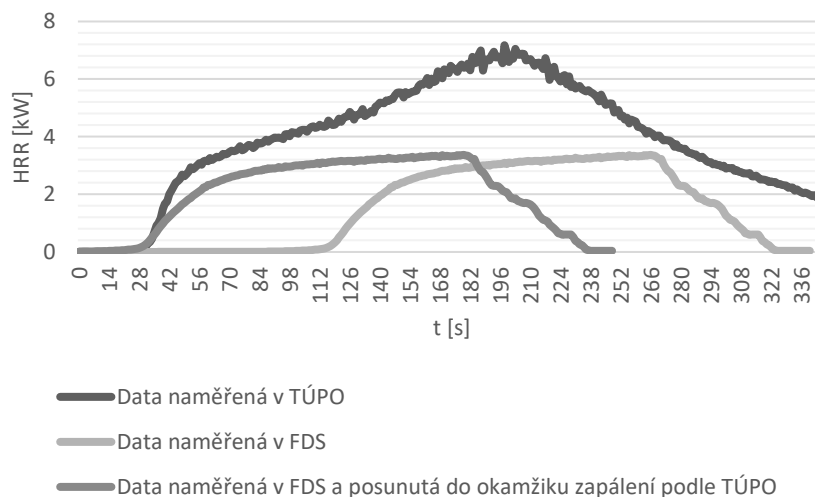
Model kónického kalorimetru na obr. 2 je pro zkoušku zjednodušen. Dostačující je namodelování kónického zářiče, vzorku a části digestoře. Stěny kónusu rovnoměrně ozařují vzorek tepelným tokem. Kónický zářič je definován ohřívaným povrchem po vnitřní straně kónusu, který simuluje otopnou spirálu, tomu byla přiřazena teplota 750 °C, která by měla zajistit dostatečný tepelný tok na povrchu vzorku. Středem kónusu může procházet teplo a produkty spalování, které jsou dále zachycovány a měřeny v digestoři. Zkoušena je deska z polymetylmetakrylátu (dále PMMA) o rozměrech vzorku ($x \times y \times z$) 100 × 100 × 18 mm.

Výpočetní síť je rozdělena do dvou částí. Jemnější síť je ve spodní polovině modelu. Buňky této sítě jsou rozměru 10 × 10 × 1 mm a zahrnují vzorek. Jemnější síť je zvolena kvůli větší přesnosti výpočtu v místě vzorku a lepší modelaci ve Smokeview. Hrubší síť začíná pod kónickým zářičem a zahrnuje digestoř. Buňky této sítě jsou rozměru 10 × 10 × 10 mm [3], [4].

Model slouží k simulaci podmínek reálné zkoušky kónického kalorimetru. Výsledky tohoto modelu jsou porovnány s daty naměřenými v TÚPO.

VÝSLEDKY A POROVNÁNÍ MĚŘENÍ SKUTEČNÉ ZKOUŠKY S MODELEM

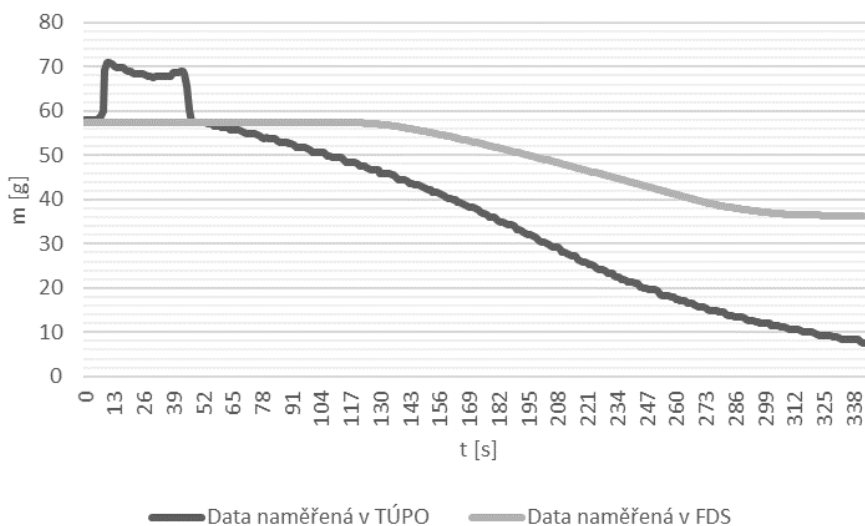
Hlavním rozdílem průběhu mezi skutečnou zkouškou a modelem by měl být ve způsobu zapálení vzorku. Skutečná zkouška probíhá podle zásad ISO 5660-1. Zapálení vzorku je iniciováno zápalnou jiskrou, která zapálí plyny, které vznikají při zahřívání vzorku. Modelová zkouška takto nefunguje. Vzorek se musí vznítit od zahřívání, proto nárůst HRR je oproti reálné zkoušce opožděn. To má i vliv na maximální množství uvolněného tepla, které u modelové zkoušky nedosáhne stejně vysokých hodnot. Na obr. 3 je zobrazena HRR naměřená v kónickém zářiči v TÚPO a namodelována v FDS. Maximální hodnota HRR naměřená v TÚPO je $HRR_{MAX} = 7,18$ kW přesahuje maximální hodnotu naměřenou modelem FDS více než 2x. Maximální hodnoty dosáhne model v 266. s a jeho hodnota je $HRR_{MAX} = 3,37$ kW.



Obr. 3 Rychlost uvolňování tepla naměřená v TÚPO a FDS modelu
Fig. 3 Heat Release Rate measured in TÚPO and FDS model

Rozdíly v obou průbězích HRR jsou patrné z grafů na obr. 3. Modelovaná zkouška je časově posunuta, ale až do 266 s kopíruje svým tvarem zkoušku z TÚPO, pak u ní dochází k prudkému snížení hodnot HRR, která vede k uhašení ohně. Pravděpodobně se jedná o nedostatečný prostup tepla do nižších vrstev vzorku a další vrstvy již nezačnou plně odhořívat.

Dále v modelu pozorujeme rychlost úbytku hmotnosti (dále MLR). Tato veličina ukazuje, jak rychle vzorek ztrácí svou původní hmotnost a rozměry. Průběh je na obr. 4. Reálná zkouška kónického kalorimetru neměří rychlost úbytku hmotnosti, ale měří okamžitý úbytek váhy měřeného vzorku. Proto se musela data přepočíst tak, aby si v jednotkách odpovídala. I zde hmotnostní úbytek začíná se zpožděním, postupně dochází k poklesu hmotnosti. Důvody jsou stejné jako u HRR, protože MLR je na HRR závislé.



Obr. 4 Rychlost úbytku hmotnosti naměřeno v TÚPO a FDS
Fig. 4 Mass loss rate measured in TÚPO and FDS

Vzorek zkoušený v TÚPO měl počáteční hmotnost 57,466 g a konečnou hmotnost 1,251 g. Při prohlédnutí grafu obr. 4 zjistíte, že hmotnost přibližně v 11 s vystoupala až na 70,864 g. To je způsobeno tlakem, který na vzorek vyvinul kónického zářič svým tepelným tokem. Od 42. s pak začala hmotnost vzorku, dle předpokladu, klesat.

ZÁVĚR

Tato práce představuje kónický kalorimetr jako nástroj k získávání PTCH materiálu. Tento nástroj byl namodelován pomocí CFD modelu, který je v tomto případě zastoupen programem FDS. Modelový příklad kónického kalorimetru měl kopírovat podmínky, jaké jsou při reálné zkoušce. Data získaná ze zkoušky PMMA desky, jež proběhla v Technickém ústavu požární ochrany, byla porovnána s hodnotami získanými z FDS modelu.

V modelu nebyl vhodně nastaven tepelný tok a okrajové podmínky, to způsobilo nedostatky, které model má. FDS model nemůže nasimulovat zapálení plynů od jiskry, tak jako v reálné situaci, a proto se vzplanutí vzorku zpozdí. Dá se předpokládat, že vzorek před vzplanutím procházel pyrolýzou, která způsobila degradaci vzorku a snížila celkovou rychlost uvolněního tepla tak, že nedosáhla stejně vysokých hodnot, jako tomu bylo u reálné zkoušky. Proto bude v následující diplomové práci tento model upraven a doplněn.

LITERATURA

- [1] LYON, R. E. *Fire Calorimetry*. Federal Aviation Administration Technical Center Atlantic City International Airport, 1995.
- [2] LINDHOLM, J., BRINK, A. and HUPA, M. *Cone Calorimeter – A Tool for Measuring Heat Release Rate*, IFRF – Finn. Flame Res. Comm., nov. 2014.
- [3] MCGRATTAN, K., HOSTIKKA, S., MCDERMOTT, R., FLOYD, J., WEINSCHENK, C., and OVERHOLT, K. *Fire Dynamics Simulator User's Guide*, 6. vyd. National Institute of Standards and Technology, US Department of Commerce, aug. 2016
- [4] MANDINEC, J. *Požární technické charakteristiky dřeva v CFD modelech*. České Vysoké Učení Technické v Praze, led. 2016.

NÁVRH A STUDIE MLHOVÉHO STABILNÍHO HASICÍHO ZAŘÍZENÍ A POROVNÁNÍ ÚČINNOSTI HAŠENÍ SE SPRINKLEROVÝM HASICÍM ZAŘÍZENÍM

DESIGN AND STUDIES OF WATER MIST SPRINKLER SYSTEM AND COMPARISON FIREFIGHTING WITH SPRINKLER SYSTEM

Bc. Marek Bukovjan

Abstract

This work is focused on water mist fighting, resp. water mist sprinkler system. The work is divided into two parts. The first part focuses on water mist, where its characterizing properties are presented. Further, this part is focused on the use of water mist devices, their function and design. The second part is focused on the difference in fire suppression between the water mist spray and the water spray from the traditional sprinkler head.

Key words: active fire safety system; firefighting; sprinkler system; water mist; sprinkler; FDS

ÚVOD

Obsah tohoto článku je zaměřený na použití vodní mlhy v požární ochraně. Jsou zkoumány především vlastnosti vodní mlhy, se zaměřením na zařízení, která používají k potlačování požárů vysokotlakou vodní mlhu. Dále je v tomto článku zkoumána pomocí matematického modelu rozdílnost potlačování požáru mezi vodním sprejem z mlhové hlavice a sprejem k tradiční sprinklerové hlavice.

MLHOVÉ STABILNÍ HASICÍ ZAŘÍZENÍ

Mlhové stabilní hasicí zařízení patří, stejně jako sprinklerové SHZ, které bývá v objektech navrhováno nejčastěji, mezi systémy vodní, ovšem má plno odlišností, kterou bývá především značně nižší dodávka požární vody, tudíž k mlhovému SHZ je navrhována výrazně menší nádrž na vodu a menší průměry rozvodných potrubí. Tyto systémy se navrhují na mokrou a suchou rozvodnou soustavu. Mlhové SHZ bývá většinou navrhováno do prostor, ve kterých je snaha minimalizovat škody vzniklé při hasicím účinku vody. Příkladem jsou například knihovny nebo archivy. Taktéž je toto zařízení vhodné použít k hašení elektrických zařízení, která bývají pod napětím. Stabilní hasicí zařízení, které využívají vodní mlhu, má od tradiční sprinklerové soustavy dvě hlavní odlišnosti. První odlišností je provozní tlak. Mlhová SHZ jsou navrhována ve třech různých tlakových typech – Tabulka 1. Nízkotlaká a středotlaká využívají tlak v rozmezí 1,2-4,0 MPa. Tyto typy nejsou v dnešní době již moc navrhovány, jelikož je vystřídala zařízení vysokotlaká. Ta využívají provozní tlak v rozmezí 8,0-14,0 MPa [1].

Tab. 1 Charakteristické hodnoty sprchového proudu a vodní mlhy [2]

Tab. 1 Characteristic values of the sprinkler spray and water mist [2]

Dělení tříštěného proudu	Sprchový proud	Vodní mlha		
		Nízkotlaká	Středotlaká	Vysokotlaká
Průměr kapek [mm]	1-3	1-0,40	0,40-0,20	0,20-0,025
Druh vodního SHZ	Sprinklerové, sprejové	Mlhové nízkotlaké, sprinklerové, sprejové	Mlhové středotlaké, (sprinklerové, sprejové)	Mlhové Vysokotlaké
Hubice/hlavice	Sprinklerové, sprejové, hubice	Mlhová hubice/hlavice, sprinkler, sprejová hubice	Mlhová hubice/hlavice, (sprinkler, sprejová hubice)	Mlhová automatická hlavice, mlhová hubice
Max. tlak [bar]	12,5	12,5	12,5-35	35-200

Druhá základní odlišnost je ve velikosti kapek. Mlhové hlavice mohou být, stejně jako sprinklerové hlavice, otevřené či uzavřené. Uzavřené hlavice jsou navrhovány jako samočinné, tudíž jejich spuštění je odstartováno dosažením destrukční teploty, jež rozbije baňku hlavice. Otevřené hlavice jsou aktivovány jiným požárně bezpečnostním zařízením (nejčastěji EPS), tudíž musí být doplněny ručním spuštěním. Ale na rozdíl od tradičních sprinklerových systémů, kde je průměr kapek větší než 1 mm, u mlhového SHZ se velikost kapek pohybuje v rozmezí 0,025-1 mm, podle tlakového typu, na který je systém navržen [2].

VODNÍ MLHA JAKO HASIVO

Voda je jedním z nejstarších hasicích prostředků, který je i velice snadno dostupný. Obrovskou výhodou vody představuje to, že se dá v podstatě až na pár výjimek použít na většinu druhů požárů, tudíž je velmi univerzálním hasicím prostředkem, jenž je zároveň netoxický a šetrný k životnímu prostředí. V 50. letech 20. století bylo zjištěno, že vodní mlha neboli atomizovaná voda výborně pohlcuje teplo, což vedlo, i přes špatné začátky uplatnění, k jejímu prosazení na světovém trhu mezi ostatními hasicími prostředky. Výjimečnost vodní mlhy spočívá v tom, že má při minimální spotřebě vody, kdy se jedná až o desetinásobek oproti klasickým vodním sprinklerům, velmi vysoký chladicí účinek. Ovšem postupem času se ukázalo, že je vodní mlha díky vysokému tlaku, jenž je pro vytvoření požadovaného vodního spreje nezbytný, oproti tradičním sprinklerům ekonomicky nevýhodná [3].

Hlavním konkurentem mlhových vodních systémů byly halogenové uhlovodíky (Halony), ze kterých to byl zejména Halon 1301. Jejich předností byla vysoká schopnost potlačovat požár, při čemž vznikaly prakticky nulové škody na majetku. Proto měly použití v prostorách, ve kterých se nacházely citlivé předměty (např. nemocnice, počítačové místnosti). Roku 1987 se však objevil cíl vyloučit výrobu všech látek, jež snižují ozonovou vrstvu, kdy s touto myšlenkou vyrukoval Montrealský protokol. Jelikož mezi tyto prvky Halon patřil, přestal se postupem času používat, čímž velmi prospělo vodním mlhovým systémům, které se stávaly oblíbenějšími. S požadovaným zlepšením vodních systémů převzala vodní mlha aplikaci v prostorech, ve kterých plyny nemohly být použity [3].

VYSOKOTLAKÁ VODNÍ MLHA

Vysokotlaká mlhová stabilní hasicí zařízení jsou ze všech tří typů vodních mlhových SHZ v současnosti navrhována nejčastěji. U těchto zařízení je velkou výhodou požadavek na nižší zásobu požární vody, tudíž rozměry zásobní nádrže na vodu nedosahují tak velkých rozměrů, jako u tradičních sprinklerových systémů. Další výhodou vysokotlakých mlhových zařízení je také vysoká hasicí schopnost při hašení hořlavých kapalin. Jako další variantou může být i uskladnění vody v tlakových lahvích, při čemž tedy není potřeby zásobní nádrže. U systémů používajících vodní mlhu je použito vodních kapek o průměru v rozmezí 0,2-0,025 mm, při čemž je použito provozního tlaku o hodnotě 100-150 bar. Tradiční sprinklerové systémy, u kterých se pohybuje velikost kapek mezi 1-3 mm, mají pomalejší přeměnu kapek na páru, na čemž má důsledek právě velikost kapek, přesněji spíše jejich měrný povrch, který má mlha výrazně vyšší. Tudíž vysokotlaká mlhová SHZ, jenž využívají menší průměry kapek, mají při stejné spotřebě vody vyšší ochlazovací účinek [2].

NAVRHOVÁNÍ MLHOVÝCH SHZ

U mlhový SHZ se kladou vysoké požadavky na dodavatele i projektanty, jelikož tyto systémy vyžadují přesné dodržení podmínek, které jsou vystavené v návrhovém manuálu a vystaveném certifikátu. Z toho vyplývá, že zařízení používající k hašení vodní mlhu mohou provádět pouze dodavatelé, které mají prokazatelné znalosti a kvalitně proškolení projektanti, i protože vysokotlaké mlhové systémy představují soustavu, která obsahuje plno specifických komponentů. Navrhovatelům jsou zakázány úpravy návrhových požadavků a výsledků zkoušek mlhového zařízení, stejně jako i zásahy do certifikované skladby komponentů. Vysokou pozornost vyžadují prostory chráněné vysokotlakou vodní mlhou, u kterých je nutné řešit zařízení pro odvod kouře a tepla, jelikož vodní mlha má vysokou citlivost na proudění vzduchu. U mlhových zařízení je přípustná maximální hodnota proudění vzduchu 5 m/s.

V případě porušení tohoto kritéria, dochází k vytvoření nerovnoměrné koncentrace v chráněném prostoru, kde se nachází místa, ve kterých hodnota koncentrace klesne pod hodnotu, která byla zjištěná při zkouškách hasicí schopnosti. K nezbytným součástem vysokotlakých mlhových SHZ akumulčního typu patří tlakové lahve s výtlačným plynem a vodou a potrubí s vysokým tlakem. Proto se při návrhu i provozování těchto systémů musí brát velký zřetel z hlediska tlakové bezpečnosti. Z tohoto důvodu patří zmiňovaná zařízení nejen mezi vyhrazená požárně bezpečnostní zařízení, ale i mezi vyhrazená tlaková zařízení a zároveň i mezi vyhrazená plynová zařízení [4].

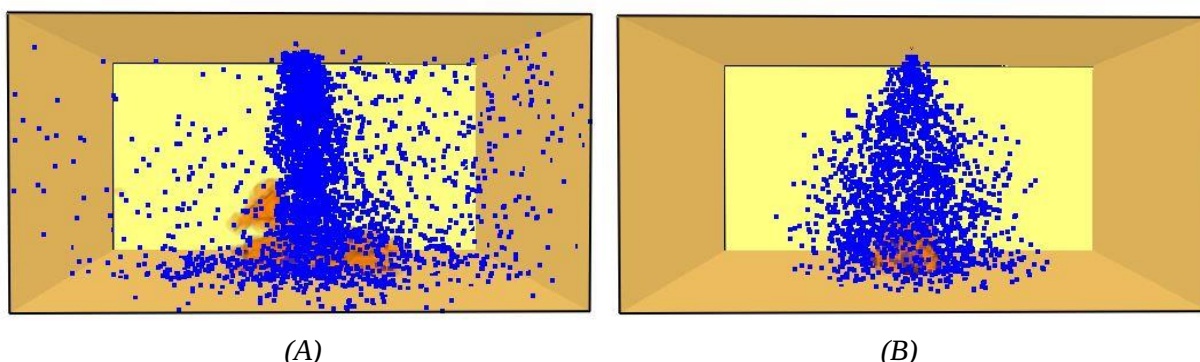
POUŽITÍ MLHOVÝCH SHZ

Mlhová stabilní hasicí zařízení jsou navrhována především pro třídy nebezpečí OH1-OH2, kam spadají převážně budovy a prostory, jako jsou knihovny, archivy, hotely, divadla či kulturní památky. Typickým příkladem budovy, která je velkoobjemově chráněná vysokotlakým mlhovým SHZ je Národní technická knihovna v Praze. Mlhová SHZ nachází uplatnění spíše v uzavřených prostorech. Jsou vysoce účinná při hašení požárů hořlavých kapalin, jelikož se jedná o požáry s velkou tepelnou energií. K typickým případům, ve kterých je navrženo nízkotlaké a středotlaké mlhové zařízení, patří prostory, jako jsou zkušební motorů, kajuty či strojovny námořních lodí. Vysokotlaká mlhová zařízení mají rozmanitější aplikaci, kterou nacházejí k ochraně prostorů, jimiž jsou například hromadné garáže, kabiny letadel, generátory, elektronické zařízení, telefonní ústředny, či větrné elektrárny. Klasickým případem, kdy jsou použita vícezónová mlhová SHZ, je ochrana kabelových kanálů či plynových turbín, jelikož mají snížené požadavky na zásobování vodou, jenž jsou navrhovány max. pro 3 zóny [5].

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Řešený příklad v této semestrální práci je zaměřený na porovnání potlačování požáru mezi systémem používající k hašení vodní mlhu a tradičním vodním sprinklerovým systémem. Příklad je řešený pomocí matematického modelu požáru v uzavřeném prostoru. V semestrální práci je k příkladu použit program FDS6 (Fire Dynamics Simulator, verze 6), jenž spadá pod deterministický model typu pole CFD (Computational Fluid Dynamics), který je založený na algoritmech výpočtového proudění tekutin [6].

Pro příklad je použit uzavřený prostor. Vnitřní rozměry zkušební místnosti jsou 5 m na délku, 4 m na šířku a 2,5 m na výšku. Uprostřed místnosti je nadefinovaný požár, který je simulován pomocí plynového hořáku o výkonu 200 kW. Nad tímto plynovým hořákem je pod stropem umístěná skrápěcí hlavice, jež je v každé ze dvou variant odlišná dle parametrů mlhové resp. klasické sprinklerové hlavice. Výpočetní síť pro tuto zvolenou místnost je definována buňkami o velikosti 67 mm. Celkový prostor je poté rozdělen do 171 000 buněk.



Obr. 1 (A) Potlačování požáru vodní mlhou; (B) Potlačování požáru klasickým sprinklerem

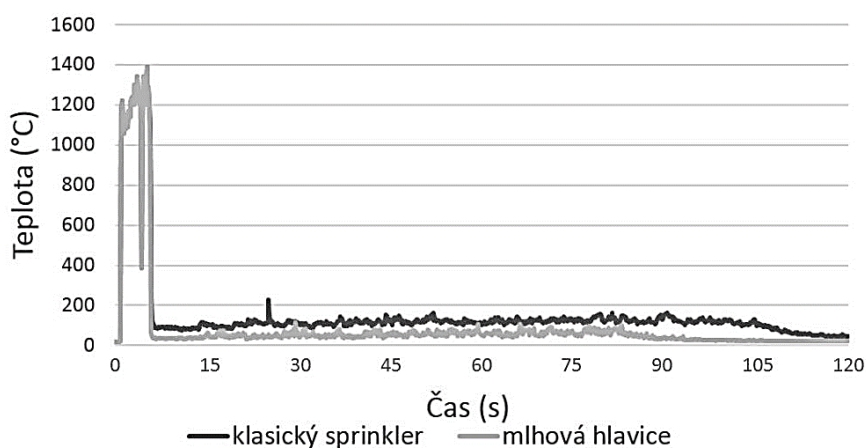
Fig. 1 (A) Fire suppressing of water mist; (B) Fire suppressing of classic sprinkler

Prostor zasažený požárem, ve kterém je instalováno hasicí zařízení, je tedy namodelován ve dvou variantách, kdy v každé variantě bude použita jiná hasicí hlavice. Obě hasicí hlavice jsou uvedeny do činnosti aktivační teplotou, tedy prasknutím tavné pojistky, která je u obou hlavic nastavena na teplotu 68 °C. U obou hlavic je také nastaven stejný úhel vodního kužele: 0-60 ° a počet vytékajících kapek za

vteřinu: 5000. Ve variantě A (obr. 1 (A)) bude instalována vysokotlaká mlhová hasicí hlavice HI-FOG®: Operační tlak 140 bar, střední velikost kapek: 112 μm , K faktor: 10, rychlost kapek 22 m/s. Ve variantě B (obr. 1 (B)) bude instalována klasická sprinklerová hlavice: Operační tlak 4 bar, střední velikost kapek: 2 mm, K faktor: 57, rychlost kapek 15 m/s.

POROVNÁNÍ VARIANT

U obou variant, tedy u potlačování požáru mlhovou hlavici a potlačování požáru klasickou vodní sprinklerovou hlavici, byly sledovány teploty 1 m nad ohniskem požáru, kde byl umístěn tepelný termočlánek. U obou skrápěcích hlavíc došlo k otevření hlavice, tedy prasknutí tavné pojistky a uvedení zařízení do činnosti, po 5,6 sekundách působení požáru. Z následného grafu průběhu teplot (obr. 2) ve sledovaném místě je viditelné, že naměřené teploty jsou nižší u varianty A, tedy u potlačování požáru vodní mlhou. Z následných naměřených uvedených hodnot tedy vyplývá, že v uzavřeném prostoru potlačuje lépe požár sprej mlhového systému oproti klasickému vodnímu sprchovému proudu.



Obr. 2 Průběh teplot 1m nad požárem

Fig. 2 The course of temperature in 1m above the fire

ZÁVĚR

V první části měl tento článek za úkol seznámit čtenáře s vodní mlhou, především tedy s jejím využitím v požární ochraně. Vodní mlha se v České republice začala postupně prosazovat v 50. letech 20. století, kdy bylo zjištěno, že výborně absorbuje teplo a nahradila v hašení halogenové uhlovodíky, především tedy Halon 1301, které měly vysokou schopnost hašení s prakticky nulovými škody na majetku, avšak snižovaly ozonovou vrstvu. Mezi Hlavní odlišnosti od klasického sprinklerového SHZ patří především provozní tlak systému a velikost kapek. V současné době je nejrozšířenější vysokotlaká vodní mlha, která se rozšířila kolem roku 2000, kdy našla uplatnění zejména v lodním průmyslu, avšak postupným zdokonalováním našla aplikaci i u pozemních staveb. Mlhová SHZ jsou navrhována zejména v budovách, která jsou třídy nebezpečí OH1-OH2, kam spadají převážně knihovny, archivy, divadla, hotely, ovšem své uplatnění nachází k ochraně prostorů, kterými jsou např. kabiny letadel, větrné elektrárny či generátory.

Druhá část této seminární práce je zaměřená na porovnání potlačování požáru mezi klasickým sprinlerovým SHZ a mlhovým SHZ v uzavřeném prostoru. Příklad je řešený pomocí matematického modelu v programu FDS6, kdy v uzavřené místnosti byl definován požár simulovaný plynovým hořákem o výkonu 200 kW. Nad ním byla v první variantě umístěna vysokotlaká mlhová hlavice a klasická vodní sprinklerová hlavice ve variantě druhé. Dle naměřených v místě 1 m nad požárem vyplynulo, že teploty byly nižší při potlačování požáru vodní mlhou, z čehož vyplývá, že v uzavřeném prostoru potlačuje požár lépe sprej mlhového systému oproti tradičnímu vodnímu sprchovému proudu.

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. ISBN 978-80-7385-103-3.
- [2] RYBÁŘ, Pavel. *Stabilní hasicí zařízení: vodní a pěnová*. Praha: Profesní komora požární ochrany, 2015. Edice Profesní komory požární ochrany. ISBN 978-80-260-7372-7.
- [3] SANTANGELO, P. E. a P. TARTARINI. *Fire control and Suppression by Water-Mist Systems*. In: The Open Thermodynamic Journal. 2010, s. 167-84.
- [4] RYBÁŘ, Pavel. Mlhová SHZ s otazníky. *Časopis I12*. 2015, **XIV**(11).
- [5] RYBÁŘ, Pavel. *Příklady použití stabilních hasicích zařízení v ochraně majetku a technologií*. Praha: generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2014.
- [6] WALD, František a kolektiv. *Modelování dynamiky požáru v budovách*. Praha: ČVUT v Praze, 2016. ISBN 978- 80-01-05633-2.

VÝVOJ VÝPOČETNÍHO NÁSTROJE PRO STANOVENÍ POŽÁRNÍHO RIZIKA, STUPNĚ POŽÁRNÍ BEZPEČNOSTI A POSOUZENÍ BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ PODLE TABULEK

DEVELOPMENT OF A CALCULATION TOOL FOR DETERMINATION OF FIRE SAFETY AND ASSESSMENT OF CONCRETE STRUCTURES ACCORDING TO TABLES

Bc. Jan Čermák

Abstract

Disciplines such as the calculation of fire risk, determination of fire safety degree of the fire department, assessment of fire resistance of building structures, but also many others are a routine matter and inseparable part of the fire safety design or project documentation of building structures, respectively. During its processing, there may often be forced changes which can lead to the very concept of a solution and thus require repetitive calculations. The main aim of this work is to design and develop a „simple“ program with a user friendly and intuitive user environment for determination of fire risk, degree of fire safety of the fire department and assessment of concrete structures according to the tables. The calculation tool will be for study purposes.

Key words: fire safety; fire risk; degree of fire safety; fire resistance; concrete; structural members; concrete structures

ÚVOD

Disciplíny jako výpočet požárního rizika, stanovení stupně požární bezpečnosti požárního úseku, posuzování požární odolnosti stavebních konstrukcí, ale i mnoho dalších, jsou rutinní záležitost a nedílnou součástí požárně bezpečnostního řešení, resp. projektové dokumentace stavebních objektů. V průběhu její tvorby, ať už v rámci jednoho stupně nebo při rozvíjení projektu do pokročilejší fáze, může a často také dochází k vynuceným změnám. Některé, které mají zásadnější charakter, mohou vést zpět až k samotné koncepci řešení.

V informačním věku je proto nasnadě využívat potenciálu výpočetní techniky a pracovat díky ní rychleji, efektivněji, a pokud je tu možnost určitého zjednodušení, využít ji.

Výpočet požárního rizika, stanovení stupně požární bezpečnosti a posouzení konstrukcí podle tabulek

Požární riziko se stanovuje samostatně u všech požárních úseků a ve vztahu k nevýrobním objektům řešených podle ČSN 73 0802 [1] je vyjádřeno výpočtovým požárním zatížením podle rovnice:

$$(1) \quad p_v = p \cdot a \cdot b \cdot c \quad [\text{kg/m}^2] \quad [2], \text{kapitola 2}$$

kde p_v je výpočtové požární zatížení

- p součet nahodilého (p_n) a stálého (p_s) požárního zatížení
- a součinitel vyjadřující rychlost odhořívání z hlediska charakteru hořlavých látek, popřípadě způsobu jejich uskladnění
- b součinitel vyjadřující rychlost odhořívání z hlediska stavebních podmínek
- c součinitel vyjadřující vliv požárně bezpečnostních opatření

Stupeň požární bezpečnosti požárního úseku se pak stanoví podle tabulky 8 normy [1] na základě parametrů posuzovaného objektu, řešeného požárního úseku a požárního rizika stanoveného podle výše uvedeného vztahu (1). Postup je podrobněji popsán v seminární práci.

Požadovaná a skutečná požární odolnost v minutách se stanovuje a posuzuje na základě stupně požární bezpečnosti požárního úseku a druhu stavební konstrukce podle [1], tab. 12.

VÝPOČETNÍ PROGRAM - úvod



Výpočetní program *IGNIS* (z latinského překladu = *Požár*), jeho teoretický základ ve formě vývojových diagramů a popisu funkce, je kromě neméně důležitého studia problematiky v širších souvislostech [2, 3] hlavním cílem práce. Program bude studijní pomůckou pro stanovení požárního rizika, stupně požární bezpečnosti a posouzení betonových konstrukcí podle tabulek. Výpočet se bude vztahovat k návrhu požární bezpečnosti nevýrobních objektů řešených podle normy ČSN 73 0802 [1].

Základní strukturou výpočetního programu je

- výběr podprogramu,
- zadání vstupních hodnot o posuzovaném objektu a požárním úseku,
- stanovení požárního rizika, stupně požární bezpečnosti a posouzení velikosti požárního úseku podle [1],
- posouzení požární odolnosti betonových konstrukcí podle tabulek,
- zobrazení závěru,
- zobrazení výstupního protokolu s možností exportu ve formátu *.docx pro možnost úprav.

Vývojový diagram popisující základní strukturu programu je na obr. 1 a diagram zobrazující hlavní algoritmus lze dohledat v příloze A seminární práce.

Software bude vytvořen v prostředí matematického nástroje *MATLAB*[®]. Bude psán otevřenou formou, která umožní přidání dalších částí programu (např. stanovení požárního a ekonomického rizika podle ČSN 73 0804 PBS – Výrobní objekty) a společně s uživatelskou příručkou a případnými dalšími jeho součástmi volně dostupný.

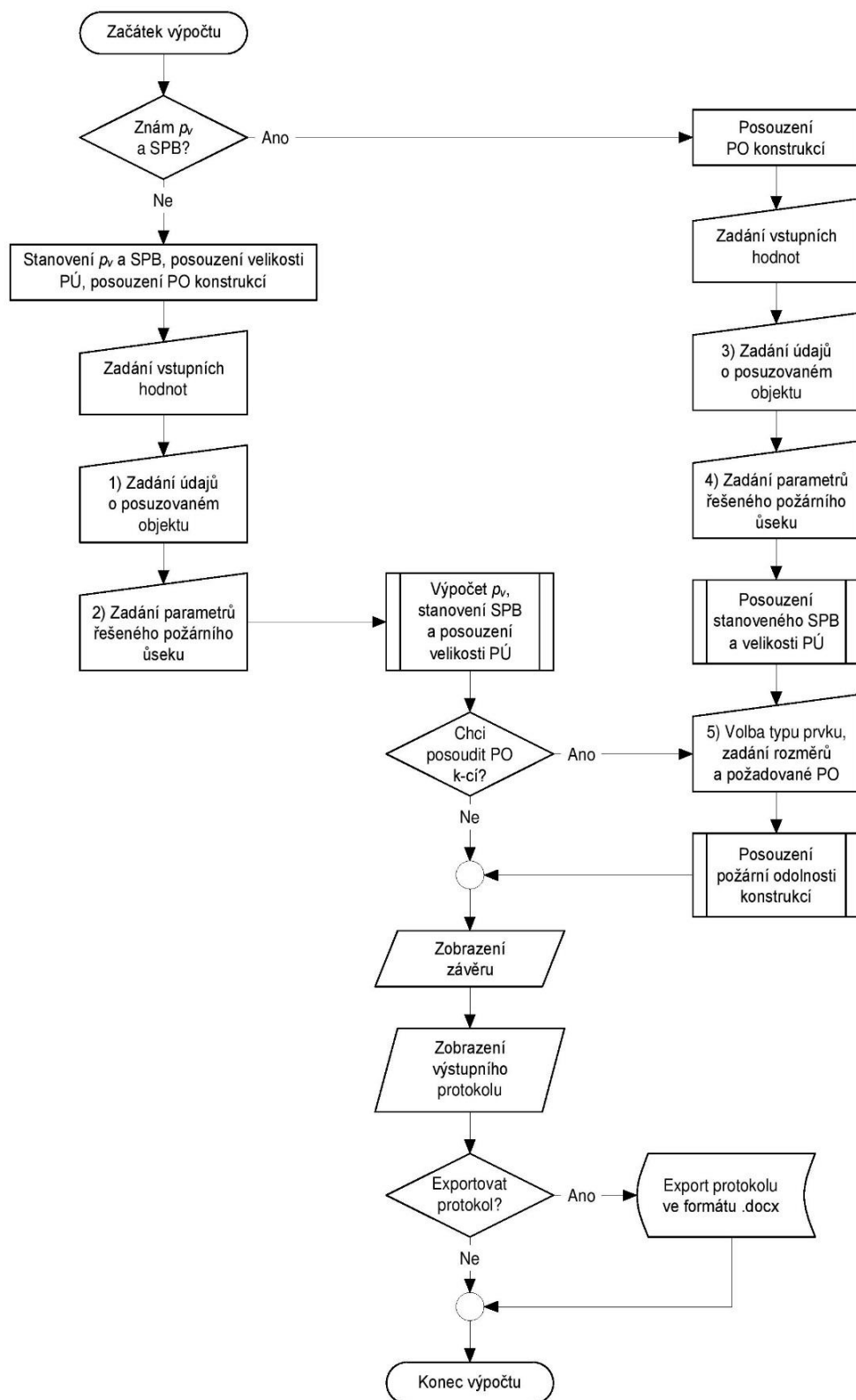
POPIS VÝPOČETNÍHO PROGRAMU

Po spuštění se uživateli zobrazí úvodní list s popisem pomůcky, instrukcemi, kontaktem na autora a možností volby příslušného podprogramu.

K dispozici budou dva typy výpočtu

- Výpočet včetně stanovení výpočtového požárního rizika p_v , stupně požární bezpečnosti, posouzení velikosti požárního úseku a požární odolnosti konstrukcí, nebo
- v případě znalosti p_v a SPB posouzení uživatelem stanoveného stupně požární bezpečnosti, velikosti požárního úseku a požární odolnosti konstrukcí.

Výběrem uživatel vstoupí do příslušného typu výpočtu. Podrobný popis obou výpočtových variant je uveden v seminární práci.



Obr. 1 Vývojový diagram základní struktury programu
 Fig. 1 Flow chart of the basic structure of the program

ZÁVĚR

Seminární práce je zaměřena na problematiku požárního rizika ve vazbě na požární bezpečnost nevýrobních objektů řešených podle ČSN 73 0802 [1] a souvisejících norem a předpisů. Článek shrnuje pouze základy řešené problematiky.

Přínosem výpočetní pomůcky vytvořené v rámci diplomové práce bude zejména usnadnění, urychlení a celkové zefektivnění návrhu požární bezpečnosti staveb, resp. částí celého návrhu, které program v prvních verzích studentům nabídne. Výpočet bude transparentní, snadno kontrolovatelný a výstupy v textovém formátu bude možné vložit do technické zprávy. Předpokladem však zůstávají odborné znalosti na straně uživatele. Další nespornou výhodou bude dostupnost programu bez nutnosti investice finančních prostředků a kromě případných aktualizací nebude nutné obnovovat časově omezené studentské licence.

Dlouhodobým cílem je pak software postupně rozšiřovat o další funkce a jeho přeprogramování např. v jazyce *Python* nebo *C++* pro možnost komerčního využití.

Pokud odevzdaný článek nebude splňovat žádané formátování, bude navrácen autorovi k přepracování.

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych velice rád poděkoval vedoucímu seminární práce Ing. Radku Štefanovi, Ph.D., stejně jako odbornému konzultantovi v oblasti požární bezpečnosti staveb Ing. Martinu Benýškoví za poskytnutí cenných odborných rad při zpracování seminární práce.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 0802. *Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty*. Praha: ÚNMZ, 2015.
- [2] REICHEL, Vladimír. *Požární předpisy pro stavební objekty v praxi*. II. přepracované vydání. Praha: SNTL, 1976. Zabraňujeme škodám, Svazek 2.
- [3] REICHEL, Vladimír. *Navrhování požární bezpečnosti staveb*. Díl I. Praha: SNTL, 1978. Zabraňujeme škodám, Svazek 11.

ANALÝZA PROCESU PYROLÝZY A HOŘENÍ KAPALIN

ANALYSIS OF THE PROCESS OF PYROLYSIS AND BURNING LIQUIDS

Bc. Daniela Divišová

Abstract

Seminar work deals with flammable liquids. It focuses on burning liquid in the tank (pool fire). It defines and explains burning rate and HRR of liquids. The second part of this thesis deals with the impact of the tank geometry on the temperature and HRR of methanol. There are defined two tanks with the same input conditions but other geometry (circular and square). As the burning liquid is selected 10 l of methanol in both tanks. The example is simulated at CFD model using the FDS and the results are compared with an analytical calculation.

Key words: flammable liquid; pool fire; fire technical characteristics; HRR; tank geometry; methanol; CFD model; FDS

ÚVOD

Práce je zaměřená na plošný požár kapaliny, který je specifický vysokým sálavým teplem zářícím z povrchu plamene. Sálavé teplo může být velmi nebezpečné, proto je důležité předcházet možnému riziku požáru hořlavé kapaliny, díky znalostem jejich fyzikálně-chemickým a požárně technickým charakteristikám. Požárně technické charakteristiky jsou nestálé, vzhledem k jejich tendenci se měnit s rostoucí teplotou, a proto jsou jejich hodnoty, ve většině případů, stanovovány experimentálně na základě příslušných norem. Následující požárně technické charakteristiky patří mezi nejdůležitější z hlediska podmínky pro iniciaci, vznik a následné hoření kapalin.

RYCHLOST ODHOŘÍVÁNÍ

Rychlost odhořívání je požárně technická charakteristika udávající množství kapaliny, která shoří za určitou časovou jednotku a ovlivňuje nejen množství uvolněného tepla, ale i velikost a rozsah požáru. Parametr rychlosti odhořívání se v průběhu hoření mění v závislosti na vlastnostech kapaliny a množství uvolněného tepla z pásma hoření na povrch kapaliny. Z experimentů a výsledků požárních zkoušek se prokázalo, že rychlost odhořívání je závislá na průměru nádrže, ale pouze do určité hodnoty. U nádrží, které mají menší průměr, dochází k nárůstu rychlosti odhořívání, zatímco po překonání asymptotické hodnoty se rychlost odhořívání ustálí nebo dokonce mírně zmenší [1].

Pokud je rychlost odhořívání kapaliny v nádrži neznámá, tedy nezjištěna z experimentů či požárních zkoušek, lze ji stanovit pomocí následující rovnice, která je platná pro plošné požáry s nádrží o průměru větším než 0,2 m [2]:

$$\dot{m}'' = \dot{m}_{\infty}''(1 - e^{-k\beta D}), \quad (1)$$

kde $\dot{m}_{\infty}''$ asymptotická hmotnostní rychlost odhořívání kapaliny [kg/(s m²)],
 $k\beta$ materiálová konstanta hořlavé kapaliny [m⁻¹],
 D charakteristický průměr plochy odhořívání [m].

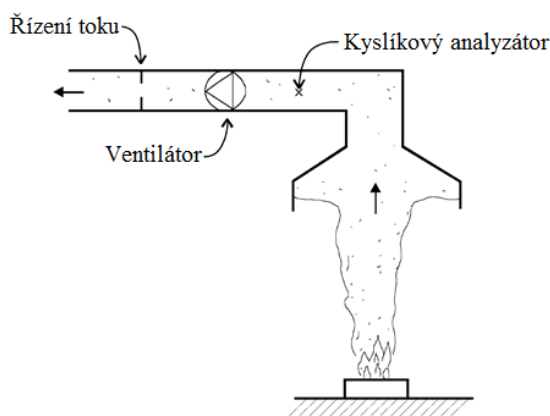
Jestliže je plocha požáru jiného než kruhového průřezu, lze určit charakteristický průměr nádrže pomocí následujícího vztahu:

$$D = \sqrt{\frac{4A_f}{\pi}}, \quad (2)$$

kde A_f charakteristická plocha požáru [m²].

RYCHLOST UVOLŇOVÁNÍ TEPLA

Tento parametr představuje energii uvolňovanou hořlavou kapalinou za jednotku času (Heat Release Rate – HRR nebo Rate of Heat Release – RHR). Veličina není konstantní, ale je proměnlivá v čase. Většinou se stanovuje měřením pomocí kyslíkové kalorimetrie (obr. 1), kde se předpokládá, že většina látek uvolňuje konstantní množství energie na jednotkové množství spotřebovaného kyslíku, a to 13,1 MJ/kg [2].



Obr. 1 Schéma kyslíkového kalorimetru [2]
Fig. 1 Scheme of the oxygen calorimeter [2]

HRR lze stanovit analyticky pomocí rovnice závislé na hmotnostní rychlosti odhořívání a efektivní výhřevnosti:

$$Q = \dot{m} \Delta H_{eff}, \quad (3)$$

kde Q rychlost uvolňování tepla, HRR [kW],
 $\dot{m}$ hmotnostní rychlost odhořívání [kg/s],
 ΔH_{eff} efektivní výhřevnost [kJ/kg].

Výhřevnost je určována laboratorními zkouškami za přesně definovaných podmínek, tudíž se může lišit od reálných hodnot požáru. V praxi se tedy počítá pouze s efektivní hodnotou výhřevnosti, která zohledňuje nedokonalost procesu spalování. Poměr mezi celkovou a efektivní výhřevností se nazývá efektivnost spalování (χ_s) a je určena jako:

$$\chi_s = \frac{\Delta H_{eff}}{\Delta H_c}, \quad (4)$$

kde χ_s součinitel efektivního spalování [-],
 ΔH_c celková výhřevnost [kJ/kg].

Např. alkoholy ve většině případů hoří s téměř nulovým vznikem sazí, tudíž se jejich efektivnost spalování blíží jedné, tedy k dokonalému spalování. Pokud ale při hoření dochází k nedostatečnému přísunu kyslíku, vzniká hustý kouř a hodnota efektivnosti spalování klesá [3].

Rovnici (3) lze upravit, pokud je známa rychlost odhořívání, která je vztažena na jednotku plochy, celková plocha odhořívání a efektivní spalování, následovně:

$$Q = A_f \dot{m}'' \Delta H_c \chi_s, \quad (5)$$

kde $\dot{m}''$ hmotnostní rychlost odhořívání z 1 m² [kg/(s m²)].

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Cílem řešeného příkladu je porovnat HRR a teplotu hořlavé kapaliny u dvou nádrží o stejných vstupních parametrech, ale jiné geometrii (Tab. 1). První nádrž je kruhového půdorysu o ploše 0,41 m², zatímco druhá nádrž má půdorys čtvercový, při zachování stejné plochy jako u nádrže kruhové. V obou nádržích je zvolen, jako hořlavá kapalina, methanol o objemu 10 l.

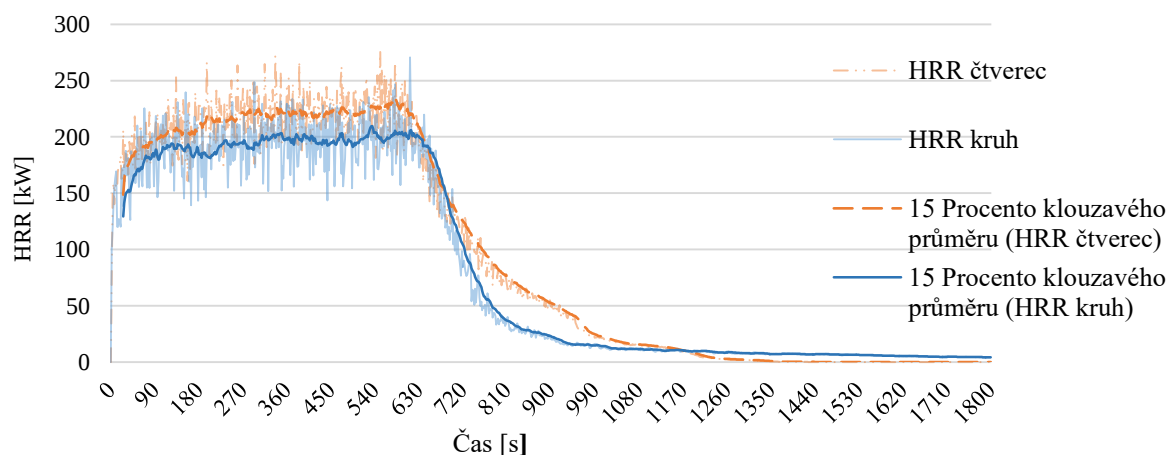
Tab. 1 Geometrie kruhové a čtvercové nádrže

Tab. 1 Geometry of circular and square tank

Nádoba	Kruh	Čtverec
Průměr / délka strany; [m]	0,72	0,64
Výška; [m]	0,15	0,15
Plocha; [m ²]	0,41	0,41
Objem; [m ³]	0,0615	0,0615

Níže (obr. 2) je zobrazen graf s výslednými průběhy. Dle očekávání jsou si výsledky velmi podobné. Nádrž se čtvercovou plochou má vyšší průměrné hodnoty HRR, s tím, že nejvyšší hodnota dosahuje 275,96 kW. Vyšší průměrné hodnoty HRR mají za následek kratší dobu hoření. Methanol ve čtvercové nádobě dohoří v 1427 s. Klesající fáze grafu je u čtvercové nádrže pozvolnější oproti nádrži s kruhovým průřezem.

Kruhová nádrž má, na rozdíl od čtvercové, nižší průměrné hodnoty HRR, přičemž nejvyšší hodnota je obdobná jako u čtvercové nádrže, a to 270,4 kW. Nižší hodnoty HRR ovlivňují dobu trvání hoření, kdy methanol v nádrži hoří až do 1800 s.



Obr. 2 Průběh HRR pro kruhovou a čtvercovou nádrž

Fig. 2 HRR graph for circular and square tank

Naměřené výsledky lze porovnat s jednoduchým analytickým výpočtem dle rovnice (5) při uvažování stejných vstupních údajů jako pro matematický model.

$$Q = \dot{m}'' \Delta H_c A_{eff} (1 - e^{-k\beta D}) = 0,017 * 20000 * 0,41 * (1 - e^{-100 * 0,72}) = 139,4 \text{ kW}$$

Vzhledem k tomu, že analytický výpočet přepočítává veškeré geometrie skrze velikost plochy nádrže na kruh, postačí k příkladu pouze jeden výsledek, který je shodný pro obě nádrže.

Z výsledku je patrné, že ruční výpočet vychází oproti matematickému modelu nižší. Tento fakt může mít za následek např. hrubá výpočetní síť matematického modelu. Následující tabulka (tab. 2) srovnává hodnoty vypočtené ručním výpočtem s hodnotami vycházejících z matematického modelu.

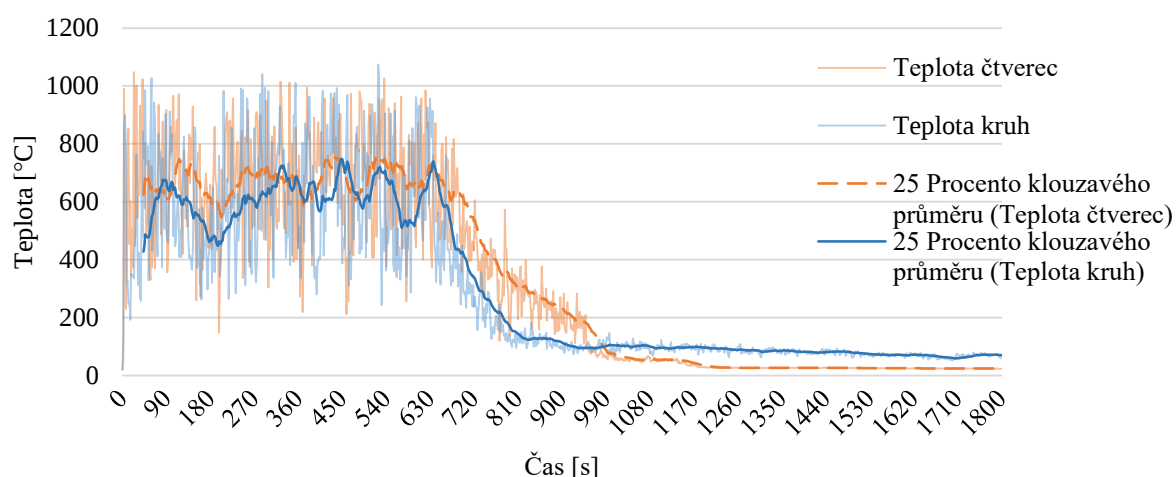
Tab. 2 Porovnání výsledků analytického výpočtu a matematického modelu

Tab. 2 Comparing the results of the analytical calculation and the mathematical model

	Analytický výpočet	Matematický model	
Nádrž	-	Kruh	Čtverec
Q [kW]	139,4	270,4	275,96

Vedlejší sledovaný parametr byla teplota, která se měřila termočlánkem umístěným ve vzdálenosti 5 cm nad hladinou metanolu. Průběhy teplot obou nádrží znázorňuje následující graf (obr. 3). Teplota vychází z velikosti HRR, tzn. čím vyšší je tento parametr, tím vyšší je teplota. Nádrž o čtvercové ploše má v průměru vyšší teploty, než jsou u nádrže kruhové, což zapříčiňuje i rychlejší průběh hoření a vyšší průměrné hodnoty HRR. Plamenné hoření, kdy jsou teploty vyšší, přestává okolo 950 s, což je v grafu znázorněno jako konečný úsek klesající části.

U kruhové nádrže lze pozorovat, že teplota na klesající části grafu je nižší než u nádrže se čtvercovým půdorysem, což má za následek právě strmější klesání křivky HRR oproti křivce HRR nádrže čtvercové. U kruhové nádrže přestává plamenné hoření okolo 1050 s.



Obr. 3 Teploty pro kruhovou a čtvercovou nádrž ve výšce 5 cm nad hladinou kapaliny

Fig. 3 Temperatures for circular and square tank at a height of 5 cm above the liquid level

ZÁVĚR

Z výsledků je zřejmé, že se průběhy HRR a teplot pro zkoumané nádrže liší jen nepatrně. Tento fakt je způsoben tím, že výpočetní program FDS definuje kapalinu jako pevnou překážku, a tím neuvažuje možné změny vzniklé prouděním hořící kapaliny v nádrži. Při reálném plošném požáru kapaliny dochází právě k proudění, které může způsobit značně větší odlišnosti průběhů HRR a teplot od průběhů, které byly namodelovány v programu FDS. Pro přesnější výsledky by bylo vhodné namodelované průběhy porovnat s reálným experimentem.

LITERATURA

- [1] SKARSBO, Lars. *An Experimental Study of Pool Fires and Validation of Different CFD Fire Models*. Bergen Norway: Department of Physics and Technology, University of Bergen, 2011.
- [2] DRYSDALE, Dougal. *An introduction to Fire Dynamics, Third Edition*. University of Edinburgh, Scotland, UK: A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, nedatováno. ISBN 978-0-470-31903-1.
- [3] KUČERA, Petr. *Požární inženýrství dynamika požáru*. SPBI Spektrum, 2009. ISBN 978-80-7385-074-6.

VALIDACE MODELU KONSTRUKCE SLAMĚNÉHO OBJEKTU PŘI POŽÁRU

MODEL VALIDATION STRAW BALE CONSTRUCTION IN CASE OF FIRE

Bc. Miroslav Douša

Abstract

This article deals with a heat transfer model in a straw bale construction with a clay plaster. The solved model deals with the wall of self-supporting straw. To verify the real behavior of the straw wall model, a wall with an already tested composition is being tested in an accredited fire laboratory Pavus, a.s. In Veselí nad Lužnicí under the direction of Ing. Jan Růžička, Ph.D. Within Project 1221420507: "Selected Properties of Natural and Other Building Materials, Building Elements and Buildings". It can be seen from the graphs that the heat transmission in the first layer of the structure succeeded to simulate quite precisely.

Key words: fire resistance; straw bale construction; fire technical characteristic; clay plaster; Fire Dynamic Simulator

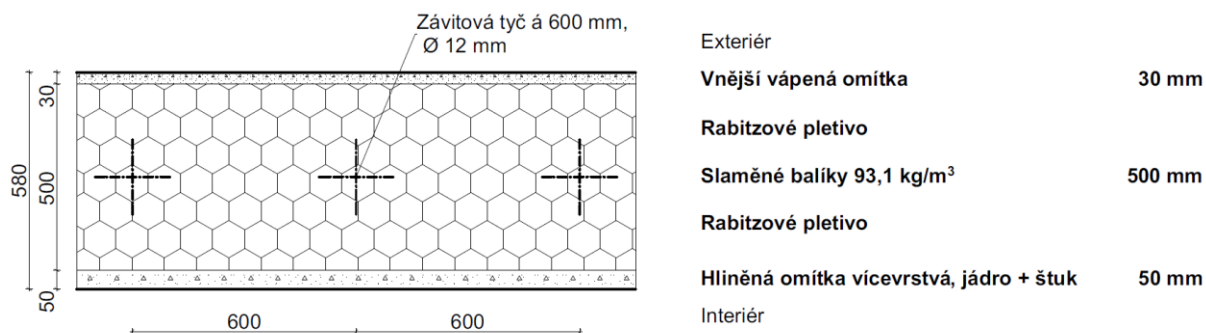
ÚVOD

Tento článek se zabývá modelem prostupu tepla do konstrukce ze slaměných balíků omítnuté hliněnou omítkou. Řešený model se zabývá stěnou ze samonosné slámy. Model bude proveden v programu FDS. Pro ověření reálného chování modelu slaměné stěny je modelována stěna s již odzkoušenou skladbou v akreditované požární laboratoři Pavus, a.s. ve Veselí nad Lužnicí pod vedením pana Ing. Jana Růžičky, Ph.D. v rámci Projektu 1221420507: „Vybrané vlastnosti přírodních a dalších stavebních materiálů, stavebních prvků a budov“.

PROJEKT 1221420507 – Vzorek č. 1: Nosná stěna ze slaměných balíků

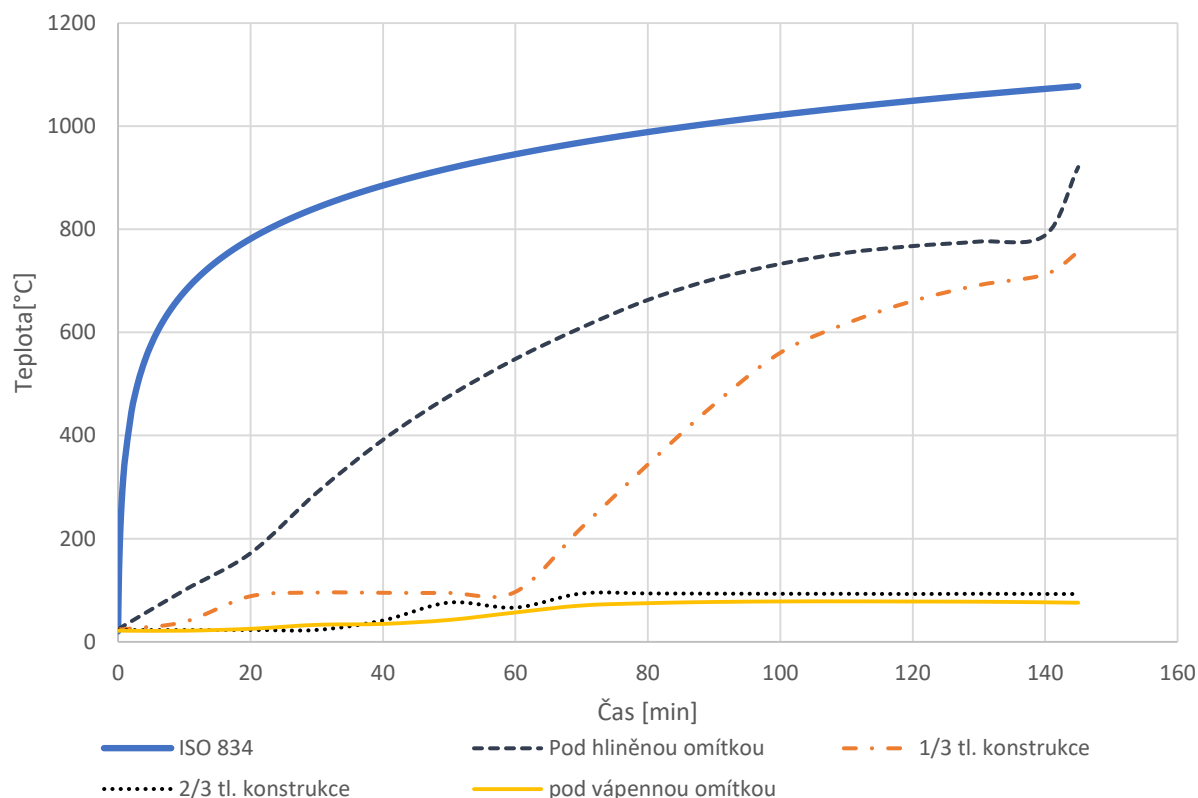
Vzorek označený č. 1 byl podroben tzv. zkoušce deklarční, která byla prováděna na vzorku normovém a slouží jako deklarace požární odolnosti zkoušené konstrukce. Normová stěna byla postavena ze slaměných balíků o tloušťce 500 mm, přičemž objemová hmotnost při stlačení dosáhla 93,1 kg/m³. Stěna byla stažena vždy po dvou řadách balíků pomocí závitových tyčí. Z interiérové strany byl vzorek stěny opatřen hliněnou omítkou – vše viz obr. 1. Stěna byla omítnuta více vrstvami hliněné omítky, která byla nanášena na rabičové pletivo. Celková tloušťka omítky dosáhla 50 mm. Byla použita míchaná směs omítky od společnosti PICAS. Na vnější straně zkoušené slaměné stěny byla nanesena vápenná omítková tl. 30 mm.

Během zkoušky byla stěna namáhána rovnoměrným svislým zatížením o velikosti 12 kN/m, které působilo přes ocelový zatěžovací rám.



Obr. 1 Skladba nosné stěny ze slaměných balíků
Fig. 1 Structure of the load-bearing wall from straw bales

Zkouška byla ukončena po 145 minutách, jelikož se slaměná stěna začala nadměrně deformovat a přestala splňovat mezní stav požární odolnosti R – únosnost a stabilitu. Již od patnácté minuty se na stěně začaly objevovat první trhliny, nicméně mezní stavy celistvosti a izolace po dobu testu nebyly porušeny. Na základě hodnot zjištěných během zkoušky (obr. 2) je patrné, že hliněné omítky mají velký význam v požární ochraně slaměných konstrukcí. Teplota pod hliněnou omítkou byla řádově o 200 °C nižší oproti teplotě, která v peci vznikala. Problém nastal ve 144. minutě, kdy hliněná omítka odpadla ze slaměné stěny úplně. V danou chvíli je znatelný prudký nárůst teploty a stěna se začala prudce deformovat průhybem vzorku, což vedlo k ukončení zkoušky. Výsledkem celého testu bylo dosažení požární odolnosti REI 120 DP3.



Obr. 2 Teplotní profil stěny ze samonosných balíků slámy [1] Upraveno
Fig. 2 Temperature profile the wall of self-supporting straw bales [1] Modified

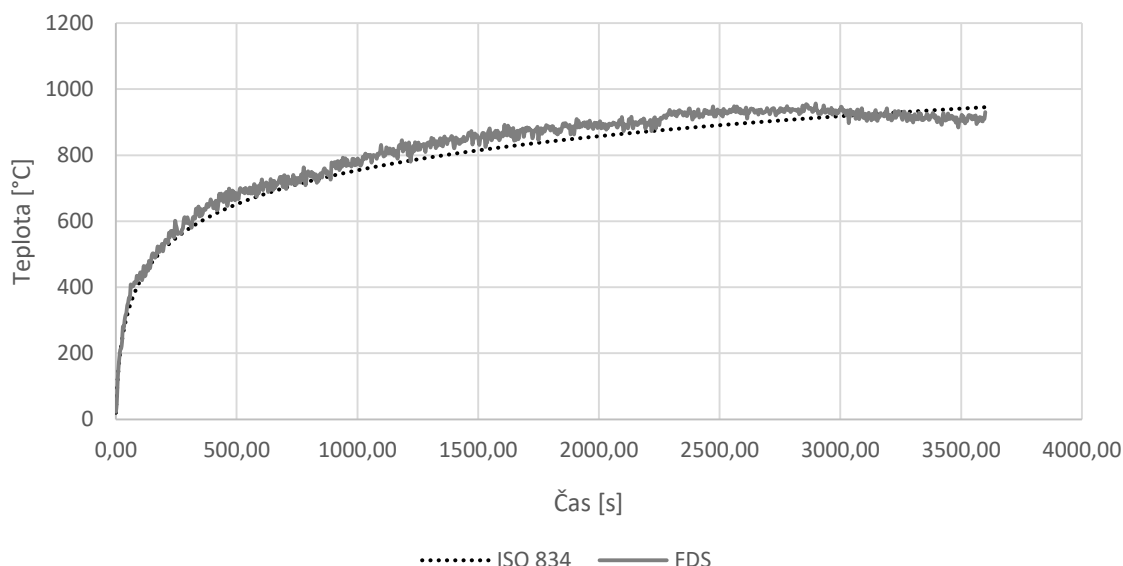
MODEL SLAMĚNÉ STĚNY

Pro účely tohoto modelu byla zvolena výpočetní síť o rozměrech 3 000 x 1 200 x 3 000 mm s velikostí jedné buňky 100 x 100 x 100 mm. V prostoru této sítě byla vymodelována stěna pomocí příkazu „OBST“ o rozměrech 3 000 x 3 000 mm s virtuální tloušťkou na šířku jedné výpočetní buňky tj. 100 mm. Modelované stěně byly materiály přiřazeny pomocí příkazu „SURF_ID6“, ve které už byla uvažována reálná tloušťka stěny, včetně skutečných tloušťek jednotlivých vrstev použitých materiálů. Skladba modelu stěny z interiéru vypadá následovně: hliněná omítka tl. 50 mm, vrstvené slaměné balíky tl. 500 mm, hliněná omítka tl. 30 mm. Definované materiálové vlastnosti byly uvažovány s konstantní hodnotou, neproměnnou s rostoucí teplotou. Pro účely tohoto modelu bylo zanedbáno použití pletiva v omítkách i použití závitových tyčí ve skladbě konstrukce. Uvažované hodnoty materiálových vlastností:

- Slaměné balíky:
 - $\rho = 93,7 \text{ kg/m}^3$
 - $c = 2,0 \text{ kJ/(kg.K)}$
 - $\lambda = 0,06 \text{ W/(m.K)}$

- Hliněná omítka: $\rho = 1600 \text{ kg/m}^3$
 $c = 1,0 \text{ kJ/(kg.K)}$
 $\lambda = 0,461 \text{ W/(m.K)}$
- Vápenná omítka: $\rho = 1400 \text{ kg/m}^3$
 $c = 0,84 \text{ kJ/(kg.K)}$
 $\lambda = 0,87 \text{ W/(m.K)}$

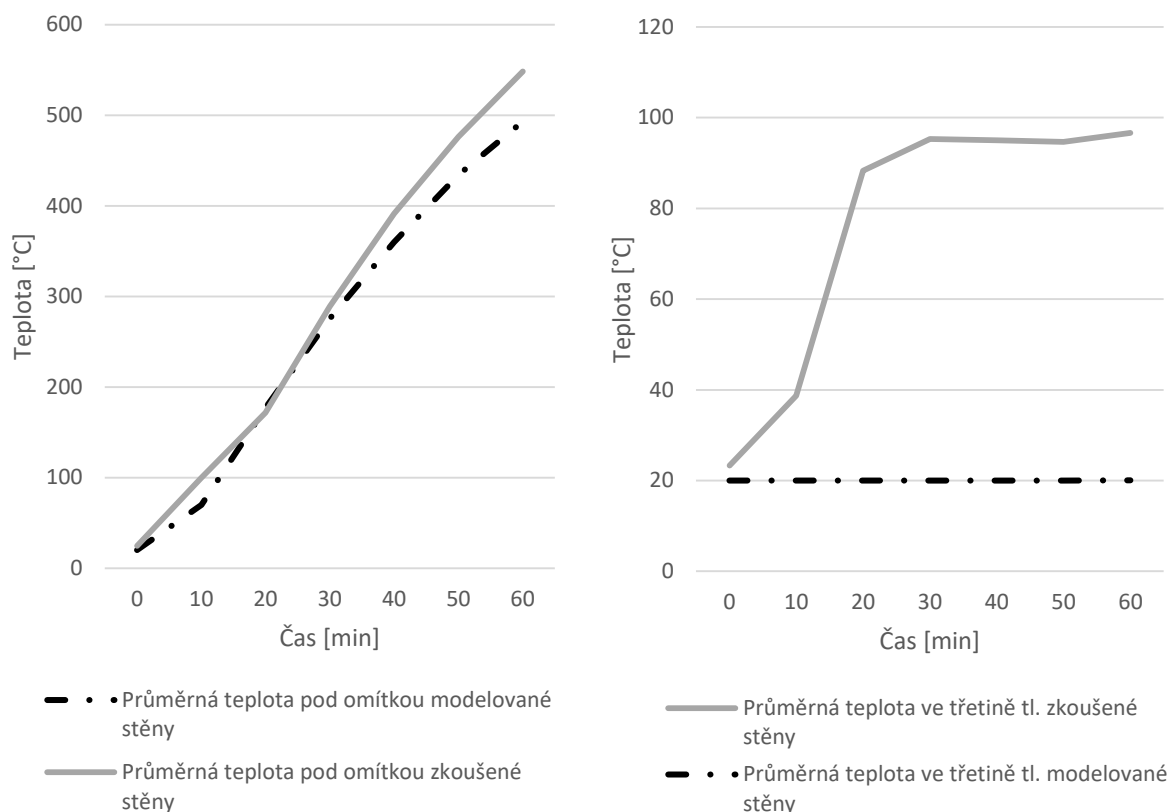
Dále zde byly vymodelovány přívodní a odvodní otvory, tak aby nedocházelo k ovlivnění plamene akumulovaným kouřem a 4 hořáky, kterým byl přiřazen výkon 8 MW, pro jeden hořák a tento výkon byl následně redukován v čase pomocí příkazu RAMP_Q tak, aby na deskových termočláncích umístěných ve výpočetním prostoru, ve vzdálenosti 100 mm před modelovanou stěnnou, rostla teplota podle nominální normové teplotní křivky ISO 834. Výsledná teplota uvnitř modelovaného prostoru byla stanovena jako aritmetický průměr z teplot naměřených na jednotlivé deskových termočláncích. Průběh teploty uvnitř tohoto prostoru je patrný z obr. 3. Modelovaný průběh teploty je znázorněn červenou křivkou.



Obr. 3 Průběh teploty v modelovaném prostoru v porovnání s ISO 834
 Fig. 3 Temperature progress comparison with ISO 834

Z hlediska dlouhého výpočtového času byl modelová pouze výsek prvních 60 minut požární zkoušky. Model porovnává průběhy teplot pouze v termočláncích umístěných na rozhraní hliněné omítky a slaměných balíků. Z obr. 3 je patrné, že největší vzestup teploty uvnitř konstrukce je zaznamenán právě na těchto termočláncích (na rozhraní hliněné omítky a slaměných balíků). V termočláncích v první třetině tloušťky konstrukce se až do 60. minuty teplo pouze kumuluje, začíná se odpařovat vlhkost, která se do slaměných balíků dostala především z aplikace hliněné omítky a další rozvoj teplot nastává až po 60. minutě. Termočlánci umístěné ve druhé třetině tloušťky konstrukce a na rozhraní slaměných balíků a vápenné omítky ukazují dobré tepelně izolační vlastnosti slámy, když po zkoušenou dobu (144 minut) naměřená průměrná teplota v jejich úrovni nestoupne nad 120 °C.

Namodelovaný průběh teplot na rozhraní hliněné omítky a slaměného balíku je znázorněn na obr. 4. Je vyznačen čerchovanou čarou a jedná se o průměrnou teplotu naměřenou na všech termočláncích umístěných v této rovině konstrukce.



Obr. 4 (A) Teplotní profil na rozhraní hliněné omítky a slaměných balíků;
 (B) Teplotní profil na ve třetině tloušťky konstrukce
 Fig. 4 (A) Temperature profile under clay plaster;
 (B) Temperature profile in a third of the thickness of the structure

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vytvoření modelu slaměné stěny a ověření jejích vlastností za požáru v porovnání s již provedenou velkorozměrovou zkouškou. Jak je možno vidět z příložených grafů, tak se celkem reálně podařilo nasimulovat jak zatížení modelu pomocí nominální normové teplotní křivky, tak i prostup tepla do konstrukce prozatím jen v první vrstvě tloušťky konstrukce (na rozhraní hliněné omítky a slaměných balíků). Dalším postupem tohoto výzkumu bude zdokonalení prostupu tepla hlouběji do konstrukce především do vrstvy slaměných balíků a následně tento model slaměné stěny využít při modelování experimentálního slaměného objektu.

LITERATURA

- [1] RŮŽIČKA J., POKORNÝ M., „Požární odolnost obvodových stěn NED, PD z přírodních a recyklovaných materiálů“, Časopis Stavebnictví, č. pp. 34-39, 11/2011.
- [2] „Protokol o zkoušce požární odolnosti pro výrobek: Nosná obvodová stěna, Nosná stěna z balíků slámy Pr-11-2.097“. Veselý nad Lužnicí: PAVUS, a.s., 19/09/2011.

OVĚŘENÍ NORMOVÝCH POŽADAVKŮ NA ZŘIZOVÁNÍ POŽÁRNÍCH UCPÁVEK VE STĚNĚ

VERIFICATION OF STANDARD REQUIREMENTS FOR FIRE-STOPPING IN WALLS

Bc. Kristián Filsak

Abstract

This article focuses on fire seals for the penetration of plastic pipes through a fire partition structure. The subject of the main interest is the modification of the technical standard ČSN 73 0810, which changed the conditions for use of system fire seals last year. Because of this, a model object with several intersections in the FDS program has been modelled to confirm or rebut the theory of the non-use of system fire seals for penetrations that are located in the lower positions in the rooms.

Key words: fire resistance; system fire seal; temperature progression; thermocouple; FDS

ÚVOD

Těsnění prostupů kabelů a potrubí v požárně dělících stěnách se navrhuje a provádí ve spoustě variant. Tuto problematiku upravuje naše legislativa zejména pomocí ČSN 73 0802, ČSN 73 0804, co se týká vzduchotechnických rozvodů potrubí, řeší ČSN 73 0872, a v neposlední řadě ČSN 73 0810. V červenci roku 2016 vyšla pod záštitou Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví nová norma ČSN 73 0810. V této verzi normy bylo upraveno řešení prostupů kabelových či potrubních rozvodů skrze požárně dělící stěny a požadavky na řešení prostupů požárně dělícími stěnami se výrazně zpřísnily. Tento stav je sice na straně bezpečnosti, ale vzhledem k požadovaným revizím systémových ucpávek se jedná o docela výraznou komplikaci při realizaci a následně při provozu stavby [3, 4].

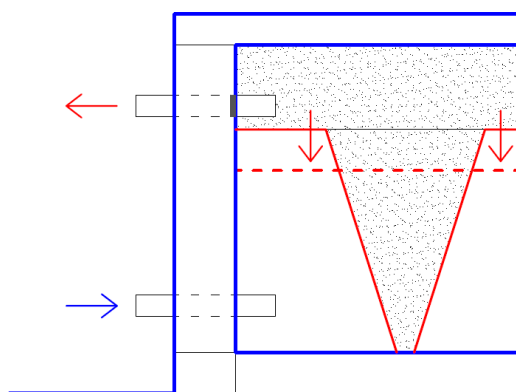
Komplikace je dvojí. Za prvé, je nutné do domu zajistit přístup reviznímu technikovi, který musí požární ucpávky zkontrolovat, a za druhé, je nezbytné k těmto ucpávkám zajistit přístup. V nejhorším případě tedy vyvstane i nezbytnost demontáže konstrukce, která brání v přístupu k prostupu stěnou. Vzhledem k trendu, který se v dnešní době v domácnostech projevuje, je to dosti pravděpodobné, jelikož běžným typem sanitární techniky je podomítková splachovací nádržka. Budeme předpokládat, že odpadní potrubí od zmiňovaného kusu sanitární techniky bude procházet požárně dělící stěnou a že na něm je umístěna systémová požární ucpávka. Pokud bychom měli dostát naší povinnosti v podobě pravidelných revizí a nechat prověřovat funkčnost požárního těsnění, bylo by zapotřebí během každé kontroly demontovat konstrukci skrývající odpadní potrubí, a odhalit tak zmiňovanou ucpávku.

Vzhledem k výše zmíněným požadavkům je problematika zřizování požárních ucpávek častým a nezdědkou rozporuplným tématem v odborných kruzích. V tomto článku byl proto věnován prostor ověření vlivu prostupu na šíření požáru skrz požárně dělící konstrukci (a tudíž i nutnost instalace požární ucpávky) a dále vliv schopnosti přetvoření požárně dělící konstrukce na funkčnost ucpávky. Jak bylo zmíněno výše, požadavky se vydáním novely normy ČSN 73 0810 razantně zpřísnily, a přestože se jedná o počin, který nejspíše zvyšuje možnou požární ochranu budovy, činí tak na úkor bezproblémového užívání objektu.

OVĚŘOVÁNÍ POMOCÍ VÝPOČETNÍHO MODELU

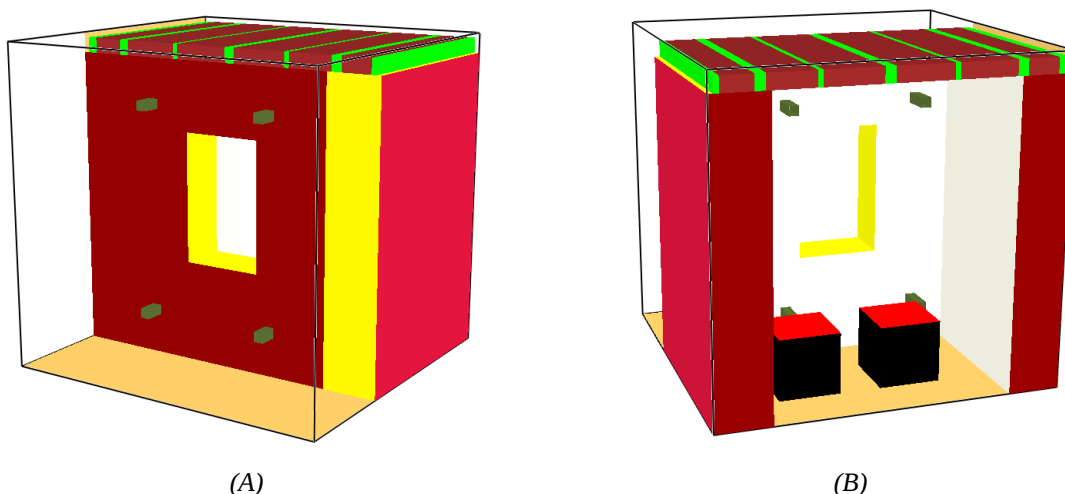
Vzhledem k tomu, že se práce zabývá požárními ucpávkami pro plastová potrubí a odkazuje se i na změnu normy ČSN 73 0810, která radikálně změnila podmínky pro utěšňování a chránění prostupů požárně dělícími konstrukcemi, byl v této kapitole ponechán prostor pro ověření autorovy teorie. Tato teorie říká, že pro prostupy umístěné v nižších polohách není zcela nutné jejich protipožární zabezpečování požárními ucpávkami z důvodu kumulace vysokých teplot v horních částech místnosti [5].

Jak je vidět na schématickém obrázku č. 1, během průběhu požáru stoupají zplodiny hoření ve formě kouře do horních oblastí místnosti a vytvářejí tzv. kouřovou vrstvu, kde se nachází největší teploty. Autorova teze je tedy taková, že nedojde k tak velké tepelné expozici prostupu u podlahy, a tudíž po dobu požadované požární odolnosti nemusí dojít k překročení mezních stavů E a I. Jako první tedy budou ovlivněny požární ucpávky na prostupech v horních částech místnosti, zatímco se kouřová vrstva bude zvětšovat a bude se rozšiřovat směrem dolů a spodní otvory budou sloužit pro přívod čerstvého vzduchu. Tyto prostupy budou spíše ochlazovány, a tím spíše dojde ke spuštění jejich ucpávek v mnohem pozdějších fázích požáru [1].



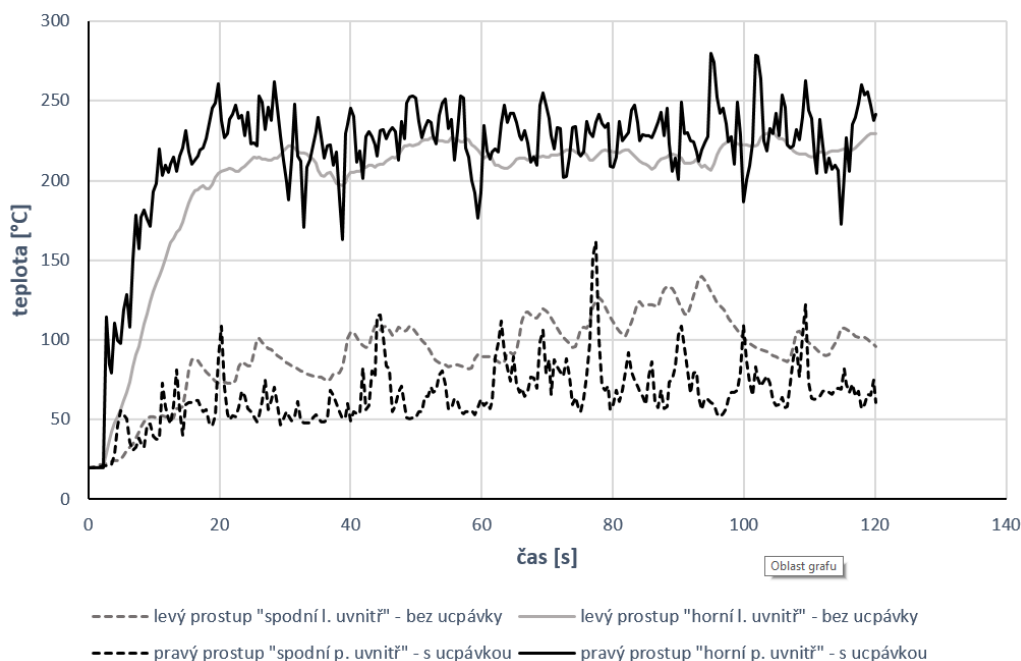
Obr. 1 Schématický řez místností se znázorněním kouřové vrstvy
Fig. 1 Schematic section of the room with a smoke layer

Model má sloužit pro ověření autorovy teorie a pro tento účel byl v programu FDS namodelován výsek vzorového objektu s několika prostupy. Na obrázku č. 2 můžeme vidět čtyři prostupy stěnou, z toho je jeden horní a jeden dolní prostup opatřen podmínkou pro objevení se požární ucpávky za předpokladu, pokud termočlánek umístěný na potrubí na exponované straně požáru zaznamená teplotu dosahující hranice pro chemickou reakci intumescentního uhlíkatého silikátu, ze kterého je požární ucpávka typu wrap vyrobena – v tomto případě je spouštěcí teplota nastavena na 200 °C a jedná se o prostupy na pravé straně modelu [2].



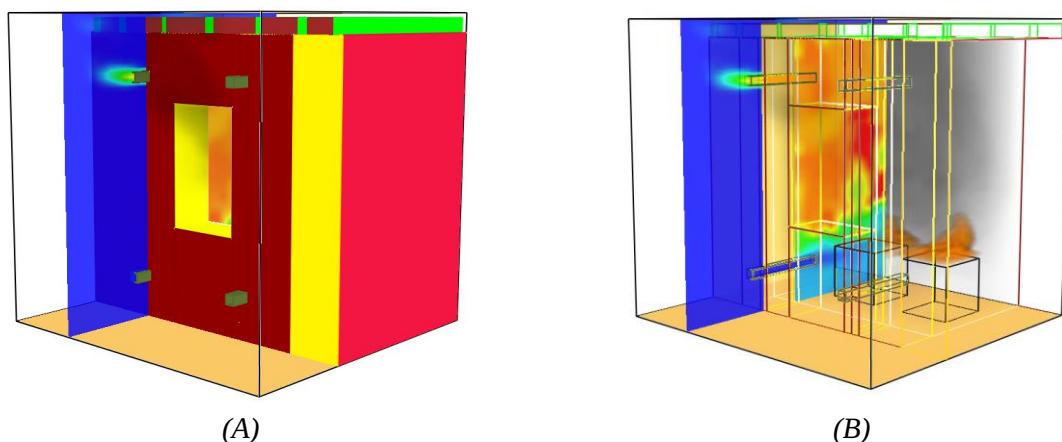
Obr. 2 Ukázka namodelovaného výřezu vzorového objektu:
(A) přední pohled; (B) zadní pohled
Fig. 2 An example of a sample model layout:
(A) front view; (B) rear view

Po zadání potřebných údajů do kódu pro software FDS byl spuštěn výpočet a po uplynutí výpočetního času byly výsledné hodnoty vyhodnoceny. Na obrázku č. 3 lze vidět nasnímaný průběh teplot na termočláncích v horních prostorách místnosti. Jak vidno teplota rychle vystoupala na spouštěcí teplotu 200 °C. Oba průběhy jsou si podobné, průběh teploty na pravém termočláncu je lehce odlišný z toho důvodu, že plynový hořák simulující dřevěnou hranici je umístěn přímo pod trubkou, plamen tedy přímo zasahuje na předmětný termočlánek a proto je průběh poněkud „rozkmitaný“. Druhý průběh teploty, na termočláncu z „levého“ prostupu, je poněkud uhlazenější než průběh výše popisovaný [2].



Obr. 3 Porovnání průběhu teplot na všech prostupech
Fig. 3 Comparison of temperature curves at all passages

Na tom samém obrázku můžeme pozorovat také průběh teplot na termočláncích umístěných na spodních prostupech, umístěných v první třetině výšky místnosti. Na první pohled je zřejmé, že teploty v měřeném čase nevystoupaly ani nad 200 °C, tedy hraniční teplotu požadovanou pro objevení ucpávky, ale teploty na obou prostupech se pohybovaly spíše okolo 60-100 °C. Znamená to tedy, že během požáru v modelovaném prostoru opravdu dochází k sání čerstvého vzduchu spodními prostupy stěnou a tím dochází k ochlazení jak prostupujících trubek, tak i termočlánců.



Obr. 4 Pohled na modelovaný prostor s teplotním řezem:
(A) viditelné povrchy konstrukcí; (B) viditelné pouze hrany konstrukcí
(A) visible surfaces of structures; (B) only edges of structures visible

Vyvození této skutečnosti podporuje i grafický výstup z proběhnutého výpočtu v softwaru FDS (obr. 4). V tomto grafickém výstupu, který je ze sté vteřiny výpočtu, je jasné vidět zvýšené teploty, které jsou rozšířeny ve většině prostoru modelované místnosti, unikají horním prostupem ven z objektu a ve spodní části u spodních prostupů je chladnější prostor, do kterého putuje skrze trubky chladný čerstvý vzduch.

ZÁVĚR

V rámci modelovaného výřezu objektu byly namodelovány plynové hořáky simulující hranice požárního zatížení a čtyři prostupy slaměnou stěnou v podobě plastových PVC trubek, z nichž polovina byla opatřena požárními ucpávkami typu wrap. Cílem tohoto měření bylo potvrdit autorovu tezi o možnosti ochlazování prostupů ve spodní části místnosti a nenutnosti jejich ochraňování pomocí ucpávek. Z výsledků vyplývajících z výpočtu modelovaného výřezu v programu FDS, které byly zpracovány v tabulkovém editoru, vyplývá, že po dobu měření (120 s) se nezvýšila ve spodních polohách v místnosti teplota natolik, aby došlo ke spuštění chemické reakce v požárních ucpávkách, respektive teploty u prostupu nepřesáhly 170 °C. Z grafického výstupu jsme se mohli přesvědčit, že autorova teze staví na správných základech, nicméně je otázkou, jak by se prostupy ve spodní části objektu chovaly, pokud by došlo např. k celkovému vzplanutí.

LITERATURA

- [1] KARLSSON, B. a QUINTIERE, J. G. *Enclosure Fire Dynamics*. College Park, Maryland, USA: CRC Press LLC, 2000. ISBN 978-048-49313-00-4.
- [2] 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.
- [3] ČSN 73 0802. *Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty*. Praha: ÚNMZ, 2009 + Z1:2013 + Z2:2015
- [4] ČSN 73 0804. *Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty*. Praha: ÚNMZ, 2010 + Z1:2013
- [5] ČSN 73 0810. *Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení*. Praha: ÚNMZ, 2016

TEPLOTNÍ ANALÝZA BETONOVÝCH A OCELOBETONOVÝCH PRVKŮ

THERMAL ANALYSIS OF CONCRETE AND STEEL-CONCRETE STRUCTURES

Bc. Jakub Grenar

Abstract

The thesis deals with temperature analysis of concrete and steel-concrete structures with diffused reinforcement, namely concrete and steel-concrete slabs. In the second chapter, the current methods of detecting the temperature distribution in the individual elements are presented; especially the mathematical modelling. The next chapter summarizes the experiment in the fire testing laboratory performed before this work. It also explains how to calculate and display the results obtained by specific computer models. Finite element-based softwares with application for temperature analysis were used. The final paragraph summarizes the results obtained by the experiment and by the models in clear graphs.

Key words: thermal analysis; concrete; steel; dispersed reinforcement; FEM; temperature profile; TempAnalysis; Atena; numerical model

ÚVOD

Při požáru jsou betonové a ocelobetonové konstrukce negativně ovlivňovány. Se zvyšující teplotou dochází k redukci pevnosti a prvky tak ztrácejí svoji únosnost. Pro stanovení požární odolnosti a obecně chování betonu je potřeba zjistit rozložení teploty v prvku. To se provádí třemi způsoby: 1) zkouškou, 2) výpočtem a 3) použitím již naměřených hodnot. Zkoušky jsou náročné jak ekonomicky tak realizačně, již změřené teploty mají velmi omezenou možnost použití [1]. S dnešní výpočetní technikou lze s výhodou využít numerické simulace.

Pro úspěšnou numerickou modelaci je potřeba vyřešit problém přenosu tepla [2]. V první části se zabývám matematickým modelováním obecně. Druhá část pak řeší konkrétní příklad srovnání reálného experimentu s výpočtem získaným dvěma počítačovými softwary.

MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ

Problém přenosu tepla v konstrukcích za zvýšených teplot řeší mnoho dostupných publikací [2],[3]. Na základě Fourierova zákona, zachování energie a okrajových podmínek lze stanovit model pro přenos tepla. Převzato z [4], kap. 2.3.

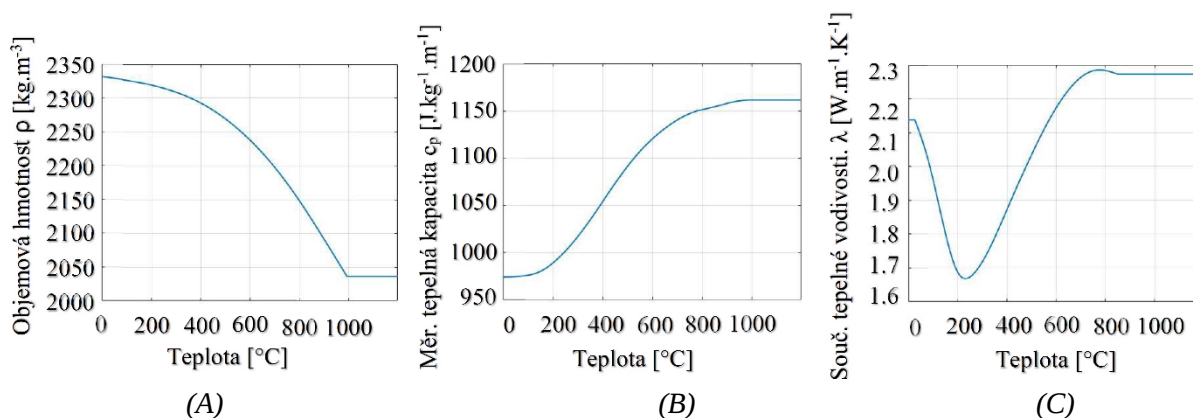
$$\begin{aligned} \text{for } t \in (0, T): \quad & \rho_c(\theta)c_{p,c}(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial t} = \nabla(\lambda_c(\theta)\nabla\theta) && \text{in } \Omega, \\ & -(\lambda_c(\theta)\nabla\theta)n = \alpha_c(\theta - \theta_\infty) + \varepsilon\sigma_{SB}(\theta^4 - \theta_\infty^4) && \text{on } \Gamma_E, \\ & \theta = \theta_D && \text{on } \Gamma_D, \\ \text{for } t = 0: \quad & \theta = \theta_0 && \text{in } \Omega \end{aligned}$$

kde Ω je analyzovaná oblast, Γ_E je exponovaná hranice prvku, Γ_D je část hranice s danou teplotou, θ [K] je teplota, ρ [kg.m⁻³] je objemová hmotnost, c_p [J.kg⁻¹.K⁻¹] je měrná tepelná kapacita, λ [W m⁻¹ K⁻¹] je součinitel tepelné vodivosti, α_c [W m⁻² K⁻¹] je součinitel na přestupu tepla, ε [-] je emisivita povrchu, σ [W m⁻² K⁻⁴] je Stefan-Bolzmannova konstanta, θ_∞ [K] je teplota okolí (požáru), θ_0 [K] je počáteční teplota, t [s] je čas zahřívání a T [s] je celkový čas vystavení požáru.

MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI

Této práci předcházelo několik měření. Na katedře materiálového inženýrství proběhlo měření materiálových vlastností v čase za zvyšující se teploty [5]. Typem betonu je hutný beton s přírodním kamenivem (maximální zrno 16 mm) s přidavkem polypropylénových a ocelových vláken, třída

přibližně C40/50. Naměřené byly hodnoty pro objemovou hmotnost, měrnou tepelnou kapacitu a součinitele tepelné vodivosti (obr. 1).



Obr. 1 (A) Objemová hmotnost; (B) Měrná tepelná kapacita; (C) Součinitel tepelné vodivosti; vše [6]
Fig. 1 (A) Density; (B) Heat Capacity; (C) Thermal Conductivity; all [6]

EXPERIMENT V POŽÁRNÍ ZKUŠEBNĚ

V prosinci 2016 proběh test v požární zkušebně PAVUS ve Veselí nad Lužnicí [7]. Předmětem byly betonové a ocelobetonové desky (o rozměrech $400 \times 400 \times 150$ mm) a sloupky ($\varnothing 250$ mm). Zahřívání probíhalo za normové teplotní křivky ISO 834 po dobu 180 minut. Postup a vyhodnocení podrobněji v [7]. Při zkoušce došlo ke znehodnocení měření teploty v ocelobetonových sloupech, a budou předmětem dalšího výzkumu.



Obr. 2 Experiment v požární zkušebně, umístění vzorků v peci [7]
Fig. 2 Experiment in fire testing laboratory, location of elements in furnace [7]

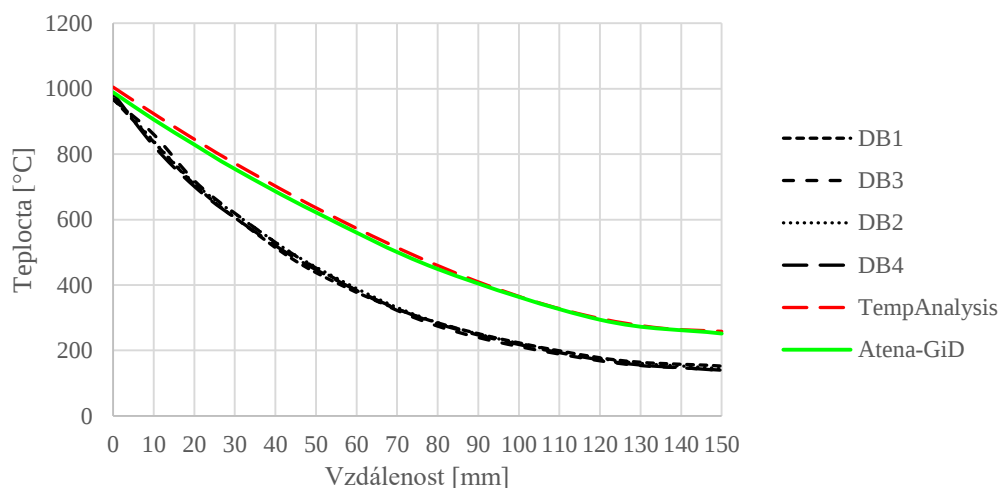
MODELOVÁNÍ

Zvolil jsem dva výpočetní programy pro teplotní analýzu na základě metody konečných prvků. TempAnalysis je vyvíjen na katedře K133 ČVUT v Praze [6], program Atena-GiD je komerční záležitost od společnosti Červenka Consulting s.r.o. [8].

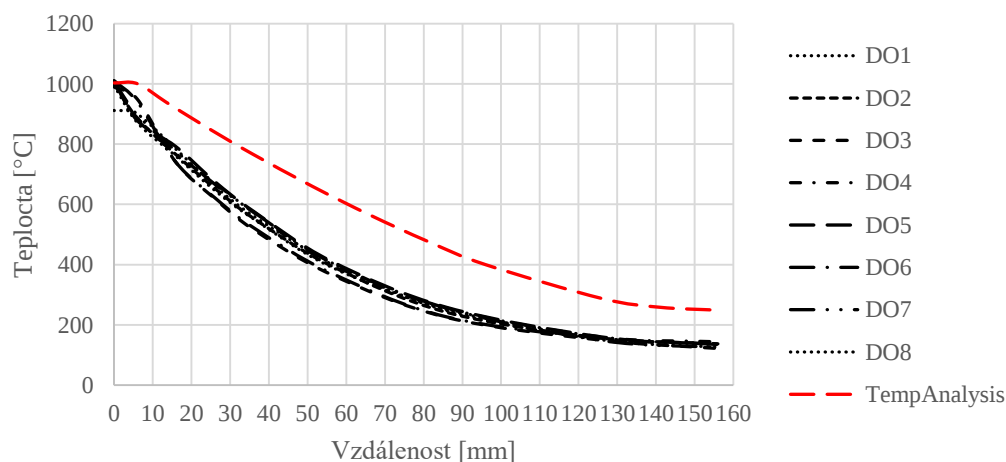
Nejdříve bylo potřeba vložit do programů nelineární materiálové vlastnosti. U ocelobetonové desky jsem kovovou desku uvažoval jako izolační vrstvu s vlastnostmi oceli. Jako okrajová podmínka byla zvolena normová teplotní křivka ISO 834. V Ateně bylo nutné ještě zvolit výpočetní síť. Vzhledem k tomu, že jsem byl díky demoverzi omezen na pouhých 300 elementů, byla síť značně hrubá. Výpočet proběhl pro teplotní profily v 15., 30., 60., 120. a 180. minutě.

POROVNÁNÍ

Následující grafy znázorňují 1D teplotní profily. Ukazují rozložení teploty změřené termočlánky (DB, DO) [7], pomocí TempAnalysis [6] a Ateny [8].



Obr. 3 Teplotní profil betonové desky ve 120. minutě
Fig. 3 Temperature profile of concrete slab in 120th min.



Obr. 4 Teplotní profil ocelobetonové desky ve 120. minutě
Fig. 4 Temperature profile of steel-concrete slab in 120th min.

U ocelobetonové desky nebyl proveden výpočet v Ateně, z důvodu hrubé sítě, díky které došlo k výraznému zkreslení výsledků.

ZÁVĚR

Z výše uvedených výsledků jsou zřejmé rozdíly mezi experimentálními křivkami a křivkami z výpočtu. Při dalším matematickém modelování musí být zahrnut i vliv vlhkosti materiálu, jenž ochlazuje vnitřní části prvku.

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří panu Ing. Radku Štefanovi, Ph.D. za poskytnuté informace a odborné konzultace a dále členům katedry materiálového inženýrství a chemie za změření materiálových vlastností [5].

LITERATURA

- [1] WALD, F a kol. *Software ke stanovení požární odolnosti nosných konstrukcí*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04746-0.
- [2] PURKISS, J. A. *Fire safety engineering design of structures*. 2nd ed. Boston: Elsevier/Butterworth-Heinemann. 2007. ISBN 978-0-7506-6443-1.
- [3] BUCHANAN, Andrew Hamilton a Anthony ABU. *Structural design for fire safety*. Second edition. United Kingdom: John Wiley & Sons Inc. 2017. ISBN 9781118700396.
- [4] ŠTEFAN, R. *Transport Processes in Concrete at High Temperatures. Mathematical Modelling and Engineering Application with Focus on Concrete Spalling*. Disertační práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze. 2015.
- [5] VEJMELOVÁ, E., SCHEINHERROVÁ, L., ČÁCHOVÁ, M. *Naměřená data vlastností*. Praha: České vysoké učení technické v Praze. 2016
- [6] ŠTEFAN, R., PROCHÁZKA, J. *TempAnalysis – Computer program for temperature analysis of cross-sections exposed to fire [Software]*. Praha: České vysoké učení technické v Praze. 2009. <http://people.fsv.cvut.cz/www/stefarad/software/ta/ta.en.html>.
- [7] KUČA, M. *Experimentální analýza transportu tepla v betonových a ocelobetonových prvcích*. Diplomová práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze. 2016.
- [8] PROCHÁZKOVÁ, Z., CERVENKA, J., JANDA, Z., PRYL, D. *ATENA Program Documentation Part 4-6, ATENA Science – GiD Tutorial*. Cervenka Consulting. Praha. 2016

ANALÝZA DAT Z DATABÁZE SSU ZAMĚŘENÁ NA VZNIKLÉ ŠKODY PŘI POŽÁRECH OBJEKTŮ A BUDOV

ANALYSIS OF DATA FROM SSU DATABASE WITH FOCUSE ON LOSSES INCURED DURING PROPERTY AND BUILDING FIRES

Bc. Tereza Hášová

Abstract

This article is about the property and building fires in the Czech Republic which occurred between the years 2009 and 2016. In total it covers 50 804 fires. Data from Statistical monitoring of events are analysed according to direct losses (in CZK) and property type in which the fire occurred. The result of the analysis clearly states that it is very important to focus on special production buildings when securing the fire safety.

Key words: fire; HZS ČR; SSU databases; direct damage; saved value

ÚVOD

Požáry po celém světě způsobují obrovské materiální škody. Dochází k újmě na zdraví a ztrátě lidských životů. Například jen na území České republiky vzniklo v roce 2016 v průměru 45 požárů denně [1]. Je proto nutné snažit se požárům předcházet a minimalizovat rizika. Pro případ vzniku požárů je třeba efektivně omezit jejich následky. U staveb je toho možné dosáhnout použitím požárně odolných stavebních konstrukcí, zajištěním bezpečné evakuace osob a zabráněním šíření požáru mezi požárními úseky.

V současné době je velmi důležité věnovat se analýze dat získaných při požárech. Je třeba zjišťovat příčiny vzniku požárů, zaznamenávat postup zasahujících jednotek, pozorovat chování stavebních (konstrukčních) prvků při požárech v příčinných souvislostech se vznikem a šířením požárů.

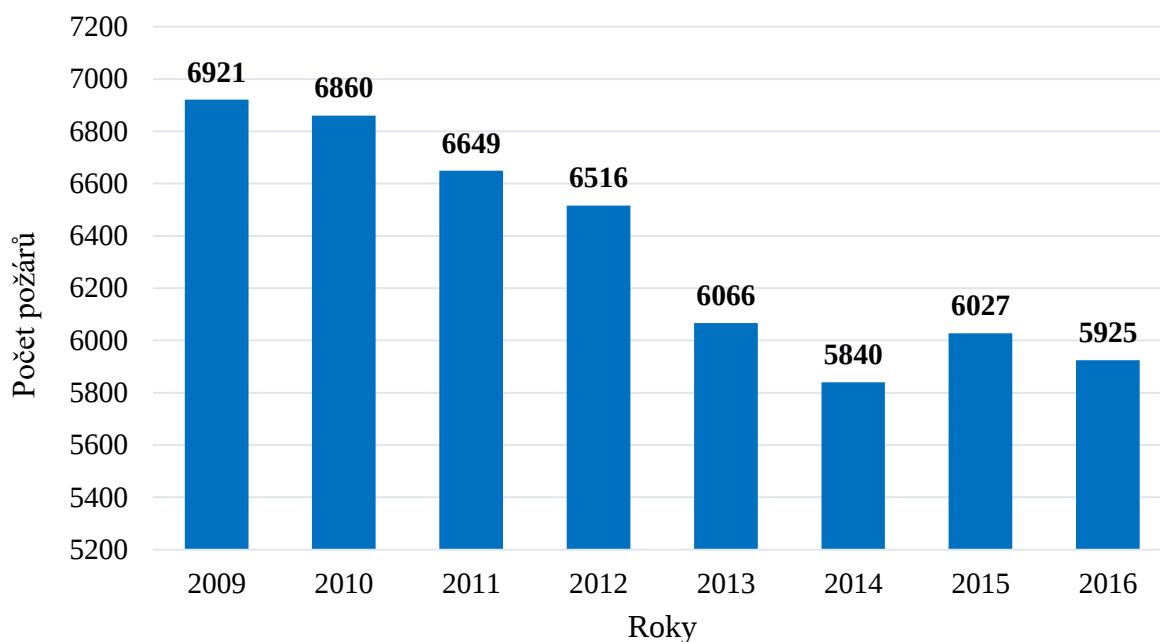
V České republice tomuto účelu slouží databáze Statistického sledování událostí (SSU), vedená Hasičským záchranným sborem ČR.

ANALÝZA DAT

Statistické sledování událostí (SSU) vedené Hasičským záchranným sborem České republiky eviduje požáry, dopravní nehody, úniky nebezpečných látek, technické havárie a ostatní mimořádné události [1].

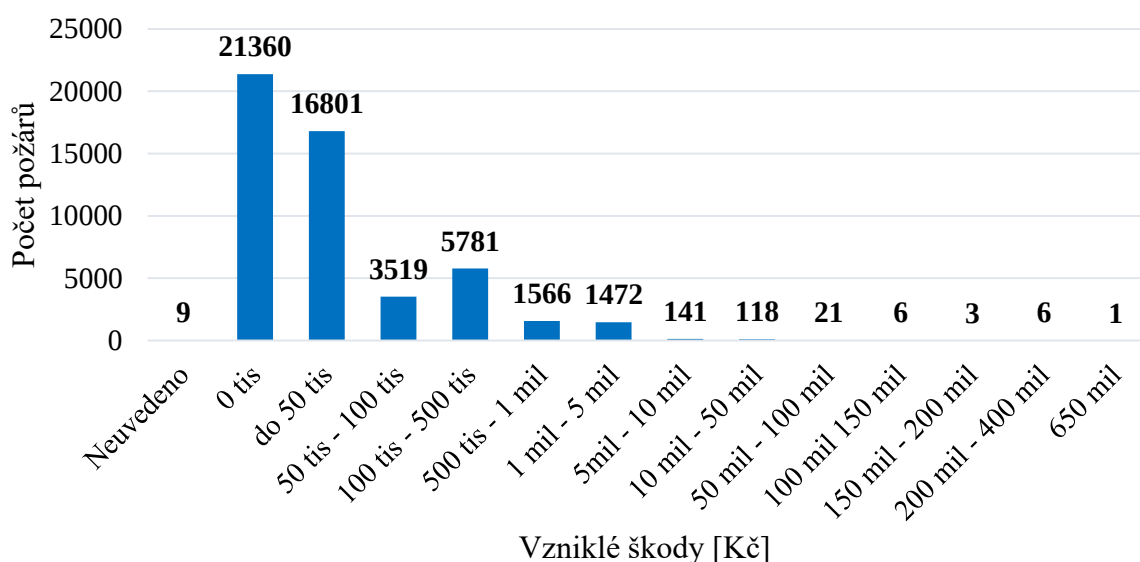
Pro analýzu byla z databáze SSU vybrána data týkající se požárů objektů a budov v České republice, ke kterým došlo od roku 2009 do roku 2016. V daném období a v této oblasti vzniklo v ČR celkem 50 804 požárů, při kterých zahynulo 651 osob a dalších 6 019 osob bylo zraněno.

V grafu č. 1 je uveden počet požárů v ČR v jednotlivých letech od roku 2009. Je možné na něm pozorovat, že postupem času požárů ubývá. V roce 2016 bylo zaznamenáno téměř o 1000 požárů méně než v roce 2009.



Graf. 1 Počet požárů v ČR v jednotlivých letech
Graph. 1 Number of fires in the Czech Republic in individual years

V grafu č. 2 je uveden počet požárů v ČR od roku 2009 do roku 2016 podle vzniklých škod v Kč. Dle výše vzniklé škody jsou požáry rozděleny do 14 skupin (bez vzniklých přímých škod až do 650 milionů Kč). Z grafu je vidět, že z celkového počtu 50 804 požárů nejvyšší podíl připadá na požáry bez přímých vzniklých škod a požáry s přímou škodou do 50 tisíc Kč. Naopak požár, který způsobil škodu přesahující 650 milionů Kč, byl zaznamenán pouze jeden.



Graf. 2 Počet požárů v ČR od roku 2009 do roku 2016 podle vzniklých přímých škod v Kč
Graph. 2 Number of fires in the Czech Republic from 2009 to 2016 according to direct damage incurred in CZK

V následující tabulce č. 1 jsou analyzována data požárů podle druhu objektů (5 základních skupin objektů posuzovaných z hlediska hospodářské činnosti). Je sledován počet požárů, celková přímá škoda, celková uchráněná hodnota, průměrná přímá škoda na jeden požár a průměrná uchráněná hodnota na jeden požár. Data v tabulce jsou seřazena sestupně podle druhu objektů, ve kterých vznikla největší

průměrná přímá škoda na jeden požár. Z tabulky č. 1 je vidět, že k největší celkové přímé škodě i největší průměrné přímé škodě na jeden požár došlo u požárů speciálních výrobních budov.

Tab. 1 Škody při požárech podle druhu objektů

Tab. 1 Fire damage based on object type

Druh objektu	Počet požárů	Celková přímá škoda [Kč]	Celková uchráněná hodnota [Kč]	Průměrná přímá škoda na jeden požár [Kč]	Průměrná uchráněná hodnota na jeden požár [Kč]
Speciální výrobní budovy	4 842	7 639 667 000	38 950 498 000	1 577 792	8 044 299
Budovy pro zemědělství a lesnictví	804	779 265 800	1 361 174 900	969 236	1 693 004
Budovy občanské výstavby	5 895	2 293 677 700	8 499 959 800	389 088	1 441 893
Objekty, zařízení, dopravní a pracovní prostředky, komunikace	12 388	1 875 346 700	7 535 637 900	151 384	608 301
Budovy pro bydlení	26 875	2 987 760 300	16 226 443 400	111 172	603 775
Celkem	50 804	15 575 717 500	72 573 714 000	306 584	1 428 503

ZÁVĚR

Na zajištění požární bezpečnosti staveb a objektů je v současné době kladen stále větší důraz. Rozvoj stavebnictví umožňuje využívat nové materiály, které by měly minimalizovat škody při případném požáru. Údaje ze Statistického sledování událostí mohou proto vhodně sloužit jak při výstavbě a projekci nových budov tak při zjišťování příčin požárů.

Z provedené analýzy dat, zaměřené na vzniklé škody při požárech objektů a budov v České republice, ke kterým došlo od roku 2009 do roku 2016, vyplynulo, že u 42 % požárů nevznikla přímá škoda.

Podle účelu objektu posuzovaného z hlediska hospodářské činnosti došlo k největšímu počtu požárů v budovách pro bydlení (52,9 % z celkového počtu požárů, přímá škoda činí 19,2 % z celkové částky). Naproti tomu u speciálních výrobních budov činí přímá škoda 49 % z celkové částky, přestože počet požárů je jen 9,5 % z celkového počtu. Vzhledem k vysoké přímé škodě u požárů speciálních výrobních budov je zřejmé, že zvláště u nich je třeba věnovat zvýšenou pozornost zajištění požární bezpečnosti, a to jak při běžném provozu, tak i při projektování a výstavbě budov nových.

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala kpt. Ing. Martinovi Podjuklovi z generálního ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR za spolupráci a poskytnutí dat z databáze SSU.

LITERATURA

- [1] ŽŮRKOVÁ KLÁRA A KOL. *Statistická ročenka 2016*. Vyd. MV-generální ředitelství HZS ČR jako přílohu časopisu 112 číslo 3/2017
- [2] GŘ HZS ČR. *Statistické sledování událostí*.

INTERAKCE ZAŘÍZENÍ PRO ODVOD KOUŘE A TEPLA A STABILNÍHO HASICÍHO ZAŘÍZENÍ

INTERACTION OF VENTILATION SYSTEM AND SPRINKLER SYSTEM

Bc. Aleš Havel

Abstract

This article refers to interaction of fire safety equipment the automatic ventilation system with the sprinkler system. Attention in the following text is paid mainly to two aspects – theory related to heat and smoke ventilation system and sprinkler system, their basic principles and their interaction, when the second part of the text is focused on the exemplar where there is a CFD model created for three different fire scenarios. This CFD model is targeted to model mainly these materials features where the origin of the fire is the most natural as possible and sprinkler system has the appropriate impact.

Key words: sprinkler system; smoke and heat vent; interaction; fire; CFD

ÚVOD

S rostoucími požadavky dnešní konzumní společnosti se zvyšují i nároky na nově vystavované stavby. Nově budované stavby jsou navrhované vyšší a co do rozlohy rozsáhlejší jako jsou například skladové haly, obchodní centra, sportovní komplexy, výstaviště a administrativní budovy, hotely. Součástí každé projektové dokumentace musí být Požárně bezpečnostní řešení, které musí vycházet z požadavků norem řady ČSN 73 08xx. Aby byly tyto požadavky splněny, musí projektanti čím dál častěji navrhovat požárně bezpečnostní zařízení, což jsou zařízení, která zabráňují rozhoření požáru nebo snižují jeho následky.

POŽÁRNÍ OCHRANA OBJEKTŮ

Požární ochrana staveb, technických a technologických zařízení je zajišťována aktivními a pasivními prostředky ochrany.

Primární cílem aktivní požární ochrany je předcházení vzniku požáru, požár detekovat, zabránit jeho šíření, vytvořit vhodné podmínky pro bezpečný únik osob ze zasaženého objektu a umožnit účinný hasební zásah jednotkami požární ochrany. Mezi prvky aktivní požární ochrany patří zejména EPS, SHZ, ZOKT, kouřová čidla, domácí rozhlas aj.

Mezi opatření pasivní požární ochrany se řadí především požární odolnost stavebních konstrukcí, včetně opatření zvyšující jejich požární odolnost, tj. požární obklady, nátěry nebo nástříky. Pasivní požární ochrana je dále dělení objektu do požárních úseků, návrh únikových a zásahových cest nebo zamezení přestupu požáru na sousední objekty.

SPRINKLEROVÁ SHZ

Sprinklerová SHZ patří prokazatelně k nejúčinnějším aktivním prostředkům ochrany osob a majetku před požáry. Požár je hašen vodou ve formě sprchového proudu aplikovaného výstřikovými koncovkami označovanými jako sprinklery. Do činnosti se sprinklery uvádějí samočinně, teplem za požáru. Pouze ty, které se ohřejí na tzv. otevírací teplotu. Velikost kapek ve sprinklerovém výstřikovém proudu se udává 1-3 mm [1].

ZOKT S NUCENÝM PRINCIPEM

Nucený odvod kouře a tepla je založen na principu odvodu horkých plynů nuceně požárními ventilátory. Výměna vzduchu může probíhat ve dvou variantách: odvod kouře a tepla je zajištěn ventilátory umístěných na střeše a přívod je přirozený v obvodových konstrukcích nebo přívod vzduchu je zajištěn nuceně ventilátory a odvod přirozeně ve stropní konstrukci.

ZOKT S PŘIROZENÝM PRINCIPEM

Přirozený odvod kouře a tepla je založen na principu vztaku, který je vyvíjen požárem. Vztlak je dosažen vlivem rozdílných teplot kouře a okolního vzduchu a vytvořením komínového efektu. Komínový efekt nastává při rozdílu teplot minimálně 20 °C. Stoupající horký kouř generovaný požárem má nižší hustotu, než je hustota okolního vzduchu a tím vzniká vztlak. Pro odvod zplodin ze zakouřeného prostoru jsou používány otvory v nejvyšším místě kouřové sekce. Tyto otvory jsou zpravidla otevírány signálem z kouřových nebo teplotních čidel nebo ze signálu z EPS.

INTERAKCE SHZ A ZOKT

Při společném návrhu SHZ a ZOKT jsou definovány vlivy, které mohou negativně ovlivnit jejich účinnost. Tyto vlivy byly podrobeny experimentům a bylo zjištěno, že společný návrh SHZ a ZOKT může způsobovat následující negativní vlivy:

- snížení teploty primární aktivací ZOKT a tím oddálení aktivace SHZ,
- strhávání kouřové vrstvy k podlaze,
- transport vodních kapek mimo ohnisko požáru,
- aktivace sprinklerových hlavíc mimo ohnisko požáru.

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

V rámci řešeného příkladu byl vytvořen CFD model room corner test na UCEEB, přičemž do rohu byl umístěn propanový hořák o výkonu 100 kW. Měření probíhalo po dobu 600 s, přičemž po 300 s se hořák vypnul. Tento model byl vytvořený za účelem pokusu vymodelovat požár materiálu, pro který byly zadány vstupní data pro průběh hoření metodou pomocí přímého výpočtu kinetiky hoření v průběhu hoření daného materiálu.

Cílem řešeného příkladu je především zkoumání vlivu sprinklerového hašení na hoření PMMA. Bude sledováno, zda má hasební látka hasební efekt a zda bude sprinkler schopný požár uhasit.

POUŽITÝ SOFTWARE

Při modelování jednotlivých požárních scénářů byl použit následující software: Pyrosim (pre-procesor), FDS (procesor), Smokeview a Excel (post-procesor)

POŽÁRNÍ SCÉNÁŘE

Požární scénář 1 – Room corner test bez PMMA a bez sprinkleru

Požární scénář 2 – Room corner test s PMMA 1 m na každou stranu od hořáku, bez sprinkleru

Požární scénář 3 – Room corner test s PMMA 1 m na každou stranu od hořáku, se sprinklerem

Jako iniciační zdroj je na podlahu do rohu místnosti umístěn propanový hořák o výkonu 100 kW. Počáteční teplota vzduchu je 20 °C. Obvodové stěny jsou modelovány z pórobetonu a strop z betonu.

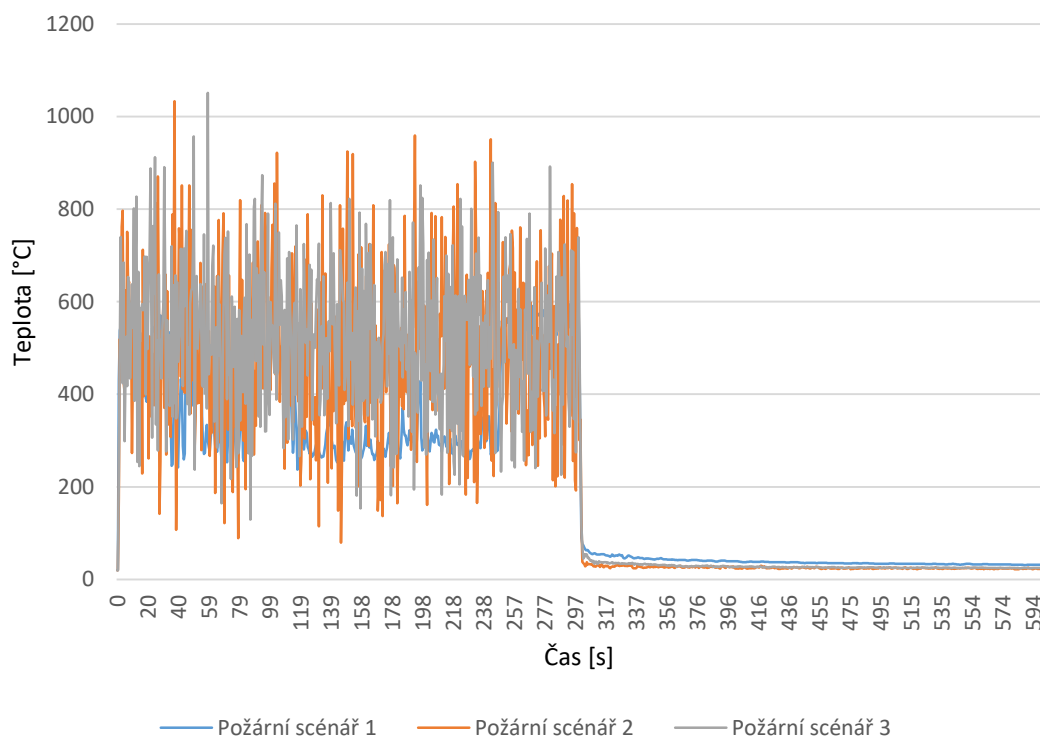
VÝPOČETNÍ MODEL

Pro určení výpočetního prostoru řešeného příkladu jsou nadefinované dvě výpočetní sítě – vnitřní a venkovní prostor. Vnitřní prostor má rozměry $5,8 \times 2,4 \times 2,4$ m a je rozdělen na 267 264 výpočetních buněk, což odpovídá velikosti jedné buňky $50 \times 50 \times 50$ mm. Venkovní prostor má rozměry $2,0 \times 2,4 \times 2,0$ m a je rozdělen na 1 200 výpočetních buněk, což odpovídá velikosti jedné buňky $200 \times 200 \times 200$ mm. Jako iniciační zdroj požáru byl zvolen propanovým hořákem o rozměrech 250 mm x 250 mm, kterému byla předepsána rychlost uvolňování tepla na jeden metr čtverečný (HRRPUA – Heat Release Rate Per Unit Area). Maximální hodnota HRRPUA, které hořák dosáhne je $2\,500\text{ kW/m}^2$ (frakce 1,0), které je konstantní po dobu 299 s, poté se hořák vypne.

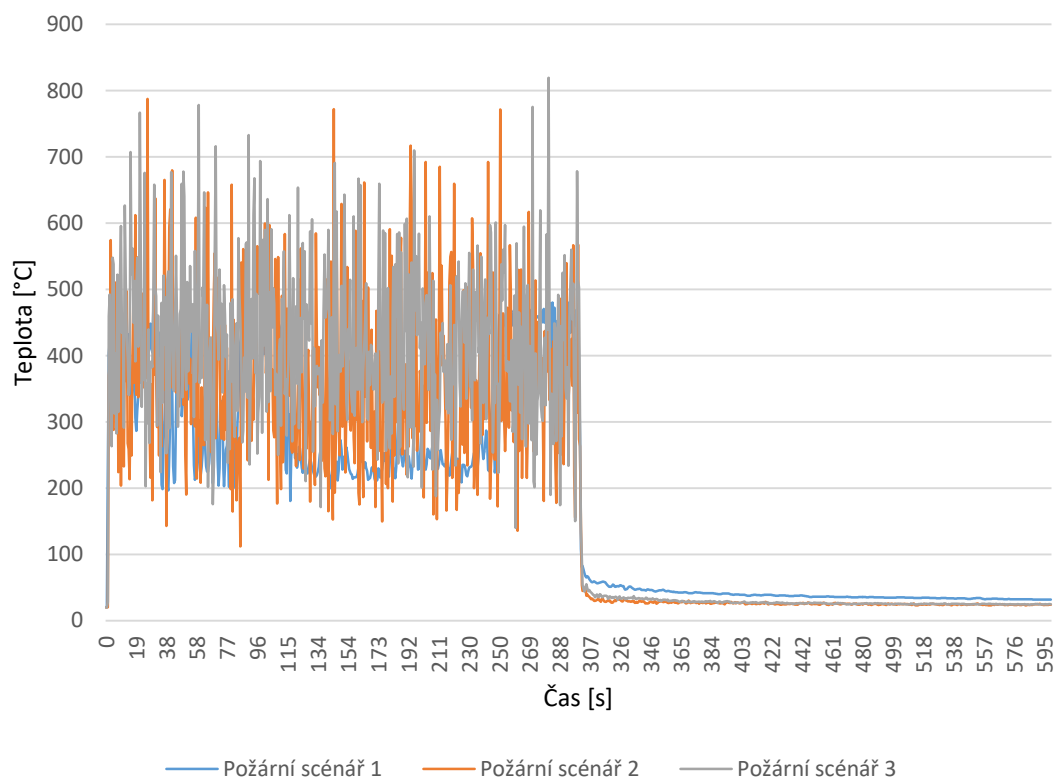
PMMA neboli akrylátové či organické sklo (plexisklo), je materiál, který byl v minulosti velmi často využíván pro požárně technické výzkumy, a proto jsou vstupní data do výpočtu dobře dostupné. Všechny vstupní hodnoty do výpočtu jsou převzaty z publikace [2]. Primárním cílem modelování bylo zjištění vlivu sprinklerového hasení na teplotu hořícího materiálu a tím zjistit, zda voda skutečně hasí vzniklý požár. Z toho důvodu byla nad hořák umístěna tři teplotní čidla ve výšce 1,0 m, 1,5 m a 2,2 m.

POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ ANALÝZY

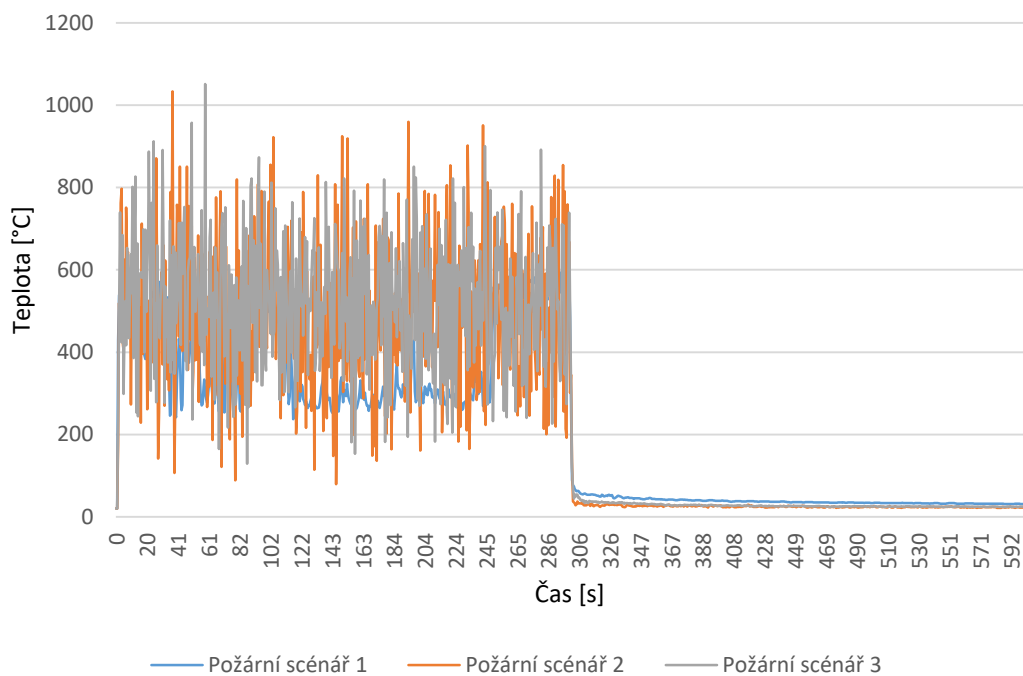
V následujících grafech jsou srovnány průběhy teplot v jednotlivých termočláncích napříč všech definovaných požárních scénářů (obr. 1-3). Z výsledků analýzy je patrné, že teploty v požárním scénáři 2 a 3 se od sebe téměř neliší. Vliv sprinkleru tedy není prokazatelný.



Obr. 1 Srovnání průběhu teplot – termočlánek 1,0 m
Fig. 1 Comparison temperature – thermocouple 1.0 m



Obr. 2 Srovnání průběhu teplot – termočlánek 1,5 m
Fig. 2 Comparison temperature – thermocouple 1.5 m



Obr. 3 Srovnání průběhu teplot – termočlánek 2,2 m
Fig. 3 Comparison temperature – thermocouple 2.2 m

ZÁVĚR

V řešeném příkladu byl vytvořen CFD model room corner testu v UCEEB a byly určeny tři požární scénáře. První scénář simuloval požár propanového hořáku bez PMMA a bez sprinkleru, druhý požární scénář uvažuje obležení stěn kolem hořáku materiálem PMMA bez vlivu sprinkleru a třetí scénář předpokládá modelování obložení z PMMA a hašení jedním sprinklerem.

Výsledky modelování ukázaly, že zejména výsledky druhého a třetího scénáře se od sebe příliš neliší, což může mít za příčinu velkou výpočetní síť. Výpočet také ukázal velkou časovou náročnost simulace v případě, že jsou materiálu předepsány charakteristiky kinetiky hoření. Dále bylo zjištěno, že získání vstupních materiálových dat pro kinetiku hoření je velmi obtížné.

LITERATURA

- [1] RYBÁŘ, P. *Příklady použití stabilních hasicích zařízení v ochraně majetku a technologií*. B.m.: Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, 2014.
- [2] POKORNÝ, M. *Instalační šachty z požárního hlediska. Disertační práce*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2012.

STABILNÍ HASICÍ ZAŘÍZENÍ S VYUŽITÍM SPRINKLEROVÝCH SYSTÉMŮ V ADMINISTRATIVNÍCH BUDOVÁCH

FIXED FIREFIGHTING SYSTEM USING AUTOMATIC SPRINKLER SYSTEMS IN OFFICE BUILDINGS

Bc. Tereza Havrdová

Abstract

The subject of this seminar is to familiarize with stable fire protection systems in administrative buildings. Basic information on fixed firefighting systems, when and why they are used, their labelling and their distribution are described. The work also focuses on application of wall and ceiling sprinklers in office spaces. These systems describe how to design office buildings and compare them.

Key words: fixed firefighting system; office building; automatic sprinkler; fire, sprinkler; sprinkler head

ÚVOD

Stabilní hasicí zařízení zkráceně označováno zkratkou „SHZ“ (dále jen SHZ) patří do skupiny aktivních prostředků požární ochrany [1]. Tato zařízení se řadí dle vyhlášky MV 246/2001 do vyhrazených druhů požární bezpečnosti. Slouží k detekci a hašení vznikajícího požáru v jeho počátečních fázích, případně alespoň dochází ke snížení rozvoje požáru, omezení vývoje kouře a tepla a udržení požáru pod kontrolou [2]. Zajištění požáru a aktivace funkce stabilního hasicího zařízení musí být zabezpečena co nejdříve v počáteční fázi rozvoje požáru [3].

SPRINKLEROVÉ SYSTÉMY

Jedná se o zařízení, které se v dnešní době řadí mezi nejspolehlivější a nejrozšířenější druh SHZ. Jako hasicí látka se ve většině případů používá voda, kdy při dosažení určitých podmínek dojde k otevření sprinklerové hlavice a dochází k rozstřiku ve formě sprchového proudu [4]. Návrh sprinklerového stabilního hasicího zařízení se provádí podle normy ČSN EN 12845.

POROVNÁNÍ SPRINKLEROVÉHO SYSTÉMU PŘI POUŽITÍ V GARÁŽÍCH A KANCELÁŘSKÝCH PROSTORECH

Toto porovnání bylo provedeno na základě požadavků normy ČSN EN 12845. Byly uvažovány hromadné garáže, kde požadavky na umístění a instalaci sprinklerového systému byly stanoveny na základě doporučení pojišťovny a kanceláře se nacházely ve výškové budově. Z toho důvodu byl zvýšen jejich požadavek na třídu nebezpečí z LH na OH3. Porovnání uvádí tab. 1 [5].

Tab. 1 Srovnání systémů

Tab. 1 Comparison systems

		HROMADNÉ GARÁŽE	KANCELÁČE
Požární zatřídění	[-]	OH2	LH/OH
Systém	[-]	suchý/mokrý	mokrý
Intenzita dodávky vody	[mm/min]	5	2,25/5
Účinná plocha	[m ²]	180	84/216
Plocha jistěná jedním sprinklerem	[m ²]	12	9/12
Doba činnosti	[min]	60	30/60
Min. objem zavodňovací nádrže	[l]	500	100/500
K-faktor	[-]	80	57/80

Min. tlak před sprinklerem	[bar]	0,35	0,7/0,35
-----------------------------------	-------	------	----------

APLIKACE STĚNOVÉ A STROPNÍ SPRINKLEROVÉ HLAVICE DO KANCELÁŘSKÉHO PROSTORU

Mezi často používané sprinklery patří klasický stěnový sprinkler a je možné vidět i aplikaci stěnového neboli postranního sprinkleru. Tyto dva typy sprinklerů se liší především v umístění a jejich požadavcích na aplikaci do prostor a jejich možné hasicí účinky. Každý typ sprinklerové hlavice má rozdílné požadavky na aplikaci a prostor, do kterých jsou aplikovány. Tyto požadavky uvádějí výrobci a zároveň stanovení normy ČSN EN 12 845 – Stabilní hasicí zařízení – Navrhování, instalace a údržba. Porovnání těchto dvou typů uvádí tab. 2 [6].

Tab. 2 Srovnání sprinklerových hlavice [6], [5]

Tab. 2 Comparison of sprinkler heads [6], [5]

		STROPNÍ HLAVICE	STĚNOVÁ HLAVICE
Tepelná odezva RTI	[-]	Standartní 200-400	Rychlá <50
Min. tlak na sprinkleru	[bar]	0,7	2,5
K-faktor	[-]	57, 80, 115	80
Plocha jištění 1. sprinkler	[m ²]	21 (LH)	17 (LH)
Výškové omezení místnosti	[m]	Bez požadavků	Max. 4,1
Možnost využití pro jednotlivé třídy nebezpečí	[-]	LH, OH, HHP	LH, OH1

Tyto dva typy hlavice byly aplikovány do vymyšleného kancelářského prostoru o rozměrech 7 × 7,25 m s celkovou plochou 50,75 m². Konstrukční výška místnosti je 2,75 m. Z toho prostoru bylo uvažováno, že evakuace osob bude probíhat po NÚC. Do místnosti byl vložen dřevěný nábytek, v podobě židle, stolu a skříní. Obvodové a nosné konstrukce byly navrženy z železobetonu. V zadní části místnosti byl umístěn zdroj požáru v podobě hořícího odpadkového koše, který simuloval propanový hořák. Pro tuto simulaci byla použita křivka HRR. Takto bylo potupováno i u dřevěného nábytku, kdy pro každý jednotlivý typ byla přepočtena hodnota HRR na danou plochu. Čas simulace byl nastaven na dobu 300 s. Po tento čas mezi hlavní posuzované parametry patřil čas a teplota spuštění a následně pozorování účinků tlumení teploty vzniklé od simulovaného hořáku. Pro simulaci tohoto příkladu byl zvolený program FDS a PyroSim.

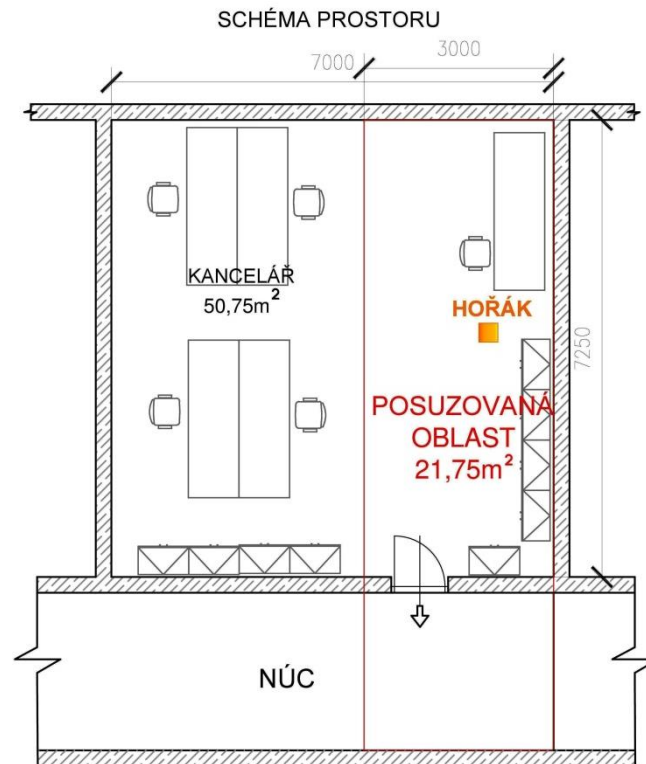
Celkem byly zvolené tři požární scénáře:

- bez instalace SHZ,
- aplikace stěnové/ postranní sprinklerové hlavice,
- aplikace stropní sprinklerové hlavice.

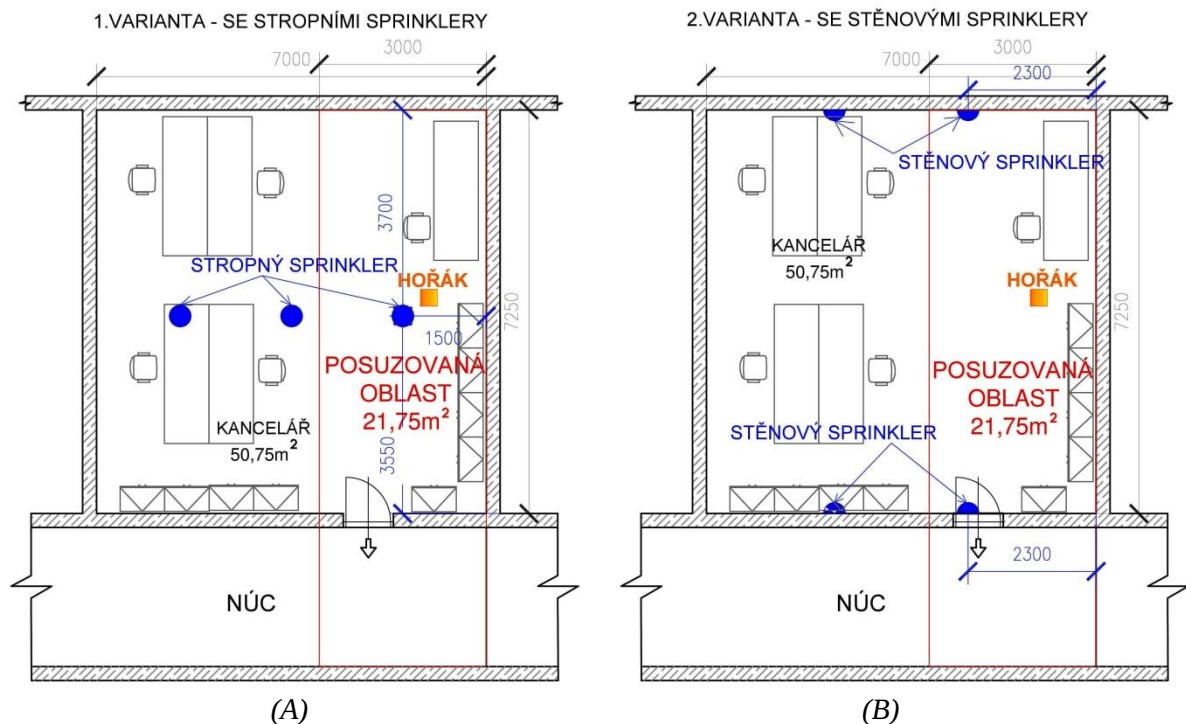
Rozmístění nábytku, hořáku a sprinklerových hlavice lze vidět na obr. 1 a 2.

Při prvním pokusu bylo hlavním kritériem posouzení výšky kouřové vrstvy. Jak již bylo zmíněno, bude zde prioritní evakuace osob, která bude probíhat po NÚC. Na základě tohoto předpokladu lze v normě ČSN 730802 – Nevýrobní objekty dohledat v položce 9.1.2 ohrožení osob zplodinami hoření a kouře, které se posuzuje podle těchto zásad, tak že evakuaci osob po NÚC je možné pokládat za bezpečnou, pokud unikající osob jsou evakuovány z hořícího prostoru či požárního úseku v časovém limitu, kdy zplodiny hoření a kouř nezaplní prostor do úrovně 2,5 m nad podlahou [7].

Tento časový limit lze vyjádřit pomocí empirického vzorce, který nám vyjadřuje čas, kdy dojde k poklesu zplodin hoření pod tu zvolenou hranici 2,5 m. Na základě tohoto požadavku byl tento časový limit vypočten pro tento konkrétní případ [7]. Tato hodnota vyšla 2,09 min.

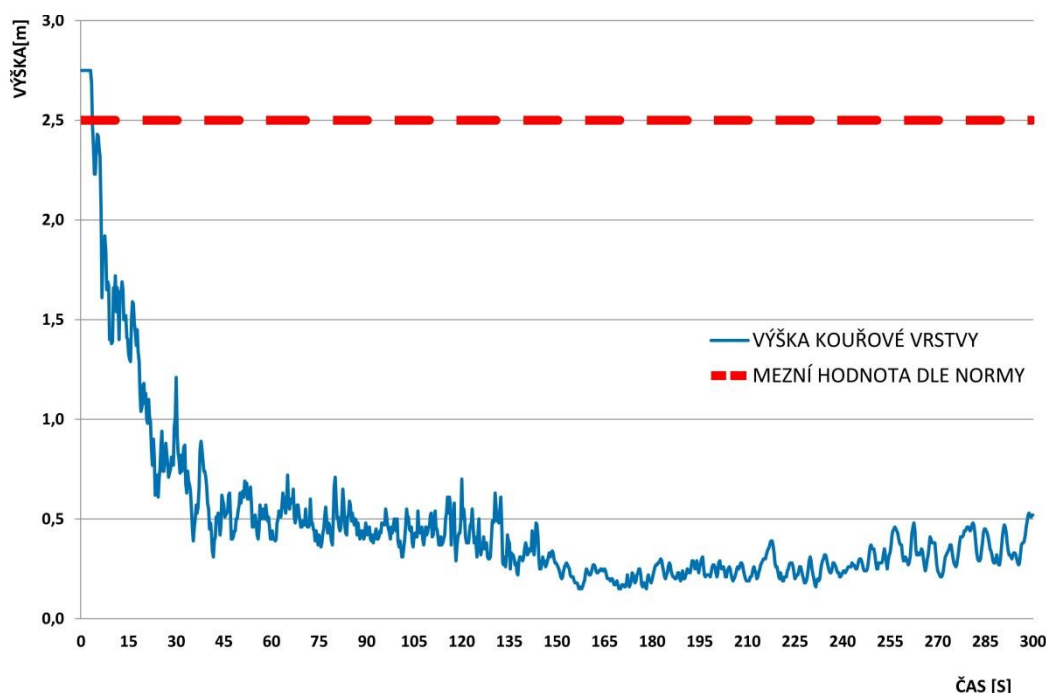


Obr. 1 Bez instalace SHZ
Fig. 1 Without SHZ installation



Obr. 2 (A) Aplikace stropní sprinklerové hlavice; (B) Aplikace stěnové sprinklerové hlavice
Fig. 2 (A) Application of ceiling sprinkler head; (B) Application of wall sprinkler head

Na základě zjištění těchto požadavků nadále probíhalo porovnání výsledků zjištěných z empirického výpočtu a simulace prvního scénáře mého řešeného příkladu. Výsledek Porovnání výšky kouřové vrstvy lze vidět na obr. 3, který nám vyjadřuje závislost zakouření na výšce místnosti a času.



Obr. 3 Výška kouřové vrstvy v posuzovaném prostoru
Fig. 3 The height of the smoke layer in the assessed area

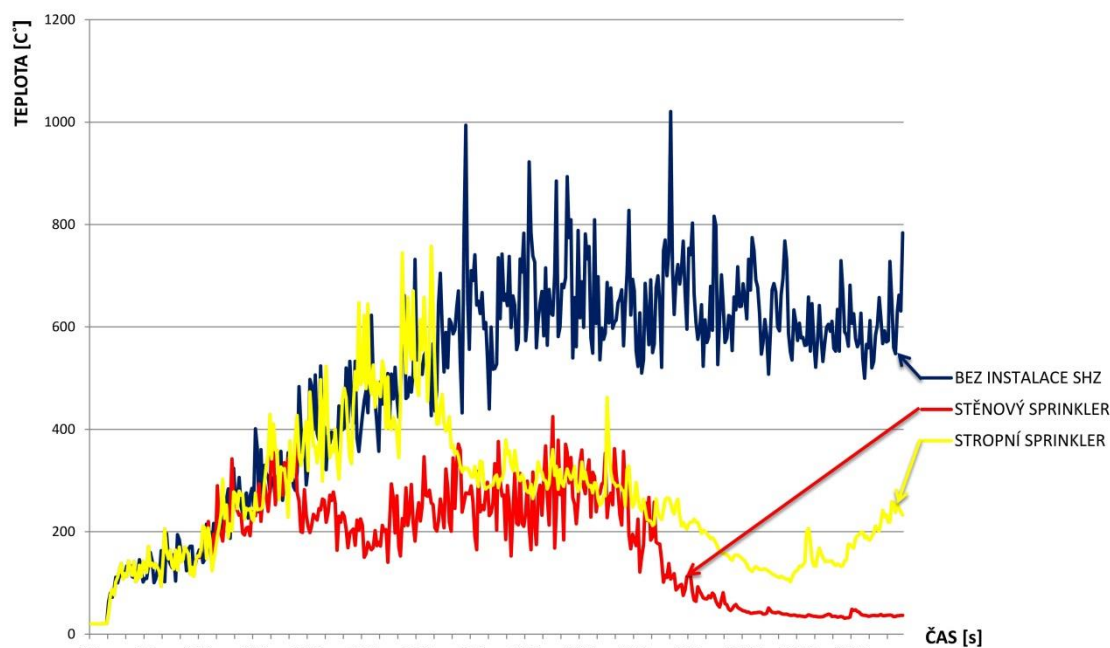
Jak lze vidět tak v tomto případě, podmínky pro bezpečnou evakuaci by nevyhověly, neboť k poklesu kouřové vrstvy pod hranici 2,5 m by došlo již v nějaké 3 s.

Na základě těchto poznatků bylo vyvozeno, že se jedná o nereálné podmínky simulace a to z několika prostých důvodů:

- nebyly zde navrženy otvory,
- nedostatečná ventilace,
- malý řešený prostor.

U zbylých dvou scénářů byl posuzován čas otevření sprinklerové hlavice a účinky tlumení teploty od vzniklého hořáku. Při porovnávání časového spuštění vyšlo, že stěnové sprinklery díky rychlé tepelné odezvě se spouštějí o skoro polovinu času rychleji (ke spuštění prvního stěnového sprinkleru došlo ve 31 s) než klasický stropní sprinkler se standardní odezvou.

Vzhledem k požadavku na ochranu osob, vycházejí stěnové sprinklery výhodněji než klasické stropní, ale při zohlednění účinnosti ochlazování teploty v místnosti a zabránění dalšímu vzplanutí majetku, lze oba typy těchto sprinklerových hlavic považovat za vhodné, jak již můžeme vidět na obr. 4, který nám vyjadřuje závislost času na teplotě, kde do místnosti byl umístěn termočlánek přímo nad hořákem a byly zde zkoumány teploty vzniklé právě od zdroje hoření.



Obr. 4 Časové údaje o spuštění sprinklerových hlavíc – porovnání
Fig. 4 Timing data for triggering sprinkler heads – comparison

Jak můžeme vidět, oba dva typy byly velmi účinné vzhledem k ochlazování místnosti. Maximální teplota v místnosti bez sprinkleru se vyšplhala až k 1000 °C. Oběma typům sprinklerů se podařilo účinně snižovat teplotu, kdy při 100. s došlo k poklesu pod teplotu 200 °C.

ZÁVĚR

Je třeba podotknout, že jednoznačně nelze na sprinklerové systémy pohlížet z obecného hlediska jako na lepší či horší, ale zohlednit jejich veškeré vstupní parametry, které značně ovlivňují jejich vlastnosti. O tomto jsem se přesvědčila při modelaci mého řešeného příkladu, který je ukázkou, právě jak zvolené parametry mohou značně ovlivnit vliv faktorů na uhašení požáru. Proto pro optimální navržení SHZ, je nutné provést podrobnější návrh požárního úseku a zohlednit veškeré parametry ovlivňující uhašení vzniklého požáru.

LITERATURA

- [1] RYBÁŘ, Pavel. *Příklady použití stabilních hasicích zařízení v ochraně majetku a technologii*. Praha : Ministerstvo vnitra- generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, 2014.
- [2] ČSN 73 0810. *Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení*. Praha : ÚNMZ, 2016.
- [3] KRATOCHVÍL, Václav, Šárka NAVAROVÁ a Michal KRATOCHVÍL. *Požárně bezpečnostní zařízení ve stavbách: stručná encyklopedie pro jednotky PO, požární prevenci a odbornou veřejnos*. V Ostravě : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2011. 978-80-7385-103-3.
- [4] RYBÁŘ, Pavel. Sprinklerová stabilní hasicí zařízení-I. díl. *TZB-info*. [Online] Ministerstvo vnitra, 28. 3 2016. <http://voda.tzb-info.cz/pozarni-vodovod/13971-sprinklerova-zarizeni-i-dil>.
- [5] ČSN EN 12845. *Stabilní hasicí zařízení- Sprinklerová zařízení- Navrhování, instalace a údržba*. Praha : ÚNMZ, 2015.
- [6] Minimax. Katalog produktů. *Technical data sheet*. místo neznámé : Minimax.
- [7] ČSN 73 0802. *Požární bezpečnost staveb- Nevýrobní objekty*. Praha : ÚNMZ, 2009.

HODNOCENÍ PODMÍNEK EVAKUACE OSOB VE ŠKOLSKÝCH PROVOZECH

EVALUATION OF EVACUATION CONDITIONS IN SCHOOL INSTITUTIONS

Bc. Anna Hoffmannová

Abstract

This article deals with the issue of evacuation conditions in schools in relation to the requirements of the current legislation of the Czech Republic and points out the uniqueness, which require a different approach in the assessment of evacuation process. This article also highlights the importance of conducting evacuation drills. Furthermore, factors that influence the pre-movement time are described and in order to determine the current situation at schools a two-phased questionnaire was created and evaluated. The results of the questionnaire will serve as a basis for the experimental evacuation.

Key words: school evacuation; evacuation planning; evacuation guidance; pre-evacuation human behavior; evacuation drill

ÚVOD

V případě vzniku požáru dochází k ohrožení osob uvnitř objektu. Zatímco ztráty na majetku jsou nahraditelné, ztráty na životech nikoliv a z tohoto důvodu je důležité obracet svou pozornost nejen na prevenci vzniku požáru, ale také na celkovou problematiku evakuace. Složitost tohoto procesu se mění v závislosti na počtu evakuovaných osob, jejich schopnosti pohybu, celkovém zdravotním stavu, schopnosti orientace v daném objektu a v neposlední řadě také na organizaci celého evakuačního procesu, se kterým pak souvisí informovanost osob pověřených jeho vedením. Objektem s větší koncentrací osob, ve kterém je možno předpokládat zhoršené podmínky pro průběh evakuace a který lokalizujeme snad v každém městě s počtem obyvatel nad 10 tisíc, je objekt se školským provozem.

Hlavní motivací ke zvolení tohoto tématu je osobní zkušenost s evakuačním procesem střední školy, která ve mne zanechala pocit neschopnosti okamžité reakce osob na neočekávané situace, přičemž tuto skutečnost přisuzuji nedostatečné informovanosti a připravenosti osob, vyplývající z neucelených povinností provozovatele ve vztahu k požární prevenci škol. Česká legislativa nabízí vesměs unifikovanou metodiku navrhování staveb z hlediska požární bezpečnosti bez ohledu na druh provozu, školská zařízení však přinejmenším počtem osob, vyskytujících se v objektu, tvoří specifický provoz, kterému by, dle mého názoru, bylo za vhodné věnovat větší pozornost.

LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY

Podle zákona č.133/1985 Sb. [1], je povinností každého provozovatele objektu zpracovat dokumentaci požární ochrany, jejíž součástí je mimo jiné požární evakuační plán [2]. Legislativa ovšem dále neuvádí specifické požadavky na zpracování plánu s ohledem na provozní užívání stavby, s výjimkou objektů začleněných do kategorie s činností se zvýšeným požárním nebezpečím. V případě začlenění objektu školy do kategorie s činností bez zvýšeného požárního nebezpečí tak nevzniká povinnost provozovatele provádění pravidelného školení zaměstnanců o požární ochraně a odborné přípravy zaměstnanců zařazených do preventivních požárních hlídek, s čímž souvisí například pravidelná kontrola průchodnosti únikových cest [1]. K žákům, tvořícím naprostou většinu osob vyskytujících se v objektu, se žádné legislativní požadavky ve vztahu ke školení o požární ochraně či požární prevenci [2] nevztahují.

Na některých školách, pokud tak ovšem vedení neurčí bez legislativní povinnosti z vlastní iniciativy, probíhá teoretické školení pouze při přijetí do zaměstnání, praktický nácvik evakuace pak neprobíhá vůbec, případně je uskutečňován s několikaletým časovým odstupem.

VLIV LIDSKÉHO FAKTORU NA PROCES EVAKUACE

Lidské chování lze bezesporu označit za nejproměnlivější faktor ovlivňující proces evakuace. Po více než dvacetiletém probíhající zkoumání však stále nejsou známy utříděné hodnoty, které by s jistotou mohly vytvořit přesný vzorec chování. Problém představuje mimo jiné fakt, že hodnoty získávané z prováděných experimentů jsou ovlivněné vědomostí jednotlivců o nereálnosti nebezpečí [3]. V případě reálné evakuace sice nelze zcela jistě předpovědět její průběh, prováděním cvičných evakuací je však vyvíjena snaha se reálnému stavu co nejvíce přiblížit a odhalit možné komplikace, které by při pouhém teoretickém školení nebyly patrné. Důležitost provádění cvičných evakuací je tak zřejmá.

Provoz středních škol s sebou nese specifika průběhu evakuace. Zatímco v budovách s jiným typem provozu je řešena evakuace osob po jednotlivcích, ve školách je koncentrován vysoký počet nezletilých osob, za které nese v době výuky právní odpovědnost pedagog, jehož úkolem je po vyhlášení evakuace dovést svou skupinu žáků do prostoru bez požárního nebezpečí. Organizace evakuace po skupinách se pro její urychlení musí odehrávat podle jasně stanovených pravidel, které vycházejí právě ze znalosti lidského chování v podobných situacích. To ovlivňuje délku doby evakuace, ke které je často opomíjeno připočtení doby před zahájením evakuace, která zahrnuje [3]:

- rozpoznání poplachu a identifikace ohrožení,
- posouzení závažnosti,
- potřeba informovanosti a orientace,
- závazek k jinému úkolu.

Tyto základní čtyři faktory, ovlivňující dobu do zahájení evakuace, se u každého jednotlivce liší. V případě evakuace po skupinách jsou navíc násobeny ovlivňováním okolních osob a psychologie rozdělení rolí. Učitel v tomto případě zastává roli vedoucího a žáci následují jeho instrukce. Z tohoto důvodu představuje znalost postupů a proškolení pedagogů velice důležitý pilíř celého procesu.

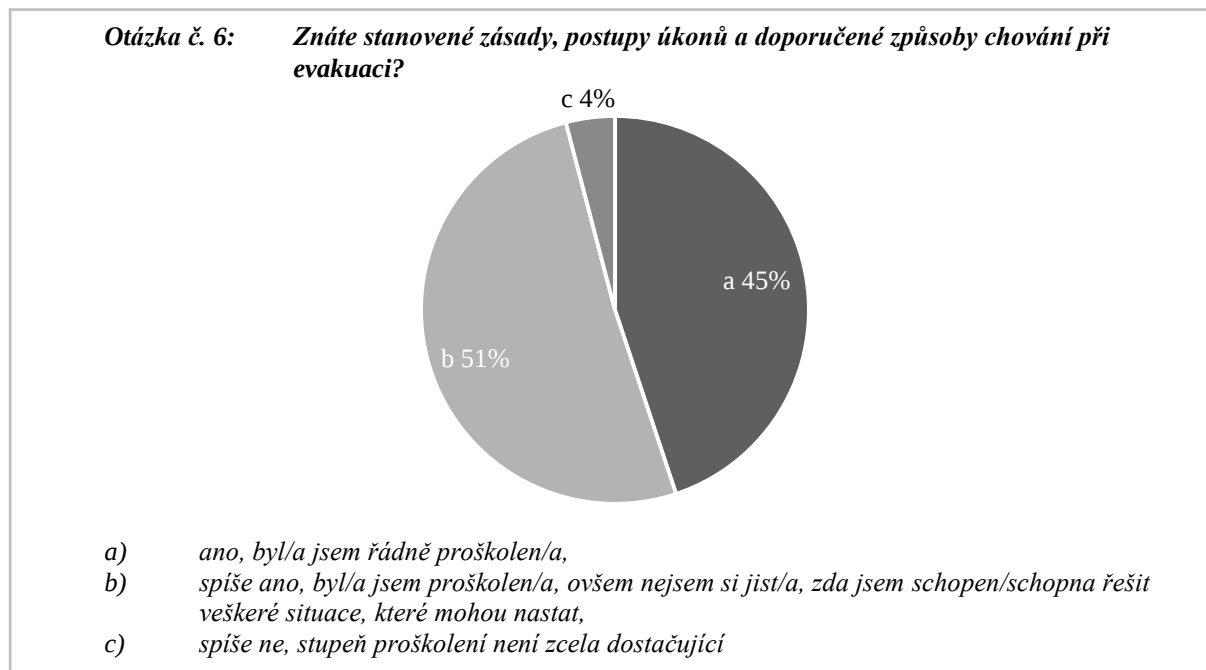
DOTAZNÍKOVÉ ŠETŘENÍ

Za účelem zjištění aktuálního stavu na středních školách byl vytvořen dotazník, k jehož zpracování bylo osloveno celkem 12 středních škol v Karlovarském kraji. Celkem se dotazníku zúčastnilo 157 respondentů. Otázky byly strukturované tak, aby jejich vyhodnocení podalo pokud možno ucelenou představu o reálném stavu informovanosti a připravenosti pedagogů a vedení škol, ale také na samotný průběh evakuace se zaměřením na posuzování vlivu jednotlivých behaviorálních faktorů. V první části byli respondenti dotazováni na četnost prováděných školení a cvičných evakuací, dále na sebehodnocení ve smyslu připravenosti a informovanosti procesu evakuace, druhá část byla zaměřena na dobu před zahájením evakuace a identifikaci nejčastějších faktorů, které dobu ovlivňují, za účelem nalezení společného jmenovatele možných rizik. Nakonec byli respondenti dotázáni, aby vlastními slovy celkově zhodnotili opatření týkající se procesu evakuace na středních školách. Dotazníkové šetření bylo provedeno za účelem identifikace kritických částí procesu evakuace na školách, na které bude zaměřena zvláštní pozornost při navazujícím provádění experimentální cvičné evakuace jedné z dotazovaných škol.

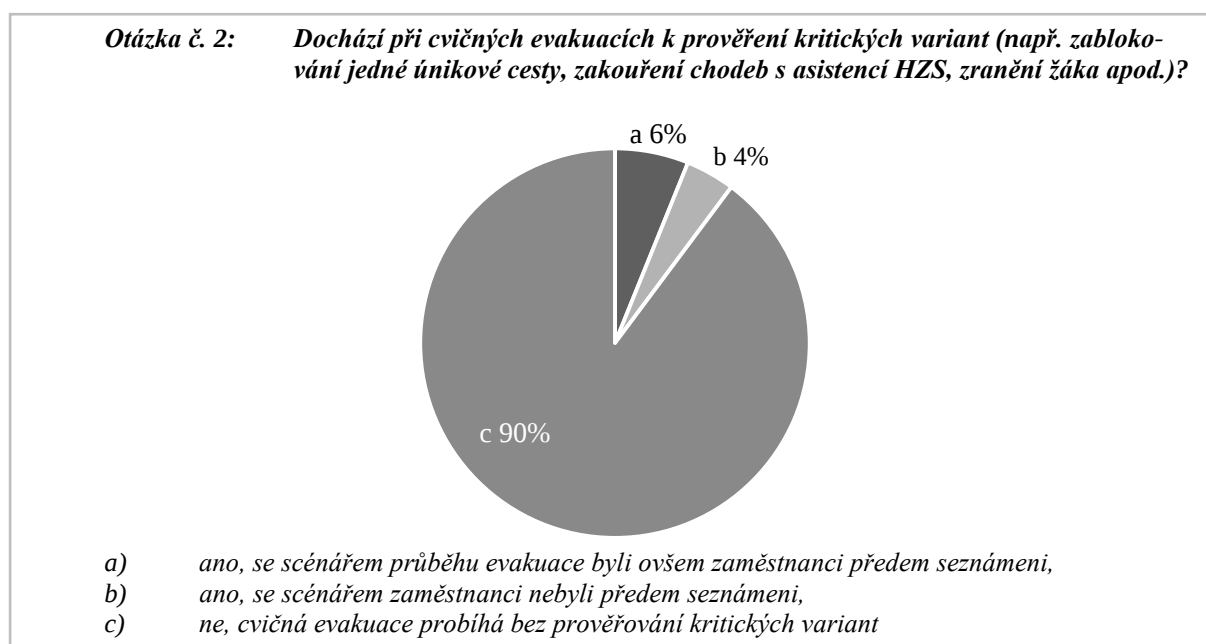
VYHODNOCENÍ

Dotazníkovým šetřením bylo zjištěno následující (uvedené hodnoty jsou uváděny v aritmetickém průměru z odpovědí): počet žáků ve třídě je 23, což při celkovém počtu 522 žáků v jedné škole činí přibližně 23 tříd na 3 nadzemní podlaží. Tato čísla jsou důležitá pro potvrzení nutnosti rozdílu v přístupu zpracovávání požární projektové dokumentace pro školské provozy od běžných provozů, kde evakuace probíhá po jednotlivcích. Při evakuaci má tedy pedagog vést skupinu přibližně 23 osob, přičemž 51 % pedagogů uvádí, že si i přes absolvované školení není jisto své schopnosti řešit veškeré situace, které

mohou nastat (viz obr. 1). 90 % pedagogů dále uvádí, že při cvičných evakuacích nedochází k prověření kritických variant, jako je např. zablokování jedné únikové cesty, zranění žáka apod. (obr. 2), což také potvrzuje vyhodnocení odpovědí na otázku postupu v případě, že jedna z kritických variant nastane. V tomto případě postupu po zjištění, že jeden ze žáků je při vyhlášení poplachu mimo učebnu (obr. 3). Rozdílnost odpovědí je markantní. Rozkol odpovědí byl zaznamenán dále u otázek týkajících se pravidel pohybu žáků po budově při poplachu. Podle 6 % je povolen pohyb jednotlivců, 65 % se pak domnívá, že pohyb je realizován v ucelených skupinách po třídách, přičemž si mezi sebou nemusí udržovat odstup (obr. 4). Pouze 29 % pedagogů považuje opatření týkající se procesu evakuace na středních školách za dostatečná, 63 % uvedla možnost „spíše ano“, 8 % pak považuje opatření za spíše nedostačující.

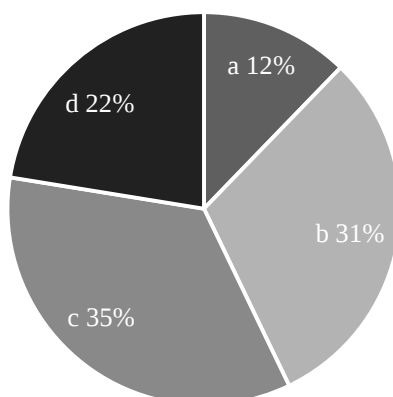


Obr. 1 Procentuální výšečový graf k otázce č. 6, Dotazník pro pedagogy, Část 1
Fig. 1 Percentage pie chart of question no. 6, Questionnaire for teachers, Part 1



Obr. 2 Procentuální výšečový graf k otázce č. 2, Dotazník pro pedagogy, Část 2
Fig. 2 Percentage pie chart of question no. 2, Questionnaire for teachers, Part 2

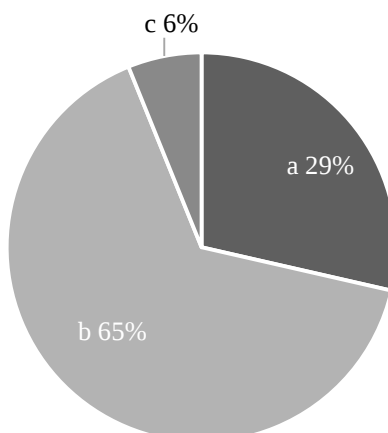
Otázka č. 7: *Jak postupujete v případě, že je jeden ze žáků při vyhlášení poplachu mimo prostor učebny?*



- a) počkáme s ostatními žáky v učebně na jeho návrat,
- b) jeden žák bude vyslán, aby pro chybějícího žáka došel,
- c) učebna bude evakuována bez chybějícího žáka,
- d) jiné (uveďte)

Obr. 3 Procentuální výšečový graf k otázce č. 7, Dotazník pro pedagogy, Část 2
Fig. 3 Percentage pie chart of question no. 7, Questionnaire for teachers, Part 2

Otázka č. 9: *Přesun po škole je realizován:*



- a) v ucelených skupinách po třídách, přičemž jednotlivé třídy si mezi sebou drží odstup,
- b) v ucelených skupinách po třídách, přičemž třídy na jednotlivých podlažích si mezi sebou nemusí udržovat odstup,
- c) je povolen pohyb jednotlivců

Obr. 4 Procentuální výšečový graf k otázce č. 9, Dotazník pro pedagogy, Část 2
Fig. 4 Percentage pie chart of question no. 9, Questionnaire for teachers, Part 2

ZÁVĚR

Při posuzování procesu evakuace ve školských zařízeních v České republice je nutno brát v potaz odlišnost provozu, i přestože česká legislativa nabízí pouze uniformní metodiku navrhování staveb z hlediska požární bezpečnosti. Dle výsledků dotazníkového šetření je evidentní, že úroveň připravenosti a informovanosti pedagogů z hlediska procesu evakuace by bylo vhodné navýšit, aby nedocházelo k podobným situacím, kdy pedagogové, jakožto vedoucí jednotlivých třídních skupin v průběhu evakuace nevědí, jak se v určitých kritických situacích zachovat. Pro zlepšení bezpečnostní situace na

školách je třeba reflektovat problematiku proměnlivého faktoru ovlivňujícího celkovou dobu evakuace, včetně doby před jejím zahájením, kterým je lidské chování. Dotazníkovým šetřením byl proveden průzkum vedoucí ke zjištění vzorců chování žáků před a během zahájení evakuace tak, aby získaná data posloužila jako základ pro vytvoření scénáře plánované experimentální evakuace. Ovšem již nyní, pouze z výsledků dosavadního studia problematiky, lze usoudit, že evakuační opatření na středních školách nejsou dostatečná a to především z důvodu neinformovanosti a nedůkladného školení pedagogů, ale i žáků samotných.

LITERATURA

- [1] Zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, jak vyplývá z úplného znění vyhlášeného pod č. 67/2001 Sb., Praha: Ministerstvo vnitra České republiky
- [2] Vyhláška 246/2001 Sb., Vyhláška Ministerstva vnitra o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci). 2001, Praha: Ministerstvo vnitra České republiky
- [3] HOFINGER, G., ZINKE, R A KÜNZER, L., *Human factor in evacuation simulation, planning and guidance*. 2014, The Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics 2014 (PED2014), Transportation Research Procedia 2 (2014), pp 603-611

ANALÝZA ODSUPOVÝCH VZDÁLENOSTÍ OD PERGOL A PŘÍSTŘEŠKŮ

ANALYSIS OF SEPARATING DISTANCES FROM PERGOLAS AND SHELTERS

Bc. Zdeněk Jiříček

Abstract

This article deals with the difference in the assessment of separating distances between a pergola and a shelter and the influence of the roof sheath on separating distances. There are described the methods of calculation of separating distances according to the national standards of the ČSN 73 08xx series (fire code) and the effect of the roof sheath on the calculation of separating distances. These methods are then compared between the solved example, which is solved by the manual calculation and the mathematical model. At the end of the article, these methods are compared between themselves and with the analogy given in ČSN 73 08 xx.

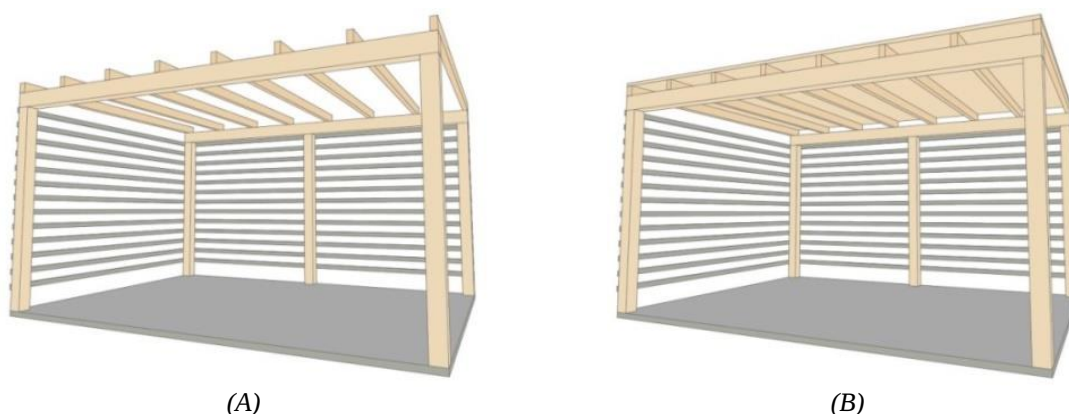
Key words: pergola; shelter; separation distance; external fire spread; heat radiation; FDS

ÚVOD

Mezi hlavní úkoly požární bezpečnosti staveb patří ochrana okolních objektů proti přenesení požáru. Z hlediska legislativních požadavků jsou v České republice stanoveny vzdálenosti od hranic pozemků a objektů mezi sebou. Volný prostor mezi objekty by měl zajistit bezpečnost okolních objektů z hlediska požární bezpečnosti. Konstrukce pergol a přístřešků se ovšem v dnešní době stavějí ve větší míře bez stavebního řízení, a stojí tedy na místech, kde by dle legislativních požadavků stát neměly. Svým umístěním bezprostředně ohrožují okolní stavby sáláním tepla při hoření. Normy řady ČSN 73 0802 se těmito konstrukcím přímo nevěnují, a je třeba v nich najít analogii, jak při posuzování těchto staveb postupovat.

PERGOLY A PŘÍSTŘEŠKY

Pergoly (obr. 1) jsou lehké konstrukce sloupkového charakteru, které slouží k pnutí popínavých rostlin [1], tzn. konstrukce nemá souvislý střešní plášť ani souvislé obvodové konstrukce. **Přístřešky** (obr. 1) mají dle legislativy platné v České republice více definic. V normách pro požární bezpečnost staveb je přístřešek definován jako stavba, která má stěnové konstrukce maximálně na polovině svého obvodu [2]. Dále je definován v Technickém naučném slovníku jako konstrukce chránící prostor pouze shora, ale neuzavírající ho plně ze stran. Může stát volně, častěji je přimknut ke stěně budovy [3]. Rozdíl mezi těmito dvěma konstrukcemi z hlediska požární bezpečnosti je tedy v podobě střešní pláště.



Obr. 1 (A) Pergola; (B) Přístřešek
Fig. 1 (A) Pergola; (B) Shelter

ODSTUPOVÉ VZDÁLENOSTI

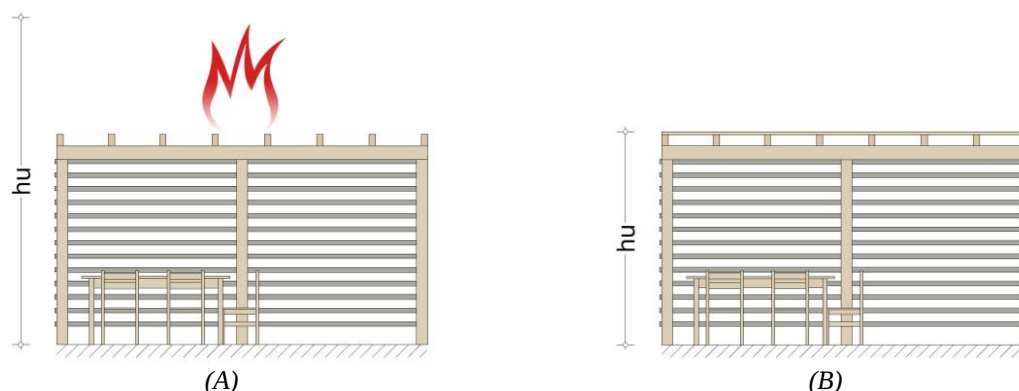
Odstupové vzdálenosti (proluky) představují vzdálenost, ve které hrozí přenos požáru na sousední objekt nebo požární úsek. K zabránění přenosu požáru na jiný objekt musí být objekty vzájemně umístěny ve vzdálenosti, kde intenzita tepelného toku bude tak malá, že nemůže dojít k vznícení hořlavých hmot [4]. V některých případech může dojít k šíření požáru odpadáváním hořících částí konstrukce. Rozhodující vzdálenost pro posouzení je větší z obou stanovených hodnot. U jednopodlažních konstrukcí pergol a přístřešků vzdálenost dopadu hořících částí většinou nepředstavuje převládající vzdálenost.

Odstupová vzdálenost u posuzovaného objektu představuje kolmou vzdálenost od požárně otevřené plochy (rovina sálání tepla) k hranici požárně nebezpečného prostoru. Hraniční hodnoty hustoty tepelného toku mají stavební předpisy různých států odlišné. V České republice byla stanovena kritická hustota tepelného toku pro stanovení odstupových vzdáleností $18,5 \text{ kW/m}^2$ [5]. Tato hodnota byla stanovena na základě pokusů, kdy se zjišťoval vliv sálavého tepla na dřevěné konstrukce. Při dlouhodobějším působení sálavého tepla dochází k rozkladu dřeva a uvolňování plynů. Na základě těchto experimentů bylo zjištěno, že hodnota tepelného toku $18,5 \text{ kW/m}^2$ nezpůsobí v době cca 20 minut samovznícení plynů [4].

MOŽNOSTI URČENÍ ODSUPOVÝCH VZDÁLENOSTÍ

Z hlediska posuzování je možné tyto problematické konstrukce zařadit dle ČSN 73 0804 do následujících skupin. Jako **otevřený objekt** se hodnotí volně stojící objekt, částečně nebo zcela bez obvodových konstrukcí, popř. střešních konstrukcí. Jako **volný sklad** se posuzuje objekt na volném prostranství bez zastřešení. Od těchto konstrukcí je nutno určit požárně nebezpečný prostor stejně jako u ostatních stavebních objektů [2]. Z normy je zřejmé, že pokud objekt navazuje nebo je spojen s jiným objektem, není to volně stojící objekt a odstupové vzdálenosti by se od něj měly určovat jako pro ostatní stavební objekty. Norma nezohledňuje fakt, že velký vliv na výsledné odstupy má střešní konstrukce, protože pokud objekt střešní konstrukce nemá, mělo by se uvažovat při výpočtu s výškou plamenů, což bylo dokázáno na základě analýzy provedené Ing. Františkem Pelcem [6]. V normě je uvedeno, že u objektů o jednom nadzemním podlaží s membránovými a jinými obdobnými konstrukcemi s funkcí střechy se odstupové vzdálenosti posuzují jako u volných skladů hořlavých látek (obr. 2).

Zásadní rozdíl z hlediska výpočtu odstupových vzdáleností představuje srovnání reálné požárně otevřené plochy s počítanou požárně otevřenou plochou. Ve výpočtu odstupových vzdáleností se předpokládá stejná hustota tepelného toku v celé ploše požárně otevřené plochy. Ve skutečnosti při požáru dochází v horní části požárně otevřené plochy k vyšlehávání plamenů, k proudění a sálání vně objektu. Spodní část slouží jako přívod vzduchu, který si požár pro svoji potřebu rozvoje sám nasává. Hranice mezi těmito plochami se nazývá neutrální rovina. Tento postup je ovšem pro kvůli své složitosti pro ruční výpočet nepoužitelný.



Obr. 2 (A) Výška požárně otevřené plochy pergoly; (B) Výška požárně otevřené plochy přístřešku
Fig. 2 (A) Burning height of pergola; (B) Burning height of shelter

APLIKACE ZÍSKANÝCH POZNATKŮ

Tato kapitola se zabývá odlišností odstupových vzdáleností mezi volně stojící pergolou a přístřeškem. Jsou posouzeny dva odlišné postupy, a to postup ručního výpočtu a matematického CFD modelu. Ruční výpočet je proveden dle normového postupu. V matematickém modelu je provedena simulace požáru a následně změřeny hodnoty sálavého tepelného toku v narůstající vzdálenosti od objektu.

Pro účely výpočtu byl vytvořen virtuální objekt pergoly/přístřešku. Půdorysné rozměry objektu jsou 4×3 m. Výška se pohybuje v intervalu 2,2 až 2,3 m v závislosti na střešním plášt. Jako hlavní materiál je použito borovicové dřevo. Podlaha je navržena ze zámkové dlažby.

Ruční výpočet byl proveden na základě skutečné hodnoty požárního zatížení. Tato hodnota byla vypočítána z celkového množství hořlavých látek v konstrukci. Ve výpočtu byly zohledněny veškeré dřevěné konstrukce v objektu, uvnitř objektu bylo počítáno se zatížením od dřevěného nábytku.

Na základě výpočtu hmotnosti konstrukcí (objemová hmotnost 640 kg/m^3), bylo stálé požární zatížení pro pergolu stanoveno na $p_{s1} = 33,9 \text{ kg/m}^2$ a pro přístřešek na $p_{s2} = 46,2 \text{ kg/m}^2$. Nahodilé požární zatížení bylo vypočteno z hmotnosti nábytku pro oba typy konstrukcí stejně, tj. $p_{n1,2} = 4,6 \text{ kg/m}^2$. Následně byla vypočítána ekvivalentní doba požáru pro oba typy konstrukcí. Pro pergolu byla tato hodnota $\tau_{e,1} = 20,6$ minut, pro přístřešek je tato hodnota $\tau_{e,2} = 27,2$ minut. Rozdíl v ekvivalentní době požáru je způsoben rozdílnou hmotností hořlavých konstrukcí u obou objektů.

Následný výpočet odstupových vzdáleností byl proveden na stránkách Ing. Františka Pelce [7]. Při výpočtu odstupové vzdálenosti od pergoly byla uvažována analogie pro výpočet odstupových vzdáleností pro volný sklad, tzn. výška požárně otevřené plochy se navýší o předpokládanou výšku plamenů. Výpočet odstupových vzdáleností pro přístřešek byl proveden jako pro klasický stavební objekt (otevřený objekt). Výpočet byl proveden pro dvě různé teplotní křivky, tj. křivku ISO 834 (normová teplotní křivka) a pro křivku vnějšího požáru (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů., Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**).

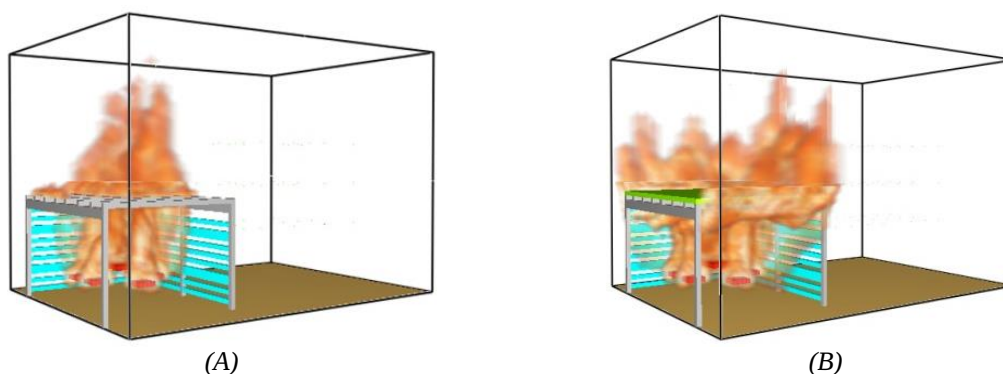
Matematický CFD model byl vymodelován v programu PYROSIM 2017 (pre-procesor) s následným výpočtem v programu FDS verze 6.5.3 (procesor) a vizualizací výsledku v programu SMOKEVIEW (post-procesor). V programu byl vytvořen model obou konstrukcí, tj. model konstrukce a pergoly (obr. 3). Pro každou jednotlivou konstrukci byla provedena simulace. Zdroj požáru v modelu tvořila sestava sedacího nábytku se stolem, která měla definovanou rychlost uvolněného tepla. Použitým konstrukčním materiálem byla borovice, která měla nadefinovaný proces pyrolýzy dřeva.

V matematickém modelu byly nejvyšší hodnoty tepelného toku naměřeny ve výšce 3 m. Tyto hodnoty byly naměřeny radiometry, které se nacházely 1 m nad rovinou střešního pláště. Nejrychlejší rozvoj požáru u obou konstrukcí nastal v místě dřevěného bočního latování. Rozvoj požáru u pergoly probíhal rychle, plameny směřovaly ve vertikálním směru vzhůru a neměly tendenci vyšlehávat. Výška plamenů nad pergolou ovlivnila sálavou složku požáru. U přístřešku simulace probíhala obdobně jako u pergoly, ale hlavní rozdíl vytvořil střešní plášť. Střešní plášť ovlivňoval chování plamenů a celkový rozvoj požáru. Plameny vyšlehávaly do stran a do výšky, což značně ovlivnilo sálavou složku požáru (obr. 3). Toto chování plamenů zapříčinilo rozdíl v naměřených hodnotách tepelného toku (obr. 4).

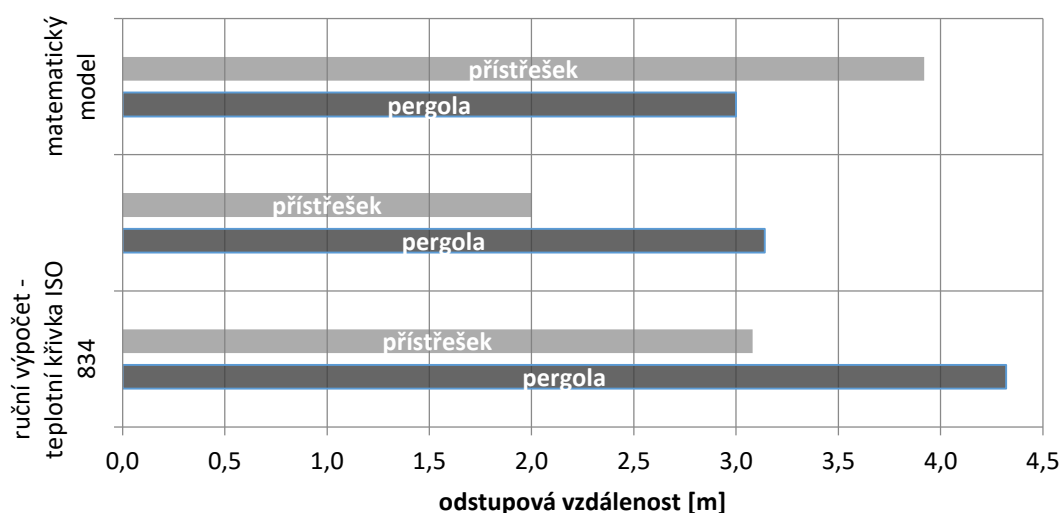
ZÁVĚR

Pergola a přístřešek jsou dvě rozdílné konstrukce, jejichž pojmy by se neměly zaměňovat. Hlavní rozdíl mezi těmito konstrukcemi je střešní plášť, který tvoří hlavní rozdíl i z hlediska požární bezpečnosti. Pergola, která střešní plášť nemá, se může posuzovat dle analogie pro volný sklad, což vede k navýšení odstupových vzdáleností, protože se k výšce požárně otevřené plochy pergoly musí připočítat předpokládaná výška plamenů. Přístřešek se může posuzovat jako otevřený objekt, tedy odstupové vzdálenosti se určí jako pro běžný stavební objekt. V rámci ověření této problematiky, byly odstupové

vzdálenosti vypočteny ručním výpočtem a změřeny v matematickém modelu. V uvedeném grafu jsou znázorněny hodnoty odstupových vzdáleností pro ruční výpočet i matematický model. V ručním výpočtu vyšly hodnoty odstupových vzdáleností vyšší u pergoly, protože byla použita analogie pro volný sklad. V matematickém modelu bylo zjištěno, že střešní plášť má vliv na chování požáru, ale opačně než u ručního výpočtu. Střešní plášť způsobuje nárůst odstupových vzdáleností z důvodu vyšlehávání plamenů do stran. Závěrem lze konstatovat, že hlavní rozdíl z hlediska posuzování požární bezpečnosti, resp. odstupových vzdáleností od pergoly a přístřešku je zapříčiněn střešním pláštěm, který má hlavní vliv na rozvoj, šíření a chování požáru.



Obr. 3 (A) Rozvoj požáru u pergoly; (B) Rozvoj požáru u přístřešku
Fig. 3 (A) Fire growth of pergola; (B) Fire growth of shelter



Obr. 4 Porovnání ručního výpočtu odstupových vzdáleností s matematickým modelem
Fig. 4 Comparison of manual separating distances calculation with mathematical model

LITERATURA

- [1] SYROVÝ, BOHUSLAV. *Architektura - naučný slovník*. Praha : SNTL, 1961.
- [2] ČSN 73 0804. *Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty*. Praha : ÚNMZ, 2010 + Z2:2015.
- [3] KUTINOVÁ, Blanka. *Technický naučný slovník*. Praha : SNTL, 1983.
- [4] REICHEL, Vladimír. *Zbraňujeme škodám. Navrhování požární bezpečnosti staveb*. Svazek 16: Česká státní pojišťovna, 1979.
- [5] ČSN 73 0802. *Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty*. Praha : ÚNMZ, 2009.
- [6] PELC, František. František Pelc, požární bezpečnost staveb. *ČSN 73 0802:2009 - komentář k článku 10.4.9*. [Online] <http://www.pelcfrantisek.cz/csn02/02komrx1049w.php>.
- [7] PELC, František. František Pelc, požární bezpečnost staveb. *Výpočet odstupových vzdáleností*. [Online] <http://www.pelcfrantisek.cz/vyp/odstup18-kon.php>.

POSOUZENÍ SPOJŮ DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ NA ÚČINKY POŽÁRU

ASSESSMENT OF JOINTS OF TIMBER STRUCTURES EXPOSED TO FIRE

Bc. Tomáš Kalhous

Abstract

This work is focused on the behavior of joints of timber structures exposed to fire. Joint is formed by using steel sheets, which is bonded through the timber beams with steel pins. In this work, the distribution of temperatures in cross-section of timber beams is calculated, and after that assumed fire resistance of the individual jointed structures. The main result of this work is assessed how this type of joint is effective on exposing fire and to determine the rate of carbonization of the wood behind the steel element. Calculations are solved analytically and as well with computing software ATENA.

Key words: fire; experiment; timber; joint; temperature; steel; resistance

ÚVOD

Použitelnost a trvanlivost dřevěných konstrukcí je částečně závislá na návrhu nosných prvků a na návrhu spojů mezi jednotlivými konstrukčními prvky. Pro výběr správného druhu spojovacího prostředku se nehodnotí pouze velikost zatížení či únosnost, ale i hledisko estetické, ekonomické nebo výrobní. Při stanovení typu spoje se také zohledňují záměry projektanta a architekta. Z těchto důvodů není možné při výběru spojovacího prostředku zvolit obecně daná pravidla, pomocí kterých by bylo možné navrhnout univerzální spoj pro různé druhy konstrukcí [1].

Spojovacích prostředků je široká škála, ale málokteré jsou vhodné použít při zvýšeném požárním riziku. Při návrhu za zvýšené teploty u spojovacích prvků se má zohlednit jejich tepelná vodivost, geometrie, velikost hlavy svorníků apod. Čím větší bude tepelná vodivost, tím bude spojovací prostředek ohříván rychleji. Právě pro vysokou tepelnou vodivost oceli jsou spoje dřevěných konstrukcí pomocí ocelových prvků z požárního hlediska relativně nebezpečné. Jedním takovým, nebezpečným spojem je např. deska s prolisovanými trny tzv. Gang Nail, který je dnes velice hojně užíván pro své statické kvality a efektivitu výstavby. Avšak při zvýšené teplotě se plechu velmi rychle snižuje modul pružnosti a dochází ke kolapsu konstrukce [2].

SPOJE DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

Jednou z hlavních zásad pro navrhnutí kvalitní dřevěné konstrukce by mělo být použití jednoduchých spojů a nízkého počtu typů spojovacích prostředků. Spoje se dělí do dvou typů spojů, a to na tesařské spoje a mechanické spoje, které jsou prováděny pomocí různých spojovacích prostředků a ocelových plechů. Tradiční mechanické spojovací prostředky pro dřevo můžeme rozdělit do dvou skupin dle způsobu přenosu síly mezi konstrukčními prvky. První skupinou jsou tzv. kolíkové spojovací prostředky, u nichž je při přenosu síly vyvozován jak ohyb kolíku, tak i napětí v otláčení stěny otvoru a smykové napětí dřeva podél dřívku. Do této skupiny patří svorníky, kolíky, hřebíky, vruty a sponky. Druhou skupinou jsou „povrchové“ spojovací prvky jako jsou styčnickové desky s prolisovanými trny nebo vkládané a zalisované hmoždíky. Možností je také spoje kombinovat se speciálními ocelovými prvky [3].

OPRAVY DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

Zvolení správné metody opravy dřevěných konstrukce je založeno na typu a velikosti degradace materiálu. Nejšetnější možností je odstranit příčiny vzniku poruch na dřevěných konstrukcích. Pokud je degradace již příliš vysoká, je na místě radikální řešení oprav dřevěných konstrukcí, a to zejména zpevňování konstrukčních prvků nebo náhradu poškozené části konstrukce [4].

Zpevňování dřevěných prvků se týká zejména prvků nosných. Zpevnění částí dřevěných konstrukcí se provádí několika způsoby: zvětšením průřezu dřevěného prvku, např. pomocí přílozek nebo výškovým nastavením; aplikací uhlíkových lamel nebo rohoží z uhlíkových vláken; nahrazením poškozeného dřevěného prvku novým dřevem, nebo jiným materiálem bez zachování stávajícího průřezu, např. příložkování nebo ukotvením do ocelové konzoly; nahrazením poškozeného dřevěného prvku novým dřevem, nebo jiným materiálem se zachování stávajícího průřezu, např. protézování, plombování nebo konzervování; trvalou změnou konstrukčního řešení, např. použití ocelových doplňujících prvků [4].

DŘEVĚNÉ A OCELOVÉ KONSTRUKCE ZA POŽÁRU

Chování dřevěných materiálů není možné jednoduše popsat. Materiály na bázi dřeva jsou hořlavé, avšak tuto vlastnost lze redukovat povrchovou úpravou nebo impregnací, kdy je následně nutný větší přísun energie pro jejich vzplanutí, hoření a následné šíření požáru. Rostlé dřevo je obtížně zápalné a teplota, které je potřebná k samovznícení, je více než 400 °C. Dokonce i v přítomnosti zápalného zdroje musí být povrchová teplota větší než 300 °C. Dřevo se v požární bezpečnosti staveb používá jako srovnávací materiál pro zatřídění ostatních materiálů, jelikož vykazuje přijatelné riziko zapálení [5].

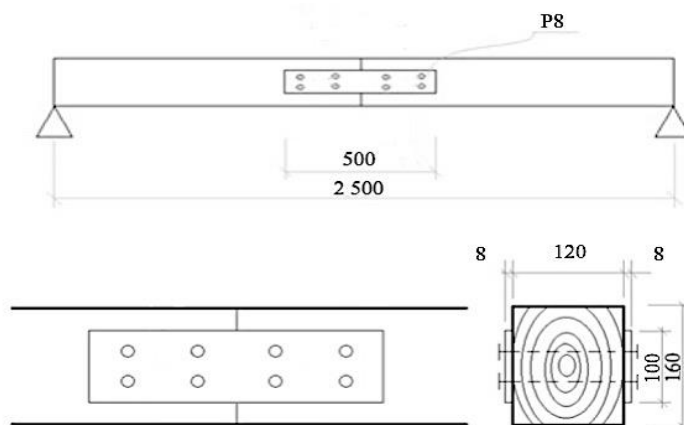
Navrhování ocelových konstrukcí za zvýšené teploty je závislé na konstrukční celistvosti konstrukce při požáru. Největší nevýhodou oceli je její velice vysoká tepelná vodivost, která je několikasetnásobně vyšší než tepelná vodivost dřeva. Vlastnosti oceli se již při teplotě nad 400 °C redukuje stejně jako ostatní stavební materiály (beton, dřevo apod.) [6].

POŽÁRNÍ EXPERIMENT

Mou prací zpracovávanou na Katedře ocelových a dřevěných konstrukcí pod vedením Ing. Lukáše Blesáka, Ph.D. je posouzení spojů dřevěných konstrukcí na účinky požáru. V místnosti s požárem bude umístěn posuzovaný dřevěný prvek se spojem. Spoj je řešen na dřevěných trámech o průřezu 120 x 160 mm a délky 2 500 mm. Trámy budou ve vzdálenosti 1250 mm přerušeny a následně spojeny daným spojovacím prostředkem. Spoj bude proveden jako nechráněný s vnějšími ocelovými deskami. Tento typ spoje je analyticky posuzován v následující kapitole.

POSOUZENÍ SPOJE

Spoj bude proveden pomocí dvou ocelových přílozek tloušťky 8 mm s rozměry 100 x 500 mm (obr. 1). Tyto vnější desky budou vzájemně spojeny pomocí osmi ocelových kolíků skrz trám. Návrhové liniové zatížení na trám bylo určeno 1 kN/m. Pro návrh je nutné posoudit únosnost těchto kolíků i odolnost ocelových přílozek na účinky požáru s využitím nominální normové teplotní křivky.



Obr. 1 Schéma spoje
Fig. 1 Schema of joint

Jako první byla stanovena návrhová únosnost spoje za běžné teploty dle [7]. Únosnost za běžné teploty vyhověla velice uspokojivě. Stupeň využití pro daný spoj byl vypočten jako 0,111, z čehož vyplývá, že spoj je využit na cca 11 %. Následně byl spoj posouzen na účinky požáru dle [8], kde výsledky nebyly už tak jednoznačné. Byla stanovena deklarovaná požární odolnost spoje 30 minut. Při této požární odolnosti bylo využití spoje 0,833, a to odpovídá 83 %. Avšak výpočet nelze ukončit posouzením spoje samotného. Nechráněné ocelové prvky mají nízkou požární odolnost, čili bylo nutné provést posouzení požární spolehlivosti vnějších ocelových desek. Spolehlivost ocelových prvků byla vypočtena dle [8].

Pro tyto požadavky bylo nutné stanovit kritickou teplotu ocelových prvků spoje. Kritická teplota se určuje s přihlédnutím na stupeň využití spoje. V našem případě byla vypočtena hodnota 1135 °C. Nyní bylo však nutné zjistit, zdali spoj této teploty nedosáhne již v době požadované požární odolnosti. Tuto veličinu lze zjistit několika způsoby. Tradičním způsobem je analytický výpočet tzv. přírůstkovou metodou nebo využitím modernějších technologií, jako jsou softwary určené k výpočtu rozložení teplot pracující na metodě konečných prvků. Při této příležitosti byly použity obě možnosti.

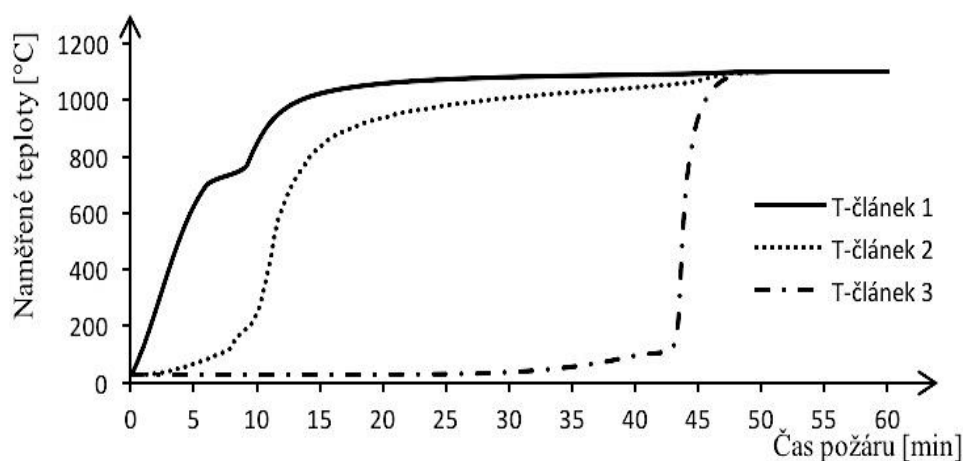
Přírůstkovou metodou byla stanovena v době 30 min teplota prvku 840,2 °C. Tato teplota nedosahuje kritické teploty. Z toho vyplývá, že spoj při posouzení touto metodou splňuje veškeré požadavky. V tab. 1. jsou znázorněny výsledky přírůstkovou metodou, kde t je doba od vzniku požáru vyjádřená v minutách, θ_g představuje teplotu plynu při požáru dle nominální normové teplotní křivky a $\theta_{a,t}$ teplotu nechráněných vnějších ocelových desek vystavených požáru.

Tab. 1 Rozvoj teplot stanovený přírůstkovou metodou

Tab. 1 Temperature development determined by the incremental method

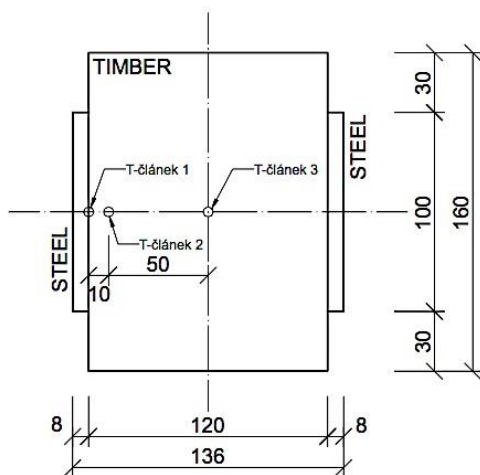
t [min]	θ_g [°C]	$\theta_{a,t}$ [°C]
5	576,4	537,4
10	678,4	667,0
30	841,8	840,2

Jak bylo řečeno, spoj byl posouzen i pomocí softwaru ATENA, kde bylo stanoveno rozložení teploty po průřezu dle následujícího grafu (obr. 2). Na grafu jsou vyobrazeny teploty, kde křivka T-článek 1 vyznačuje teplotu oceli, a zbylé dvě křivky teploty zaznamenané v průřezu dle obr. 3. Touto metodou byla stanovena v době 30 minut teplota ocelového prvku 1085 °C. I touto metodou spoj vyhovuje požadované požární odolnosti.



Obr. 2 Teploty termočlánu v čase

Fig. 2 Temperature of thermocouple in time



Obr. 3 Schéma sledovaných bodů
Fig. 3 Schema of monitored point

ZÁVĚR

Cílem bylo seznámit s problematikou spojů dřevěných konstrukcí v rámci požární bezpečnosti staveb. V navrhování dřevěných konstrukcí musí být zajištěna funkčnost spojů i v případě požáru. Byl navržen spoj s vnějšími nechráněnými ocelovými deskami. Tento spoj byl posouzen analyticky i pomocí softwaru. V obou případech však nebyla překročena kritická teplota oceli, a tudíž spoj splňuje požadovanou požární odolnost 30 minut.

LITERATURA

- [1] AUGUSTIN, Manfred, Kolbein BELL, Petr KUKLÍK, Anna KUKLÍKOVÁ, Antonín LOKAJ a Miroslav PREMROV. *Příručka 2 - Navrhování dřevěných konstrukcí podle eurokódu 5*. B.m.: Leonardo da Vinci Pilot Projects. 2008
- [2] KUPILÍK, Václav. Spoje dřevěných konstrukcí za požáru. *Střeby, fasády, izolace*. 2014, **21**, 32–34. ISSN 12120111.
- [3] KOŽELOUH, Bohumil. *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5. STEP 1, STEP 1*. Zlín: KODR, 1998. ISBN 978-80-238-2620-3.
- [4] ŠTEFKO, Jozef, Ladislav REINPRECHT, Petr KUKLÍK a Zlatoše BRAUNŠTEINOVÁ. *Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba*. Bratislava: Jaga, 2006. ISBN 978-80-8076-043
- [5] KUKLÍK, Petr a ČESKÁ KOMORA AUTORIZOVANÝCH INŽENÝRŮ A TECHNIKŮ ČINNÝCH VE VÝSTAVBĚ. *Dřevěné konstrukce*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2005. ISBN 978-80-86769
- [6] WALD, František. *Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 978-80-01-03157-5.
- [7] ČSN EN 1995-1-1 *Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. B.m.: Praha: ÚNMZ. 2006
- [8] ČSN EN 1995-1-2 *Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. B.m.: Praha: ÚNMZ. 2006
- [9] ČSN EN 1993-1-2 *Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. B.m.: Praha: ÚNMZ. 2006

VLIV VĚTRU NA PŘIROZENÝ ODVOD KOUŘE A TEPLA

INFLUENCE OF WIND ON NATURAL SMOKE AND HEAT EXHAUST

Bc. Michaela Křížová

Abstract

The aim of the paper is to describe the influence of wind on heat and smoke outlet from buildings in the area of the Czech Republic. It briefly summaries legislative backgrounds and possibilities of installing smoke ventilators. Aspects that need to be considered during the projection are named. There is a basic example of a production shop where the Bernoulli equation is used to find the minimum speed of air on the windward side of the building. The speed of the wind stops the heat and smoke outlet through the smoke ventilator which is located on the top of the enclosure wall.

Key words: NSHEVS; buoyancy; smoke ventilators; wind loads; windward side

ÚVOD

Přirozené odvětrání funguje na principu přirozeného vztlaku, který je způsoben rozdílem hustot plynů v uzavřeném prostoru, kdy zplodiny hoření s nižší hustotou než má okolní vzduch, přirozeně stoupají vzhůru. Pod stropem se tyto plyny kumulují a vzniká zde tzv. akumulární vrstva.

Tento typ odvětrání je velice náchylný na vliv okolních podmínek, jako jsou: vítr, venkovní teplota, klimatické podmínky (déšť, sníh), apod. Součástí návrhu samočinného odvětracího zařízení by proto měla být i samostatná kapitola řešící tuto problematiku.

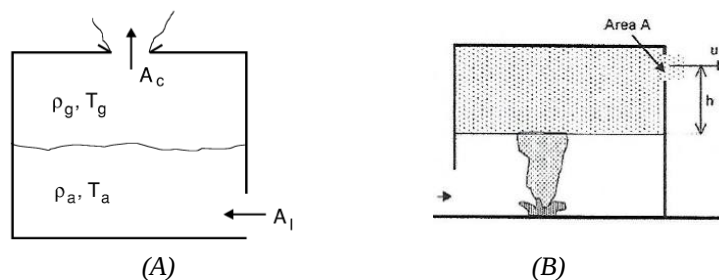
LEGISLATIVNÍ ŘEŠENÍ VLIVU VĚTRU NA PŘIROZENÝ ODVOD KOUŘE A TEPLA

V České Republice se touto oblastí požární bezpečnosti staveb zabývají pouze normy ČSN 73 0802 [1], kde je popsán postup návrhu přírodních a odvodních klapek přirozeného odvětrání a řada norem ČSN EN 121 01 (z nichž část ještě není ani přeložena do českého jazyka), které se zabývají převážně technickými podmínkami jednotlivých komponent tohoto systému.

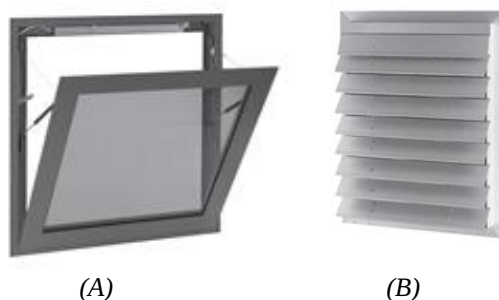
Vliv větru je zahrnut pouze ve zkušební normě ČSN EN 121 01-2 [2], která udává zkušební podmínky tzv. výtokového součinitele s vlivem bočního větru C_v pro střešní klapku. Ten zohledňuje nejnevýhodnější pozici vůči směru působení větru o rychlosti 10 m/s. Odvětrací klapky umístované do obvodových stěn objektu se, dle výše zmíněné normy, zkouší pouze na účinky „bez větru“.

TYPY ODVĚTRACÍCH KLAPEK

Odvětrací klapky je možné instalovat do střech, což je důrazně doporučováno nebo do obvodových stěn. V případě umístění odvětracích klapek horizontálních, tj. střešních, je zaručen celoplošný odvod kouře a tepla ven z objektu. Při instalaci klapek vertikálních, tj. obvodových stěn, je nutné je usadit co nejblíže pod stropní desku, aby docházelo k výtoku zplodin hoření po celé ploše klapky a tím k tvorbě co nejužší akumulární vrstvy. Odvětrací klapky lze též rozdělit dle jejich způsobu otevírání na klapky křídlové a žaluziové.



Obr. 1 Odvětrací klapka umístěná: (A) do stropu [3]; (B) do stěny [4]
 Fig. 1 Exhaust ventilator located: (A) in the ceiling [3]; (B) in the side wall [4]



Obr. 2 Odvětrací klapka: (A) křídlová; (B) žaluziová
 Fig. 2 Exhaust ventilator: (A) winged; (B) jalousie
 Zdroj: www.inexco.cz

VLIV VĚTRU NA ODVOD KOUŘE A TEPLA STŘEŠNÍ ODVĚTRACÍ KLAPKOU

Horizontální poloha odvětrací klapky má nespornou výhodu v možnosti odvádět zplodiny hoření po celé své aerodynamické ploše. V případě větrného počasí je však hmotnostní tok procházející odvětrací klapkou mimo objekt rapidně snížen. Je možné konstatovat, že odváděné množství kouře a tepla za větrných podmínek ovlivňují převážně: rychlost a směr větru, geometrie odvětrací klapky, poloha odvětrací klapky v rámci roviny střechy, členitost střechy a okolní zástavba.

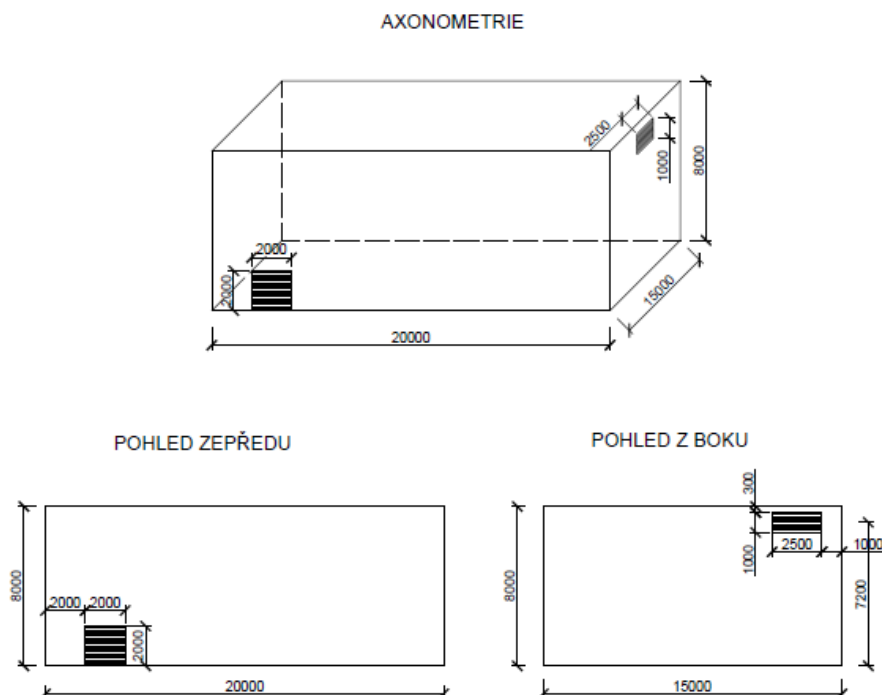
VLIV VĚTRU NA ODVOD KOUŘE A TEPLA STĚNOVOU ODVĚTRACÍ KLAPKOU

Tento typ odvětrací klapky není mnohými odborníky doporučován. Je s ním spojeno více rizik než s odvětrací klapkou umístěnou do střech, jako jsou vliv návětrného větru, výška akumulční vrstvy (může dojít k situaci, kdy klapka neodvádí kouř a teplo po celé své ploše) či neschopnost tohoto typu klapky odvětrat veškerý kouř a teplo z prostoru (vždy část kouře zůstane v prostoru mezi horní hranou odvětrací klapky a spodní stranou stropní desky).

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Východím objektem je výrobní hala $20 \times 15 \times 8$ m, o půdorysné ploše 300 m^2 , zastřešené plochou nepochozí střechou. Veškeré nosné konstrukce jsou zhotoveny z nehořlavých materiálů.

Na základě normy ČSN 73 0802, přílohy H byla stanovena minimální geometrická ($2,4 \text{ m}^2$) a aerodynamická ($1,5 \text{ m}^2$) plocha odtokových klapek a minimální geometrická ($1,5 \text{ m}^2$) a aerodynamická ($0,8 \text{ m}^2$) plocha otvorů určených pro přívod vzduchu. Hloubka akumulční vrstvy spočtená na základě tohoto výpočtu byla stanovena na 1,3 m. V rámci kompletního návrhu výrobní byly zvoleny jako přívodní otvor rolovací plechové dveře 2×2 m a, dle katalogového listu výrobce, žaluziová odvětrací klapka o rozměrech $2,5 \times 1$ m. Žaluziová klapka byla navržena ve vzdálenosti 0,8 m od spodní hrany stropní desky na osu odvětrací klapky.



Obr. 3 Schéma výrobní haly
Fig. 3 Schema of the production shop

Následným krokem bylo definování návrhového požáru. Výchozím předpokladem bylo určeno, že zdrojem požáru bude 25 l rozlitého motorového oleje, který vytvoří plošné ohnisko tvaru kruhu o průměru 1,57 m. Celková plocha požáru tedy činí přibližně 2 m². Dalším zjednodušeným předpokladem je, že 70 % celkového uvolněného tepla bylo sdíleno prouděním, což je stěžejní složka sdílení tepla nutná pro další postup. Výpočetní doba požáru byla 385 s.

Cílem této velice zjednodušené numerické analýzy bylo zjistit hodnotu přetlaku v akumulární vrstvě, tj. tlak, kterým se zplodiny hoření tlačí odtokovou klapkou ven z objektu. K tomuto účelu bylo využito vzorce uvedeného v [3] stanoveného na základě experimentálních měření, tzv. výpočty podstropních proudů.

Další fází bylo porovnání vnějších a vnitřních tlakových poměrů v úrovni odvětrací klapky. Výchozím předpokladem byl vztah užívaný v mechanice tekutin, tzv. Bernoulli rovnice (1), která vyjadřuje zákon zachování mechanické energie pro ustálené proudění.

$$P_1 + \frac{1}{2} v_1^2 \rho_1 + h_1 \rho_1 g = P_2 + \frac{1}{2} v_2^2 \rho_2 + h_2 \rho_2 g \quad (1)$$

Nejmenší kritická rychlost větru, která naprosto zabrání odvádění zplodin hoření mimo objekt stěnovou odvětrací klapkou umístěnou na návětrné fasádě, je 6,477 m/s.

ZÁVĚR

Podle [5] je největší rozdíl v podmínkách „s vlivem větru“ a „bez větru“ u odvodních klapkek bez deflektorů instalovaných do obvodové stěny návětrné strany objektu. Tento rozdíl činí dle výše zmíněného odborného článku až -63 %, u střešních odvětracích klapkek je rozdíl „pouze“ -23,6 %.

Elementárním výpočtem lze stanovit předběžnou kritickou rychlost návětrného větru, který zamezí odtoku zplodin hoření stěnovou odvětrací klapkou. Z řešeného příkladu je zcela patrné, že rychlosti stanovené tímto výpočtem jsou naprosto reálné a měly by být podrobeny bližší analýze.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 0802 – *Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty*. Praha: ÚNMZ, 05/2009 + Z1 (02/2013) + Z2 (07/2015).
- [2] ČSN EN 12101-2 – *Zařízení pro usměrňování pohybu kouře a tepla – Část 2: Technické podmínky pro odtahové zařízení pro přirozený odvod kouře a tepla*. Praha: Český normalizační institut, 04/2004.
- [3] KARLSSON, B. a QUINTIERE, J. G. *Enclosure Fire Dynamics*. College Park, Maryland, USA: CRC Press LLC, 2000. ISBN 978-048-49313-00-4.
- [4] POREH, M a TREBUKOV, S. *Wind effects on smoke motion in buildings*. Fire Safety Journal. 2000;35(3):257-73.
- [5] WEGRZYŃSKI, W. a KRAJEWSKI, G. *Influence of wind on natural smoke and heat exhaust system performance in fire conditions*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2017;164:44-53

EVAKUACE A POHYB OSOB PO SCHODIŠTÍCH

EVACUATION AND MOVEMENT OF PEOPLE ON STAIRS

Bc. Marek Lokvenc

Abstract

This article provides a brief overview of information from the seminar thesis about the subjects of evacuation and movement of people on stairways, with the bulk of the article focused on solved case study, which addresses the problem of modelling complicated spiral stairway's geometry and its simplification using rectangular shapes that can be solved in most evacuation model currently available.

Key words: evacuation; stair; human safety; speed; spiral staircase

ÚVOD

Pojem evakuace osob je velmi důležité téma, neboť ochrana osob (i zvířat) a zejména jejich zdraví je v případě vzniku mimořádné události (požáru, dopravní nehody, technických problémů, přírodních katastrof, teroristických útoků...) jedna z prvních a největších priorit. Lidský život je zkrátka nenahraditelný, a proto je potřeba věnovat této problematice patřičnou pozornost.

EVAKUACE

Studie se zaměřením na objektové evakuace započaly již ve 20. století, kdy se začali objevovat první empirická data o pohybu osob. Hlavní důraz byl kladen na pohyb osob v koridorech, chodbách, na schodištích a skrz otvory (zejména dveře). Nejvýznamnější první studie vytvořili Predtechenskii a Milinskii (Rusko 1969) [1], Fruin (USA 1971) [2] a Pauls (USA 1977) [3], kteří shromáždili výsledky velkého množství experimentů se zaměřením na závislost hustoty a toku osob na rychlosti osob, efektivní šířky komunikací, kapacity únikových cest a minimální šířky schodišť z hlediska evakuace osob. Tyto studie se zabývají nejen pohybem osob v průběhu evakuace, ale i pohybem osob v běžném životě, a vytvářejí tak analytické vztahy a podklady pro posuzování doby pohybu, která je potřebná pro modelování podmínek evakuace. Na tyto poznatky navazují nové studie, které se nezabývají jen samotným pohybem osob, ale také časem do zahájení evakuace (pre-evacuation time) a chováním osob.

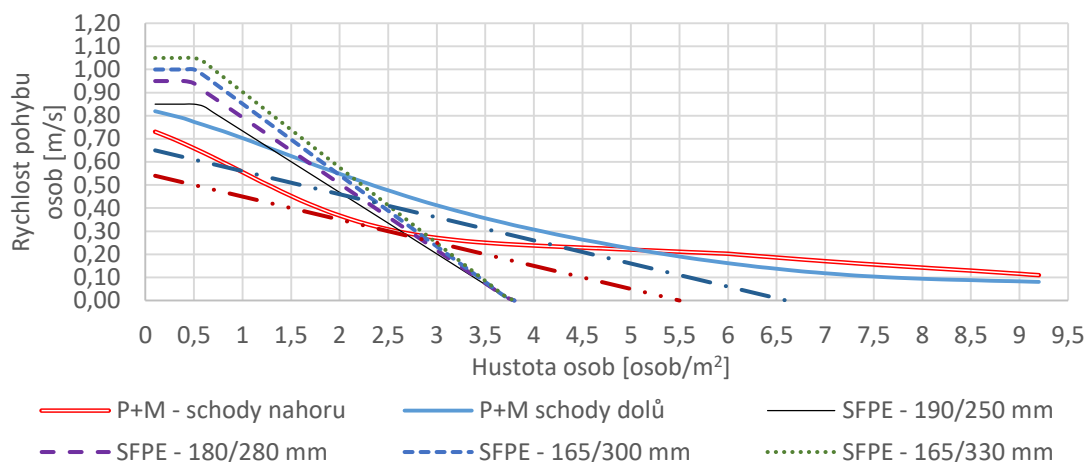
POHYB OSOB PO SCHODIŠTÍCH

Pohyb po schodišti je oproti pohybu po rovině rozdílný a velice specifický. Při pohybu po schodech rozlišujeme pohyb nahoru a dolů, přičemž při pohybu nahoru spotřebujeme 10 až 15× více energie, jako při stejné dlouhé chůzi po rovině. Překvapivé je, že při pohybu po schodech dolů spotřebujeme ještě o třetinu energie více, než při stoupání [2].

Pohyb osob po schodech je omezený zejména rozměry schodiště a délkou lidského kroku. Rychlost pohybu osob po schodišti je ovlivněna rozměry schodišťového stupně, přičemž se snižující se výškou schodišťových stupňů roste rychlost osob [2, 6]. Rychlost osob na schodišti se mění nejen v závislosti na stavebním provedení schodiště, ale i na charakteristických rysech osob, které se po schodišti pohybují. Na pohyb mají vliv např. věk, pohlaví a stres.

Rychlost pohybu osob po schodištích můžeme získat v zásadě dvěma způsoby. První způsob je využití analytických vztahů, které vznikly na základě velkého množství výzkumů lidského pohybu (např. Predtechenskii a Milinskii [1] a SFPE [6]), jež jsou využívány zejména v hydraulických modelech. Druhý způsob je použití hodnot, které byly shromážděny z provádění cvičných evakuací a studií. Provedeným studiím se věnují např. Kuligowski a kolektiv v publikaci Movement on Stairs During Building Evacuations [7].

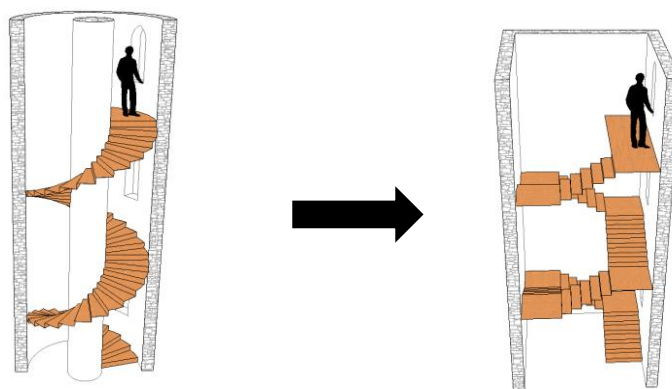
Na následujícím grafu (obr. 1) je znázorněno porovnání hodnot rychlostí osob po schodišti nahoru a dolů v závislosti na hustotě osob od Predtechenskiho a Milinskiho [1], SFPE [6] a Fruina [2], které se používají pro výpočty v hydraulických modelech.



Obr. 1 Porovnání rychlostí osob po schodech v hydraulickém modelu
Fig. 1 Comparison of movement speed on the stairs in hydraulic model

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

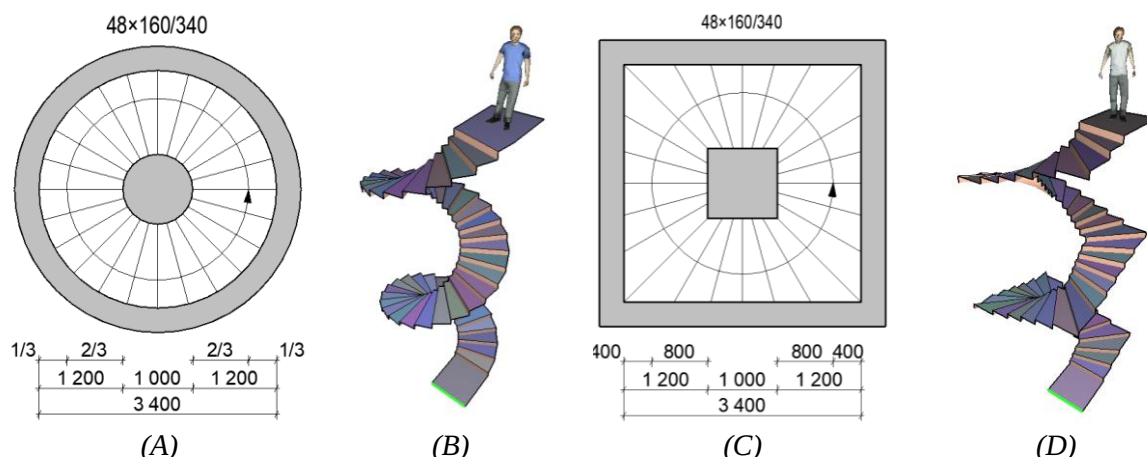
Řešený příklad se zabývá možností aproximace složitého tvaru točitého schodiště na jednodušší tvar (obr. 2), přičemž cílem tohoto řešeného příkladu je co nejvíce zjednodušit geometrii točitého schodiště tak, aby ho bylo možné modelovat a analyzovat i v evakuačních modelech, které nemohou vytvářet jiné tvary, než pravoúhlé čtyřúhelníky (např. FDS+Evac). Pro analýzu jsou využity programy Pathfinder a FDS+Evac, které patří mezi nejpoužívanějších 6 programů pro modelování osob.



Obr. 2 Aproximace točitého schodiště na jednodušší geometrii
Fig. 2 Approximation of the spiral staircase to simpler geometry

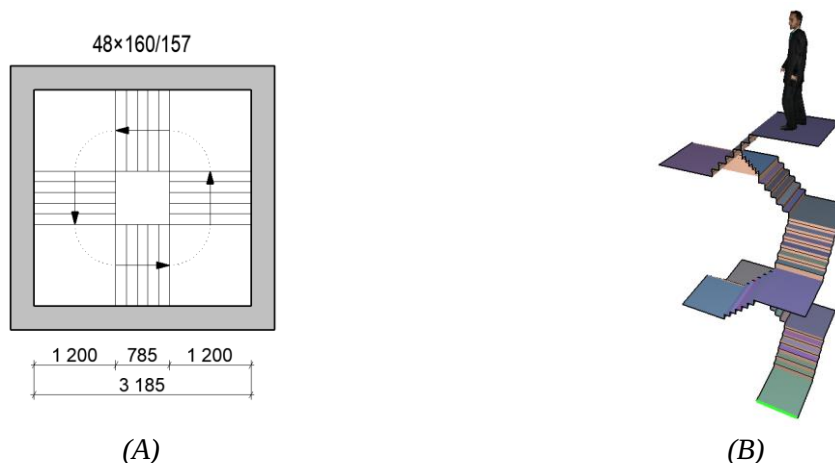
Jako výchozí geometrie je zvoleno točité schodiště spojující 2 podlaží (obr. 3A). Na překonání jednoho podlaží je k dispozici 24 schodů s výškou stupně 160 mm. Šířka schodišťového ramene je 1 200 mm a průměr středního pilíře je 1 000 mm. Výchozí geometrie točitého schodiště je vymodelována v programu Pathfinder (obr. 3B) a na základě této výchozí geometrie je provedena první aproximace, která spočívá v opsání točitého schodiště čtvercovým půdorysem (obr. 3C, 3D). Tato varianta však stále obsahuje prvky, které nemají pravoúhlý tvar, a proto je provedena druhá aproximace, která je rozdělena na 4 varianty, přičemž každá z variant zachovává jiné proporce výchozího schodiště. Všechny čtyři varianty zachovávají počet schodišťových stupňů, šířku schodišťového ramene a výšku schodišťového stupně.

Pro potřeby analýzy je na horním konci schodiště umístěn agent, kterému je přiřazena rychlost pohybu na vodorovný průmět schodiště 1,0 m/s a rozměry dospělé osoby.



Obr. 3 (A) Výchozí geometrie schodiště; (B) Model výchozí geometrie v programu Pathfinder
(C) Aproximovaná geometrie schodiště; (D) Model aproximované geometrie v programu Pathfinder
Fig. 3 (A) Default stairway geometry; (B) Model of default stairway geometry in Pathfinder
(C) Approximated stairway geometry; (D) Model of approximated stairway geometry in Pathfinder

Při hodnocení jednotlivých aproximací byly zjišťovány časy vstupu agenta na schodiště na horní podestě a výstupu agenta ze schodiště v přízemí. Prostým rozdílem těchto dvou hodnot byla zjištěna doba, kterou agent strávil cestou po schodišti. Jednotlivé doby pohybu po schodišti byly porovnány s výchozí hodnotou na točitém schodišti a nejlepší aproximací byla vyhodnocena varianta s délkou výstupní čáry, která odpovídá délce střednice točitého schodiště (obr. 4A), jejíž model v programu Pathfinder je zobrazený na obr. 4B.



Obr. 4 (A) Ideální zjednodušená geometrie schodiště; (B) Model ideální zjednodušené geometrie v programu Pathfinder

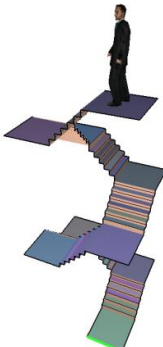
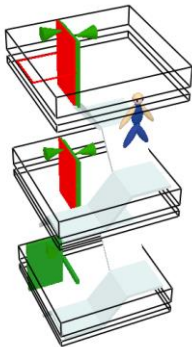
Fig. 4 (A) Ideal simplified stairway geometry; (B) Model of ideal simplified geometry in Pathfinder

Porovnání hodnot nejvhodnější aproximace s daty z výchozí geometrie je uvedeno v následující tabulce (tab. 1). Z uvedených výsledků vyplývá, že rozdíl doby strávené pohybem agenta po schodišti mezi zjednodušenou geometrií a výchozí geometrií schodiště činí 0,4 s na překonání jednoho podlaží.

Nejlépe odpovídající zjednodušená geometrie je validována v programu FDS+Evac, aby bylo ověřeno, zda výsledky odpovídají výstupním hodnotám z programu Pathfinder. Rozdíl mezi modely v programu Pathfinder a FDS+Evac činí 0,15 s na jedno podlaží (tab. 1).

Tab. 1 Porovnání výsledků z provedených analýz

Tab. 1 Comparison of analysis results

Program	Pathfinder	Pathfinder	FDS+Evac
Schéma			
Čas vstupu na schodiště [s]	1,3	1,2	0,9
Čas výstupu ze schodiště [s]	13,4	14,1	14,1
Čas strávený na schodišti [s]	12,1	12,9	13,2
Rozdíl celkem [s]	x	0,8	1,1
Rozdíl celkem [%]	x	+6,6	+9,1
Rozdíl na 360 ° [s]	x	0,4	0,55

ZÁVĚR

Evakuace a hodnocení pohybu osob je velmi důležitým faktorem pro správný a bezpečný návrh budovy z hlediska požární bezpečnosti a je nutné mít na paměti, že bezpečí osob a zvířat je při vzniku mimořádné události naprostá priorita, čemuž musí odpovídat i uvažovaný návrh, a proto musíme vytvořit dostatečnou časovou rezervu, která umožní zajistit vhodné podmínky pro evakuaci. Na základě analýzy v případové studii (řešeném příkladu) lze konstatovat, že je možné aproximovat složitou geometrii točitého schodiště na výrazně jednodušší tvary, aniž by došlo k zásadnímu ovlivnění návrhu, avšak je nutné dodržovat pečlivou kontrolu vstupních údajů. Jako nejlépe odpovídající aproximace byla stanovena konfigurace 4 ramenného schodiště, která zachovává počet schodů, šířku schodišťového ramene, výšku schodu a délku výstupní čáry odpovídající délce střednice točitého schodiště.

LITERATURA

- [1] PREDTECHENSKII, V. M. a A. I. MILINSKII. *Planning for foot traffic flow in buildings*. 1978. ISBN 978-0-86249-326-4.
- [2] FRUIN, J. *Pedestrian Planning and Design*. Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 1975.
- [3] PAULS, J. *Building Evacuation: Research Findings and Recommendations*. Fires and Human Behaviour. 1980.
- [4] GWYNNE, M. a E. ROSENBAUM. *Employing the Hydraulic Model in Assessing Emergency Movement*. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. New York, NY: Springer New York, 2016, s. 2115–2151. ISBN 978-1-4939-2564-3.
- [5] PROULX, G. *Movement of people: the evacuation timing*. SFPE Handbook. NRC Institute for Research in Construction; National Research Council Canada, 2002. ISBN 0-87765-451-4.
- [6] NELSON, D. a F. MOWRER. *Emergency Movement*. SFPE Handbook, Chapter 3-14. NRC Institute for Research in Construction; Canada, 2002. ISBN 0-87765-451-4.
- [7] KULIGOWSKI, E., R. PEACOCK, P. RENEKE, E. WEISS, CH. HAGWOOD, K. OVERHOLT, R. ELKIN, J. AVERILL, E. RONCHI, B. HOSKINS a M. SPEARPOINT. *Movement on Stairs During Building Evacuations*. National Institute of Standards and Technology. 2014

POŽÁRNĚ BEZPEČNOSTNÍ ŘEŠENÍ BUDOVY VIZUALIZAČNÍM DATABÁZOVÝM SOFTWAREM

FIRE SAFETY DESIGN BY THE DATABASE VISUALISATION SOFTWARE

Bc. Roman Macháček

Abstract

In this work is created a tool for fire safety designers in software which works with information of project model, building information modelling (BIM). The article is divided into three chapters. The first one consists of the current state-of-the-art of fire safety design and fire emergency evacuation. The second one summarises problematics of benefits of use of the BIM technology for algorithmization of fire emergency evacuation. The third one describes an example for use algorithmization and procedure for the designer in specific software for BIM design in which every drawing sheet, 2D and 3D view, and schedule presents information from the virtual building model.

Key words: fire safety design; fire emergency evacuation; escape route; BIM (Building Information Modelling); building life cycle; algorithmization

ÚVOD

Článek pojednává o využití informačního modelu budovy pro posouzení evakuace osob v požárně bezpečnostním řešení stavby. Používá se pro projektování pomocí sdíleného informačního modelu budovy, který lze využívat po dobu celé životnosti stavby. V rámci evakuace osob se práce zabývá využitím dat v modelu, zautomatizováním výpočtů a posouzením, se kterými se projektant v návrhu setkává. Kromě efektivity algoritmizace jsou popsány výhody informačního modelu budovy pro projektování.

SOUČASNÝ STAV

Požárně bezpečnostní řešení stavby (PBŘ) je dokumentace, která má za cíl omezit riziko vzniku a šíření požáru a zabránit tím ztrátám na životech, ohrožení zdraví osob, zvířat a ztrátám na majetku. Zajišťuje bezpečnou evakuaci osob a zvířat na volné prostranství, eventuálně do jiného objektu. Zabraňuje šíření ohně a kouře mezi jednotlivými požárními úseky uvnitř objektu a mimo objekt. Umožňuje účinný a bezpečný zásah jednotek požární ochrany při hašení a vykonávání záchranných prací. Řeší se několika způsoby. Prvním a nepoužívanějším je preskriptivní přístup tabulkovými hodnotami, které jsou udány v normách, zákonech a vyhláškách. Tabulkové hodnoty vznikly na základě vědeckých poznatků a empirických vztahů. Další řešení využívá pokročilé modelování beroucí přesnějších výpočetních metod a softwarové simulace, které analyzují podrobněji podmínky posuzované stavby po vzniku požáru, zejména intenzitu požáru, jeho šíření a šíření zplodin hoření, podmínky evakuace a zásahu s ohledem na užívání a provoz objektu. Z těchto dat se následně zpracuje odborná expertiza [1].

Návrh evakuace osob za požáru je dílčí částí PBŘ stavby. Z hlediska požární ochrany je evakuace uvažována jako krátkodobý proces ukončený v době, kdy se unikající osoby dostanou na volném prostranství nebo do chráněného prostoru. Úkolem požární bezpečnosti stavebních objektů je zajištění bezpečné evakuace osob z požárem napadeného úseku, respektive objektu. Nebezpečím pro evakuované osoby je šíření zplodin hoření, a to zejména ve vícepodlažních objektech. Evakuace jako sociální otázka se řeší pravděpodobnostními přístupy. Hlavním principem evakuace je požadavek na únikovou cestu, umožnit bezpečnou a včasnou evakuaci osob z kterékoli části objektu na volné prostranství. Druhým požadavkem je umožnění přístupu požárních jednotek do prostorů napadených požárem. Doba evakuace a doba zásahu se vypočítají a dále využijí v PBŘ. Jejich porovnáním se zjistí s čím je nutno dále uvažovat.

Únikové cesty se podle stupně ochrany dělí na chráněné (CHÚC) a nechráněné (NÚC), případně částečně chráněné (ČCHÚC). NÚC je trvale volný komunikační prostor směřující z posuzovaného požárního úseku k východu na volné prostranství nebo do CHÚC. CHÚC tvoří samostatný požární úsek a vytváří trvale volný komunikační prostor chráněný proti účinkům požáru vedoucí k východu na volné prostranství. CHÚC se dále podle zajištěné možnosti ochrany osob dělí na typy A, B, C. Podle stupně ochrany na únikovou cestu připadají různá omezení pro zajištění bezpečí unikajících osob. Například pro NÚC to je délkové omezení a výškové omezení. Pro jednotlivé CHÚC je to omezení délkové (CHÚC A), výškové, doby po kterou se mohou osoby nejvýše bezpečně zdržovat a další požadavky na provedení větrání a podobně. U únikových cest se zároveň posuzuje, zda vyhoví požadavek na potřebný počet únikových pruhů, který závisí na počtu evakuovaných osob a empirických hodnotách získaných na základě experimentálních zkoušek [2].

Výpočet spočívá ve stanovení mimořádné obsazenosti objektu osobami, například při společenské akci, a následným zhodnocením samotné cesty. Pro posouzení bezpečné evakuace se hodnotí počet únikových cest, typ, délka, šířka a jejich technické provedení. Výpočty se opakují pro každou únikovou cestu a další jejich výpočet lze algoritmizovat.

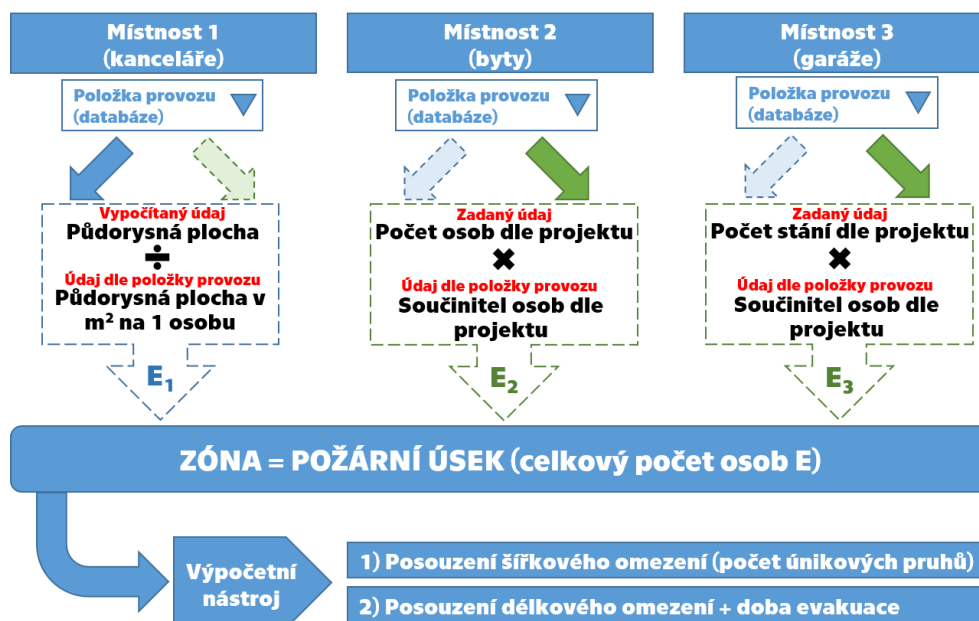
SHRNUTÍ PROBELMATIKY

Rozvoj výpočetní techniky umožnil projektování staveb s využitím informačního modelování budov (BIM). Jedná se o připravení modelu, který vedle geometrických informací uchovává i informace další, popisující jednotlivé komponenty. Přístup přináší výhody oproti klasickému přístupu projektování. Při projektování stavby ve 2D nelze zdaleka vyřešit tolik otázek, jako při použití 3D modelu stavby. Použití BIM modelu přináší transparentnost aktuálního řešení pro jednotlivé profese. Nejedná se jen o 3D model, ale hlavně o informační data v něm uložená, která lze dále využívat ve správě budovy v průběhu celé životnosti stavby. Technologie se nejvíce využívá pro kontrolu dokumentace, odhalování vad stavby a koordinaci profesí. Model lze využít pro vytvoření výkazů výměr a získat data rychleji než standardní metodou výpočtu [3].

Hlavní výhoda pro požární bezpečnost je ve využití modelu pro celou životnost stavby. Během plánování lze model využít pro tvorbu dokumentace, posouzení požadavků a skutečného stavu a rozmístění jednotlivých požárně bezpečnostních zařízení, které následně mohou nést parametry pro jejich pozdější využitelnost v modelu. Ve fázi realizace parametry poslouží ke tvorbě výkazu počtu, druhu a umístění zařízení. Během fáze užívání stavby se dají předpřipravené parametry jednotlivých komponent používat pro revizi požárně bezpečnostních zařízení. Data následně využije správce objektu a státní správa pro kontrolu revizí. V provozní fázi lze data využít pro zásah IZS, kde je možné informace importovat do GIS mapy a mít přehled o počtu a rozmístění přenosných hasicích přístrojů, umístění požárních hydrantů nebo uzávěrů plynu.

Posouzení evakuace osob za požáru jako dílčí části požárně bezpečnostního řešení zahrnuje výpočty, které vycházejí z geometrie objektu a únikových cest. Tyto informace lze ve vizualizačním databázovém projekčním softwaru, ve kterém se BIM model vytváří, získat a dále s nimi počítat pomocí vzorců přímo implementovaných do softwaru.

Následující schéma znázorňuje využití dat z BIM modelu pro algoritmizaci a následné posouzení evakuace osob při požáru. Model sám o sobě obsahuje řadu informací, o geometrii objektu, které lze dále využívat. Pro PBR kde se jedná například o půdorysnou plochu jednotlivých provozů. Tuto veličinu lze vložit do vzorce parametru v modelu a umožnit tím automatický výpočet počtu osob pomocí tabulkové hodnoty z normy, která reprezentuje předpokládanou hustotu obsazení daného provozu na plochu. Pro známý počet osob či parkovacích stání v projektu a součiniteli osob dle provozu lze získat předpokládaný mimořádný stav obsazenými osobami. Následné počty se přiřadí do požárních úseků, kterým místnosti náleží. Počet osob z jednotlivých požárních úseků se použije na posouzení únikové cesty pomocí vytvořené komponenty, která počet využije pro výpočet a posouzení šířkového omezení, délkového omezení a výpočtu doby trvání evakuace.



Obr. 1 Schématický diagram vyjadřující posloupnost operací pro posouzení evakuace osob při požáru
 Fig. 1 Schematic diagram showing a sequence of operations to assess the fire emergency evacuation

MOŽNOST ALGORITMIZACE V INFORMAČNÍM MODELU BUDOVY

Vizualizační databázový software nabízí projektantům účinný nástroj pro zefektivnění jejich práce. Využitelnost závisí na zvoleném programu. Každý databázový software funguje na odlišném principu a i jejich možnosti se různí. V této kapitole bude uveden postup pro posouzení evakuace osob z objektu pomocí mnou vytvořeného nástroje na posuzování v programu Revit od společnosti Autodesk.

Nástroj, který byl pro tento účel vytvořen, je šablona projektu, která má v sobě již implementované parametry a komponenty, které provádí část výpočtů z dostupných hodnot a dále skript vytvořený v programu Dynamo, který provede další řadu výpočtů pro dosažení výsledného posouzení. Zároveň se předpokládá, že projektant evakuace má již k dispozici stavební model.

Prvním krokem pro projektanta využívající nástroj je vytvoření nového projektu výběrem vytvořené šablony. Do nově vytvořeného projektu se následně podloží stavební model objektu, tento podložený model v projektu tvoří jen geometrii s informacemi jednotlivých komponent a nelze s ním dále operovat a upravovat. Zároveň je odkazem spojený s originálním souborem a při změně originálního souboru se změny projeví i v novém projektu.

Dalším krokem je výběr provozu jednotlivých místností v objektu. Hodnoty jednotlivých provozů byly v šabloně předem vloženy a nyní vytváří rolovací seznam. Po výběru ze seznamu se přiřadí hodnoty, které pomohou vypočítat obsazení objektu osobami. Půdorysná plocha na osobu, kterou se podělí známá půdorysná plocha místnosti anebo součin počtu osob dle projektu a součinitele osob dle projektu, který představuje mimořádné obsazení osobami. Následně se jednotlivé místnosti přiřadí k požárnímu úseku, do kterého lze vkládat další hodnoty pro výpočet a zároveň sčítat osoby z jednotlivých místností jemu náležících.

Posléze se v modelu utvoří síť únikových cest, která reprezentuje proudy unikajících lidí směrem na volné prostranství. Pro definování této sítě lze využít mnou vytvořenou komponentu, která provádí řadu výpočtů v kombinaci s odvozenými údaji (délka cesty, počet osob,...) a ručně zadánými údaji (mezí délka, rychlost pohybu osob,...). K této definované cestě se na začátek každé únikové cesty vloží komponenta reprezentující skupinu evakuovaných lidí. Komponenta počet osob převezme z požárního úseku, ve kterém je umístěná. Aby bylo dosaženo možnosti vložení více komponent skupiny lidí do jednoho požárního úseku pro umožnění evakuace více směrů z jednoho požárního úseku, byl do

komponenty vložen parametr, který určuje procento unikajících lidí z požárního úseku. Údaj počtu lidí se zaokrouhluje vždy na celé číslo nahoru.

Po definování únikové cesty už je potřeba spustit pouze skript, který byl vytvořen v programovací nadstavbě mnou zvoleného softwaru. Tento skript spustí řadu algoritmů, které v první řadě přiřadí počet lidí z požárních úseků do komponent skupiny lidí, dále počet evakuovaných osob přiřadí k prvnímu segmentu navazující komponenty únikové cesty a komponenta přiřadí počet lidí další komponentě k ní navazující. V případě střetu více segmentů v jednom místě se skript rozhodne pro větší hodnotu evakuovaných osob. Algoritmus se několikrát opakuje, než sečte osoby ve všech segmentech. Analogicky skript postupuje i při výpočtu délky únikové cesty a doby evakuace osob.

Vypočtené hodnoty jako je délka únikové cesty, počet evakuovaných osob a doba evakuace lze následně jednoduchým způsobem vykázat a udělat celkový přehled, který poslouží pro posouzení stanovených požadavků. Pomocí těchto dat lze v případě, že posudek nevyhovuje, například dveře na únikové cestě jsou příliš úzké anebo úniková cesta příliš dlouhá, upravit objekt a výpočet pohodlně spustit znovu.

ZÁVĚR

Práce poukazuje na nástup nového přístupu projektování pomocí sdíleného informačního modelu budovy, který lze využívat po dobu celé životnosti stavby. Přidanou hodnotou zpracování projektu tímto přístupem je zefektivnění práce projektanta pomocí optimalizace dat získaných z modelu. Posouzení evakuace osob tímto způsobem slouží jako příklad aplikace vizualizačního databázového softwaru, kde projektantovi přináší zefektivnění a urychlení výpočtu a možnost snadných změn. Jedná se o nový způsob projektování a v současnosti je největším úskalím malá informovanost a neznalost projektantů a zároveň nepřipravenost právního prostředí z hlediska návrhových norem. Přístup ovšem nabízí výhody v přehlednosti informací, zpětné vazbě práce se změnami a lepší koordinaci jednotlivých profesí, pomocí které lze při fázi realizace stavby snížit náklady na případné stavební úpravy a to především u staveb většího rozsahu.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu této práce prof. Františku Waldovi za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce. Děkuji Ing. Haně Najmanové za konzultace v části evakuace osob při požáru. Mé poděkování patří Lukášovi Cimalovy, Ing. Adamovi Stančíkovi a Ing. Petru Matějkovi za informace o softwaru a znalosti z problematiky informačního navrhování budov.

LITERATURA

- [1] CHYTRÝ, P.: ČSN 73 0802 - stručná historie a zavádění do praxe - J. Seidl & spol., s.r.o. [Online]. Dostupné z: <http://www.seidl.cz/cz/technicky-zpravodaj/technicky-zpravodaj-42/csn-73-0802-strucna-historie-a-zavadeni-do-praxe-510.html>. [Viděno: 16-dub-2017].
- [2] HEJTMÁNEK, P.; NAJMANOVÁ, H.; POKORNÝ, M.: Únikové cesty, TZB-info. [Online]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13656-unikove-cesty>. [Viděno: 17-dub-2017].
- [3] ČERNÝ, M. a kolektiv autorů: BIM Příručka. Praha 6: Odborná rada pro BIM, 2013. ISBN 978-80-260-5296-8.
- [4] CIMALA, L.; NOVOTNÝ, J.; REMEŠ, J.; VYHNÁLEK, R.: Revit ve stavební praxi. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014. 163 s. ISBN: 978-80-214-4965-7.

NÁVRH A STUDIE STABILNÍHO HASICÍHO ZAŘÍZENÍ VE SKLADOVACÍCH PROSTORECH

DESIGN AND STUDY OF FIXED FIREFIGHTING SYSTEM IN STORAGE

Bc. Michaela Malá

Abstract

The subject of this seminar work is to introduce fixed firefighting system focused on sprinkler application in manufacturing facilities as the case may be in their storage. The work is divided to four main parts – introduction next part is known edge describing dividing of fixed firefighting system and principle of their working and necessity of their installation in variety of objects. There are also described sprinklers in warehouse and ESFR sprinklers and total issue of warehouse sprinklers. Third part is devoted to example where is devoted warehouse with palletised rack sprinklers and ceiling sprinklers.

Key words: sprinkler; fixed firefighting system; storage; warehouse; ESFR

ÚVOD

Má seminární práce se zabývá stabilním hasicím zařízením, respektive sprinklery, které v případě správné instalace chrání objekty před rozšířením požáru a vzniku velkých nevratných škod.

V této práci jsem se zaměřila především na instalaci sprinklerů v prostorech určených ke skladování. Právě v těchto prostorech vznikají velké škody a to především na majetku. Sprinklery, jsou schopny krátce po vzniku požáru začít s hašením a snížit tak riziko rozšíření požáru a díky tomu možné škody eliminovat. Sprinklerová stabilní hasicí zařízení patří k nejúčinnějším aktivním prostředkům, do činnosti se uvádějí samočinně – teplem z požáru a předpokládá se u nich součinnost s jednotkou požární ochrany, která by měla dokončit uhašení požáru, pokud nebyl požár uhašen sprinklerovým zařízením již před jejich příjezdem.

SPRINKLEROVÉ SYSTÉMY VE SKLADECH

Sprinklery jsou tradiční a primární protipožární ochranou ve skladech. Jejich hlavním účelem je kontrola a potlačení požáru. U skladovacích prostor jsou sprinklery a další protipožární zařízení často řešeným tématem a to především z důvodu výstavby nových a moderních skladovacích prostor, u kterých je například vysoká výška skladování či velká skladovací plocha [1]. Ve skladech se také používá zařízení pro detekci požáru, a to k poskytnutí včasného varování a upozornění na vznikající požár. Tato zařízení jsou též považována za součást moderní protipožární ochrany ve skladech [2]. Pro sklady, jejich rozměry a vlastnosti skladovaného materiálu překračují předepsané hodnoty je instalace SHZ předepsána normami požární bezpečnosti staveb – například ČSN 73 0845, ČSN 73 0804 a další. Instalace sprinklerů je nezbytná také pro navýšení mezní velikosti požárního úseku. Zařízení se však často také instaluje na základě požadavků pojišťovny nebo investora [1].

TŘÍDY NEBEZPEČÍ

Na základě rozdělení do tříd nebezpečí se stanoví intenzita dodávky vody, účinná plocha, provozní čas a maximální plocha chráněná jedním sprinklerem. Rozdělení tříd nebezpečí a rizik je následující:

Lehké nebezpečí: LH, kam spadají prostory s malým požárním zatížením a nízkou hořlavostí.

Střední nebezpečí: OH, kam spadají prostory, kde se zpracovávají nebo vyrábějí hořlavé materiály se středním požárním zatížením. Tyto třídy mají následující rozdělení:

- OH1: Skupina 1 (např. nemocnice, hotely, restaurace),
- OH2: Skupina 2 (např. laboratoře, pekárny, pivovary, muzea),
- OH3: Skupina 3 (např. autodílny, cukrovary, tiskárny, papírny),
- OH4: Skupina 4 (např. lihovary, kina, divadla, zpracování odpadu).

Vysoké nebezpečí, výroba: HHP, kam spadají provozy s materiály, které mají vysoké požární zatížení a vysokou hořlavost. Mohou vytvořit rychle se šířící nebo intenzivní požár. Dělí se na tyto skupiny:

- HHP1: Kategorie I (např. Výroba podlahových krytin, zpracování plastů),
- HHP2: Kategorie II (např. destilace dehtu, stání pro autobusy),
- HHP3: Kategorie III (např. výroba pneumatik, gumy, nitrocelulózy),
- HHP4: Kategorie IV (např. výroba zábavné pyrotechniky).

Vysoké nebezpečí, skladování: HHS, zahrnuje skladování zboží, kde výška skladování přesahuje mezní hodnoty uvedené v ČSN 12845 a dále se dělí na [1]:

- HHS1: Kategorie I,
- HHS2: Kategorie II,
- HHS3: Kategorie III,
- HHS4: Kategorie IV.

SKUPINY PROVOZŮ SKLADŮ

Skupina provozu skladů I – VII se stanovuje v závislosti na skladovaném materiálu, užitých obalech a dalších podmínkách dle charakteristických znaků skladovaného materiálu – např. skupenství skladované látky, nahodilé požární zatížení a průměrný tepelný výkon.

Skupina provozů skladu se určuje vždy pro celý požární úsek skladu. Pokud se vyskytují v PÚ různé skladované materiály a podmínky skladování, určí se výsledná skupina provozu skladu podle nejvyšší skupiny provozu skladu v úseku, která se nachází na půdorysné ploše větší než 5% z celkové půdorysné plochy posuzovaného požárního úseku.

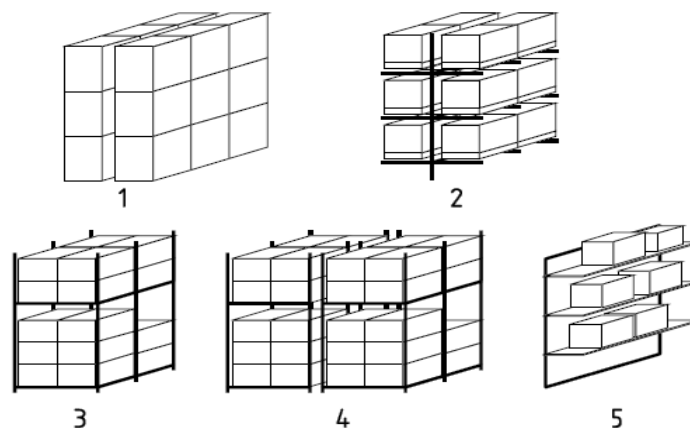
Skupina provozu skladů se určí podle:

- charakteristických znaků skladovaných materiálů dle A.4 ČSN 73 0845 nebo
- přílohy E ČSN 73 0804 [3].

ZPŮSOBY SKLADOVÁNÍ

Návrh sprinklerové ochrany je podstatným způsobem ovlivňuje způsob skladování. Skladování může být (znázornění způsobu skladování viz obr. 1):

- ST1 – volné stohové nebo blokové skladování (free-standing or block stacking),
- ST2 – stojanové jednořadé regály nosníkové nebo kontejnerové (post-pallet storage), s uličkami širšími než 2,4 m,
- ST3 – stojanové dvou a víceřadé regály nosníkové nebo kontejnerové (post pallet storage)
- ST4 – paletové regály (palletized rack),
- ST5/6 – regály s laťovými nebo plnými policemi (solid or statted shelves), ST5 – šířka do 1m, ST6- šířka 1-6 m [3].



Obr. 1 Způsoby skladování
Fig. 1 Ways of storing

USPOŘÁDÁNÍ SPRINKLERŮ VE SKLADECH

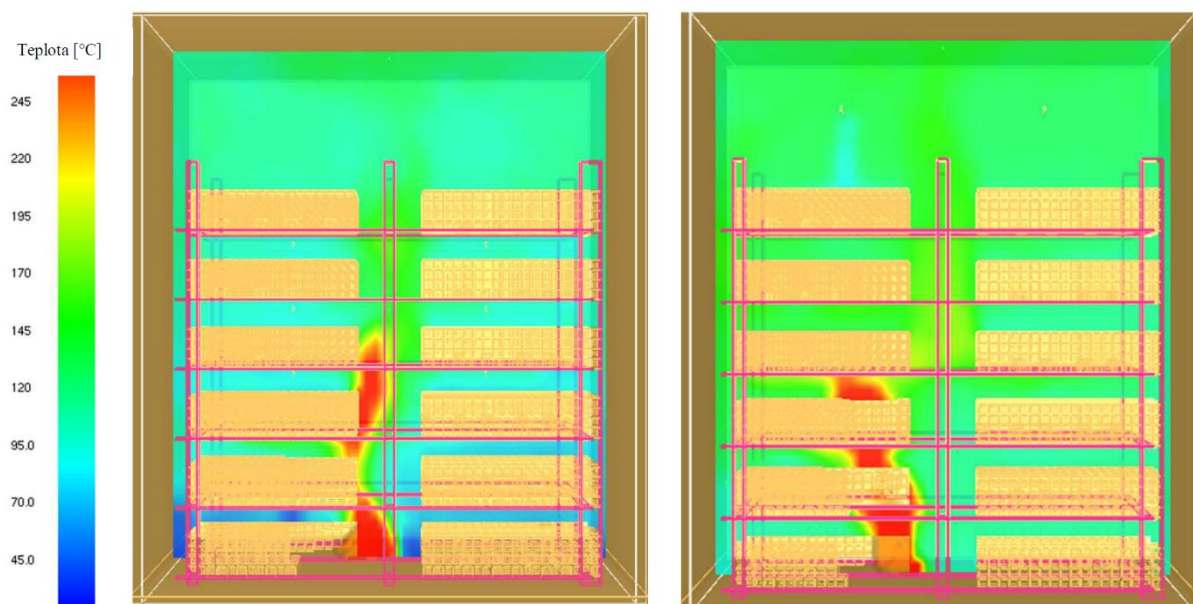
Pro ochranu skladů se používají regálové jištění nebo stropní jištění, kdy přednostně se navrhuje jištění regálové. Pokud jde o riziko HHS, od určité skladovací výšky se navrhuje kombinovaná ochrana, kdy se stropní sprinklery doplňují o sprinklery regálové.

- Regálové jištění: tento způsob jištění zajišťuje účinné chlazení hořících povrchů obalů, které se nachází uvnitř regálů. Nevýhodou tohoto jištění je nutnost instalace regálového potrubního rozvodu, čímž se snižuje flexibilita a variabilita skladu, požadována investory nebo pronajímateli skladů.
- Stropní jištění: toto uspořádání je možné, v závislosti na typu skladu, pouze do určité výšky skladování. Existuje však výjimka a to u systémů, u nichž je na základě ohňových zkoušek ověřena možnost použití právě tohoto stropního jištění. Takovou deklaraci má například systém ESFR [1].

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Předmětem tohoto projektu je zhodnocení požární bezpečnosti vybraného objektu – skladu. Jedná se o sklad s novinovým papírem, kde je novinový papír v kartonových krabicích uložen na paletu a následně umístěn v regálech. Z důvodu výšky skladování bylo v tomto objektu navrženo sprinklerové stabilní hasicí zařízení. Předmětem tohoto řešeného příkladu je zkoumání a porovnávání účinnosti sprinklerů stropních a regálových a určení vhodnosti pro tento skladovací prostor.

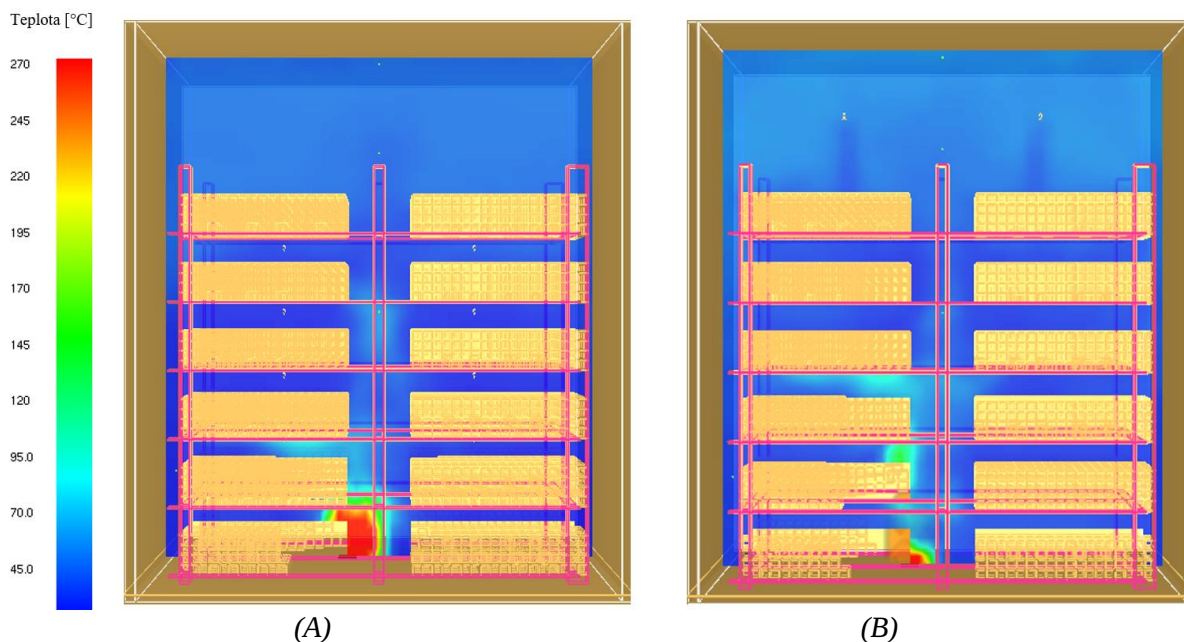
Porovnání stropních a regálových sprinklerů bylo provedeno v programu FDS (Fire Dynamics Simulator) s grafickou nástavbou PyroSim. Program je založený na simulacích modelování dynamiky tekutin CFD (Computational Fluid Dynamics), který plní funkci procesoru. Pre-procesorem byl již zmiňovaný program PyroSim a textový dokument Poznámkový blok. Post-procesorem je program Smokeview a tabulkový procesor Excel. V obou případech byl pro zapálení použit hořák s konstantním výkonem 2500 kW na ploše 0,08 m². Tento hořák byl spuštěn v čase 00:00:01. Sledována byla aktivace prvního sprinkleru (obr. 2).



Obr. 2 (A) Regálové sprinklery, aktivace 1. sprinkleru (čas 00:01:00),
(B) Stropní sprinklery, aktivace 1. sprinkler (čas 00:01:36)

Fig. 2 (A) Rack sprinklers, activation of the first sprinkler (time 00:01:00),
(B) Ceiling sprinklers, activation of the first sprinkler (time 00:01:36)

Dalším sledovaným parametrem byl čas, kdy došlo k uhašení požáru a hořel pouze hořák. Tento stav je zobrazen na obr. 3.



Obr. 3 (A) Regálové sprinklery, uhašení požáru (čas 00:05:12),

(B) Stropní sprinklery, uhašení požáru (čas 00:03:20)

Fig. 3 (A) Rack sprinklers, extinction of fire (time 00:05:12),

(B) Ceiling sprinkler extinction of fire (time 00:03:20)

Z předchozích obrázků vyplývá, že pro tento modelovaný prostor by bylo výhodnější použití stropních sprinklerů.

ZÁVĚR

Důvodem sepsání této seminární práce bylo okrajové objasnění problematiky samotných stabilních hasicích zařízení se zaměřením na sprinklerové zařízení ve skladech. Druhá část této práce se zabývá modelací příkladu užití sprinklerových zařízení a to dvojího druhu – regálových sprinklerů a stropních sprinklerů. Na základě mnou stanovených kritérií je jako výhodnější s daným prostorem zvolit sprinklery stropní.

LITERATURA

- [1] Rybář, Pavel. *Stabilní hasicí zařízení - vodní a pěnová*. Praha : Profesní komora požární ochrany, 2015.
- [2] Dinaburg, Joshua a Gottuk T., Daniel. *Fire Detection in Warehouse Facilities*. [PDF] Baltimore, MD, Maryland, USA : National Institute for Standards and Technology, 2012. Sv. Special Publication 1019 - Sixth Edition..
- [3] ČSN EN 12845. *Stabilní hasicí zařízení - Sprinklerová zařízení - Navrhování, instalace a údržba*. Praha : ÚNMZ, 2015

ANALÝZA DAT Z DATABÁZE SSU

DATA ANALYSIS FROM THE SSU DATABASE

Bc. Andrea Müllerová

Abstract

The main topic of the paper is the analysis of data from the SSU database. The SSU database is the firefighting database of the Czech Fire Brigade. Selected data on fire of buildings from the years 2009 - 2016 were provided by the Ministry of Interior - DG HZS CR. The state of the art summarizes the current state of knowledge. This includes short history about the SSU database and its development. The second part of the paper deals with data analysis from the SSU database. This analysis is primarily focused on comparing the data of the occurrence of fires in the buildings in the given period in the territory of the Czech Republic according to the object and evaluation of their impacts. In the conclusion of the paper an evaluation of the current data input into the system and suggestions that can serve for its improvement are introduced.

Key words: database; statistics; HZS CR; fire; occupancy; financial damages

ÚVOD

Databáze SSU (Statistické Sledování Událostí) je databází požárů HZS ČR. Z této databáze byla GŘ HZS ČR poskytnuta data, která obsahují 50 802 požárů budov v rozsahu let 2009-2016. Data byla zpracována a analyzována s ohledem na možné využití v požárně bezpečnostním inženýrství a v navrhování konstrukcí při požáru.

Zpracovaná analýza dat je primárně zaměřena na srovnávání dat vzniků požárů ve stavbách v daném období na území ČR dle účelu objektu a hodnocení jejich dopadů. V závislosti na účelu objektu se zaměřuje také na další data z databáze, a to na přímé škody, úmrtí, zranění, druh prostoru v místě vzniku požáru a případné uhašení stabilním hasicím zařízením v místě vzniku požáru.

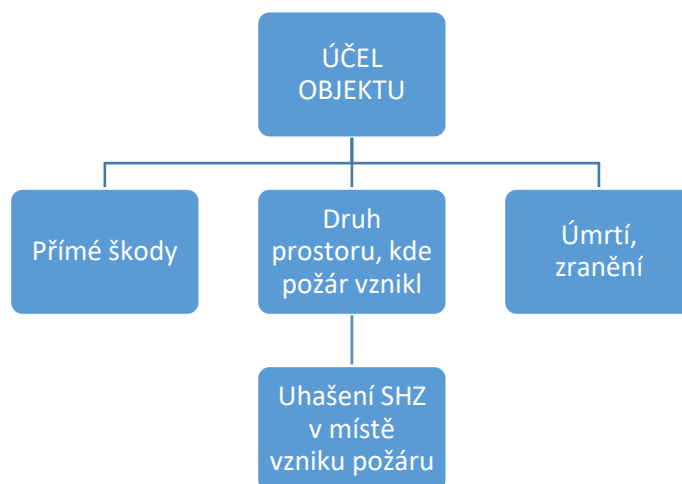
SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

Základy pro dnešní podobu databáze vznikly už v 70. letech 20. století. Cílem bylo získat podklady pro tvorbu předpisů a norem. Vyhodnocením dat se zabýval také PAVUS (= Požárně atestační a výzkumný ústav stavební v Praze). Výsledkem zkoumání byly vytvořeny stavební normy (ČSN 73 08xx). V 80. letech byla statistika požárnosti v ČSSR považována za jednu z nejlepších a postupně se díky počítačové technice zdokonalovala. Česká republika spolupracuje od roku 1993 s organizací World Fire Statistics Centre. Údaje slouží pro OSN k dalšímu využití a také jednotlivým zemím pro srovnání sledovaných ukazatelů. Prostředí databáze prošlo za své trvání značným vývojem a od roku 2006 vznikají nové zadávací a vyhodnocovací moduly, které jsou komfortnější. Tyto moduly se ročně upravují. Pro sběr dat se dříve využívalo disket, které jsou dnes nahrazeny využíváním internetu. Od vzniku databáze se také měnilo množství zaznamenávaných údajů. Vzhledem k postupně narůstajícím složkám IZS přibývají údaje o sledování dalších druhů mimořádných událostí. Databáze postupně obsahuje i propojovací údaje se statistikou policie ČR, včetně statistiky dopravních nehod. Do databáze zadávají informace velitelé zásahů, příslušníci operačních středisek a příslušníci pro zjišťování příčin vzniku požáru.

Statistika SSU slouží jako jeden z podkladů pro mezinárodní konference a výstavy. Podílí se také na publikační činnosti, především v časopise 112 a tvorbě statistických ročenek. Tyto ročenky vycházejí pravidelně každý rok a jsou přístupné veřejnosti na internetových stránkách [4]. Sloužila jako podklad pro vypracování metodiky ke statistickému zjišťování nákladů na požární odolnost. Stala se také častým podkladem pro diplomové práce studentů zejména VŠB, ČVUT, UJEP a dalších konkrétních problematik. Byla také u koncepční práce a podílu na brožuře „Hasiči a záchranáři na přelomu tisíciletí“.

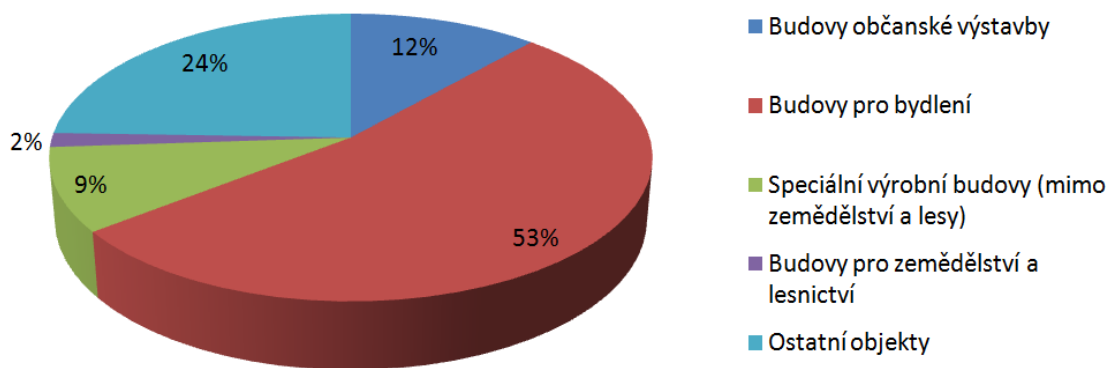
ANALÝZA DAT

Analýza dat z databáze SSU jsou zpracovány a graficky znázorněny pomocí grafů a tabulek. Pro vlastní analýzu bylo vytvořeno schéma, které je zřejmé z obr. 1.



Obr. 1 Grafické schéma analýzy dat
Fig. 1 Graphical scheme of the data analysis

Z databáze SSU byly analyzovány hodnoty počtu vzniku požárů v daném období dle účelu objektu. Objekty dle účelu jsou rozděleny do pěti základních skupin, které jsou zřejmé z obr. 2. Analýzou dat bylo zjištěno, že největší počet požárů za sledované období vznikl v budovách pro bydlení. Ostatní objekty (např. opuštěné budovy a objekty určené k demolici, kůlny a dřevníky nebo provizorní objekty, věže a stožáry) jsou na druhé pozici. Dále pak budovy občanské výstavby, speciální výrobní budovy (mimo zemědělství a lesy) a nejméně požárů vzniklo v budovách pro zemědělství a lesnictví. Jednotlivé základní skupiny byly rozděleny na menší podskupiny a v těchto podskupinách bylo dále podrobněji analyzováno množství vzniku požárů.



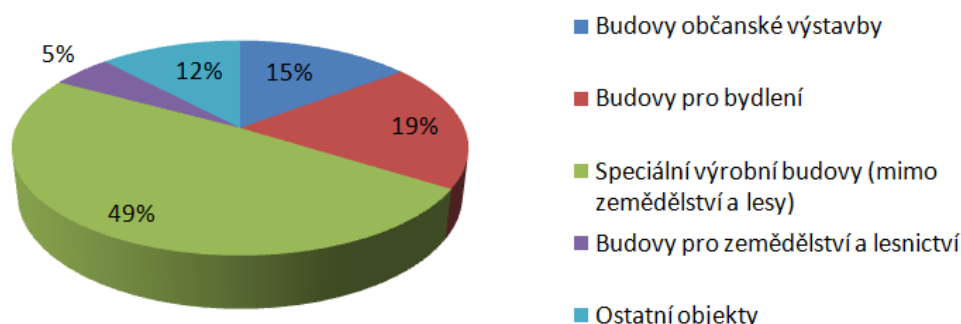
Obr. 2 Množství požárů dle účelu objektu
Fig. 2 Fires according to the purpose of the object

Následně byla analyzována data na základě druhu prostoru, kde požár vznikl v závislosti na účelu objektu. Tudíž pro každou skupinu objektů dle účelu byly zjištěny kritické prostory, kde požár nejčastěji vzniká a na které by se měl při navrhování požární bezpečnosti klást důraz. Druhy prostoru, kde vznikl požár, jsou rozděleny do šesti tříd a jedné třídy nezjištěné. Ve skupině „budovy občanské výstavby“ bylo zjištěno, že největší počet požárů za sledované období vznikl v prostorech třídy 5 – bydlení, kanceláře, služby, sociální zařízení. Ve skupině „budovy pro bydlení“ největší počet požárů vznikl v prostorech třídy 6 – ostatní prostory u budov. Ve skupině „speciální výrobní budovy“ největší počet požárů vznikl v prostorech třídy 1 – výroba a údržba. Ve skupině „budovy pro zemědělství a lesnictví“

největší počet požárů vznikl v prostorech třídy 2 – skladování a obchod. Ve skupině „ostatní objekty“ největší počet požárů vznikl v prostorech, které nebyly zjištěny nebo byly nezatřeny.

Následně bylo zjišťováno, kolik požárů za dané období bylo uhašeno SHZ v závislosti na prostoru vzniku požáru. Z dostupných dat je zřejmé pouze to, zda byl požár uhašen SHZ nebo nikoliv. Pokud požár uhašen SHZ nebyl, tak tato skutečnost neřeší otázku, zda bylo SHZ v objektu nainstalováno a nebylo plně funkční nebo zda v objektu vůbec nebylo. Proto může být tato analýza vlivem nedostatečných informací značně zkreslená. Největší počet požárů za sledované období byl uhašen SHZ v prostorech třídy I – výroba, údržba.

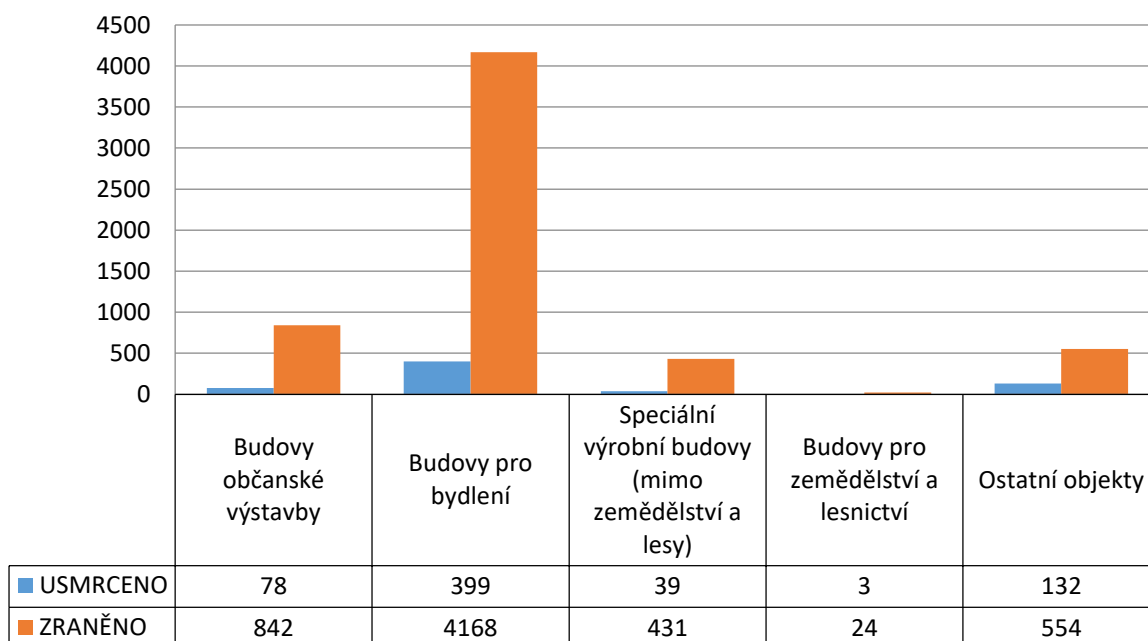
Dále bylo analyzováno, jak velké škody (v tis. Kč) v závislosti na účelu objektu byly požárem za sledované období způsobeny. Hodnoceno bylo základních pět skupin dle účelu objektu. Největší škody byly zaznamenány u požárů Speciálních výrobních budov. Tyto škody činí téměř polovinu přímých škod ze všech požárů. Výsledný graf je znázorněn na obr. 3.



Obr. 3 Přímé škody dle účelu objektu

Fig. 3 Financial damages based on the purpose of the object

V poslední části byla zhodnocena úmrtnost a zranění osob při požáru dle účelu objektu za sledované období. Největší počet usmrcených a zraněných osob v celkovém součtu za sledované období byl při požárech budov pro bydlení. Výsledný graf je znázorněn na obr. 4.



Obr. 4 Počet usmrcených a zraněných osob dle účelu objektu

Fig. 4 Killed and injured persons based on the purpose of the object

ZÁVĚR

Analýzou byla zjištěna data vzniků požárů ve stavbách dle účelu objektu. V této souvislosti byly hodnoceny prostory, kde požár v těchto objektech nejčastěji vzniká. Byly zhodnoceny přímé škody v jednotlivých objektech, počet úmrtí a zranění a uhašení stabilním hasicím zařízením v místě vzniku požáru.

Doporučením pro současné zadávání dat do systému, které by mohlo sloužit pro jeho zlepšení je jednotné zadávání informací do systému. V databázi se některá vstupní data liší i přes jejich stejný význam (např. Jihomoravský/Jihomoravský kraj). Tato sjednocení by zjednodušila a urychlila filtraci potřebných údajů při tvoření statistik. Dalším doporučením je přidání některých položek, a to například konstrukční systém ze statického hlediska a materiálového řešení.

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří především Ing. Kamile Cábové, Ph.D. za rady a pomoc při zpracování semestrální práce a kpt. Ing. Martinu Podjuklovi z GR HZS ČR za poskytnutí dat z databáze SSU a dalších cenných podkladů pro zpracování.

LITERATURA

- [1] VONÁSEK, Vladimír. Zaznamenávání údajů o mimořádných událostech v České republice z pohledu historie.
- [2] NÁVOD k vypracování a použití „Dílčí zprávy o zásahu“, „Zprávy o zásahu“ a „Zprávy o činnosti“. *MINISTERSTVO VNITRA, generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR*. Praha, 17. prosince 2015.
- [3] VYHLÁŠKA Ministerstva vnitra 246/2001 o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci). *Sbírka zákonů*. Ze dne 29. června 2001.
- [4] Statistické ročenky Hasičského záchranného sboru ČR [online], HZS ČR. Dostupné z WWW <http://www.hzscr.cz/clanek/statisticke-rocenky-hasicskeho-zachranneho-sboru-cr.aspx>.

ANALÝZA RIZIK ŠÍŘENÍ ÚČINKU POŽÁRU VZDUCHOTECHNICKÝMI SYSTÉMY

ANALYSIS OF FIRE SPREAD THROUGH VENTILATION SYSTEM

Bc. Magda Petráková

Abstract

The subject of this article is a fire risk analysis from ventilation systems. The first part is devoted a general knowledge. There are described the basic ventilation systems of residential buildings, air-conditioning piping and insulation materials and fire-proof components fitted to the pipeline. The second part deals with temperature detection in the ventilation duct in case of a fire in room. Example is modeled in the FDS software. A total of four variants of the example have been examined, differing in the application of fire-proof pipe insulation and the installation of ventilation ducts.

Key words: ventilation system; duct; fireproof insulation; fire damper; Fire Dynamics Simulator (FDS)

ÚVOD

V současnosti jsou v objektech v hojné míře navrhovány i rekonstruovány VZT (vzduchotechnické) systémy, které je nutné řešit i z hlediska požární bezpečnosti. Hlavní problém je v první řadě šíření účinku požáru mezi jednotlivými požárními úseky. Slabými místy jsou především prostupy požárně dělicími konstrukcemi, které v praxi nejsou často kvalitně a odborně provedené, v nejhorším případě nejsou řešené vůbec. To přináší velké riziko jak pro osoby, tak pro stavbu samotnou. Účinky požáru se tak mohou nekontrolovatelně šířit do sousedních požárních úseků. Článek stručně popisuje problematiku VZT systémů a navazuje řešeným příkladem simulace šíření účinků požáru VZT potrubím.

VZDUCHOTECHNICKÉ SYSTÉMY

Přirozené způsoby větrání nejsou příliš stabilní. Trendem poslední doby je snižování nákladů na energie a vytápění. Jsou kladeny vyšší nároky na dostatečnou tepelnou ochranu obálky budovy a přirozený způsob větrání je považován za nedostatečný. Proto se dnes k větrání vnitřních prostor používají převážně nucené způsoby větrání a přistupuje se k návrhu vnitřních VZT systémů. Způsoby větrání obytných budov můžeme rozdělit na nucené podtlakové větrání, nucené rovnotlaké necentrální a hybridní větrání. Tyto systémy je možné dále dělit podle umístění hlavního větracího prvku (ventilátoru) na centrální a lokální [1], [2].

VZDUCHOTECHNICKÉ ROZVODY

Vzduchovod je potrubní rozvod slouží k dopravě přívodního a odvodního větracího vzduchu. V dnešní době se pro výrobu VZT potrubí používá především kovový materiál, a to pozinkovaný plech, ale stále častěji se uplatňuje i použití plastových potrubí, například z PVC. Tvary průřezů se používají nejčastěji buď čtyřhranné, nebo kruhové. Důležitou součástí VZT potrubí je i jeho izolace, kterou můžeme rozdělit na tepelnou, protihlukovou a požární. Nejvhodnější materiál pro požární izolaci je anorganický materiál na bázi minerálních látek. Minerální izolace jsou nehořlavé materiály s třídou reakce na oheň A1 nebo A2 [3]–[5].

POŽÁRNÍ UZÁVĚRY NA VZDUCHOTECHNICKÉM POTRUBÍ

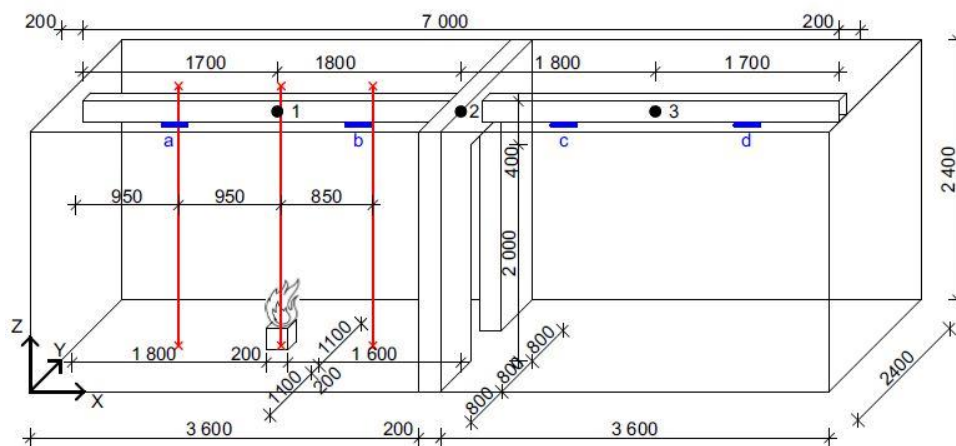
Z důvodů zamezení šíření účinků požáru VZT systémy mezi jednotlivými požárními úseky se na hranici těchto úseků v požárně dělicích konstrukcích, případně v jejich blízkosti navrhuje osazení požárních klapek. Pro požární uzavření koncových elementů VZT potrubí se na potrubí osazují požární stěnové uzavěry nebo požární ventily.

Požární klapky se řadí mezi pasivní požárně bezpečnostní zařízení. Hlavním úkolem požární klapky je uzavření požárně nechráněného VZT potrubí v místě prostupu potrubí požárně dělicí konstrukcí. Požární klapky se dělí na dva typy. Prvním typem jsou klapky, které se uzavírají lokálně pouze na základě aktivace tepelné pojistky. Druhým typem jsou klapky s elektromotorem napojeným na EPS a tepelnou pojistkou. Výrobní řada požárních klapek je s požární odolností 30, 60, 90, případně i 120 minut [6]. V ČR se vyrábí klapky s požární odolností převážně 90 minut, což vyhovuje maximálnímu požadavku dle normy ČSN 73 0872 [7].

MATEMATICKÝ CFD MODEL ŠÍŘENÍ ÚČINKU POŽÁRU VZDUCHOTECHNICKÝM POTRUBÍM

Model má za úkol názorně ukázat, jakých teplot může být dosaženo ve VZT potrubí v případě vzniku požáru v místnosti. V souvislosti s problematikou šíření účinků požáru vnitřními prostory jsou v dnešní době dostupné matematické nástroje pro modelování pohybu tekutin CFD (Computational Fluid Dynamics) [8]. Pro simulaci modelu byl zvolen výpočetní program FDS verze 6.5.2. V první řadě byly zaznamenány veškeré potřebné příkazy pro zadání geometrie místnosti a potrubí a jejich materiálových vlastností a dále vlastnosti zdroje požáru.

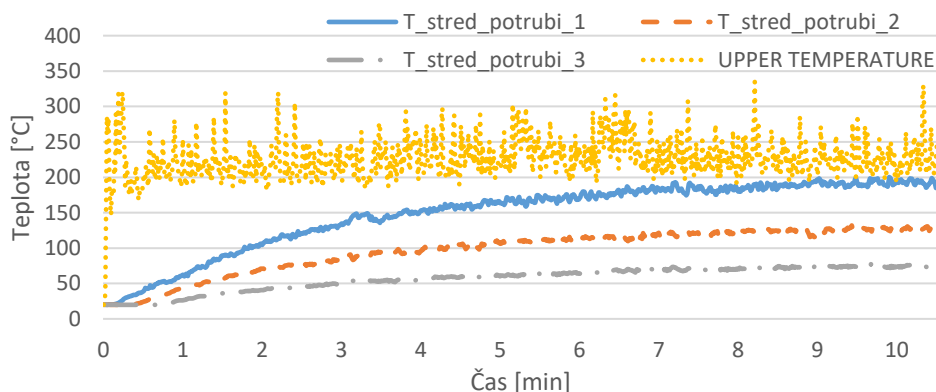
Příklad simuluje jednoduchou místnost (obr. 1) pro Room Corner Test (RCT) dle ČSN EN 14390 [9]. Tato místnost byla zvolena na základě daných rozměrů místnosti, ventilačního otvoru a výkonu požáru. Vnitřní rozměry místnosti jsou $3,6 \times 2,4 \times 2,4$ m. Veškeré obvodové konstrukce místnosti jsou betonové. Zedř dělicí vnitřní a vnější prostor má tloušťku 0,2 m, ve středu této stěny je osazen ventilační dveřní otvor o rozměrech $0,8 \times 2,0$ m. Pro žádanou simulaci šíření účinku požáru VZT potrubím je pod stropní konstrukcí osazeno horizontální VZT potrubí z pozinkovaného plechu o čtvercového průřezu $0,2 \times 0,2$ m. Potrubí je na svém konci v místnosti uzavřené a na konci vně otevřené. Výpočetní síť byla zvolena o velikosti buňky $100 \times 100 \times 100$ mm, v místě potrubí byla síť zjemněná na velikost buňky $50 \times 50 \times 50$ mm. Požár simuluje propanový hořák o konstantním výkonu 300 kW. Výpočetní čas by stanoven na 600 s.



Obr. 1 Simulovaná místnost RCT
Fig. 1 Simulated room RCT

Pro sledování teploty v potrubí byly do středu průřezu potrubí instalovány celkem tři termočlánky, dále byla sledována teplota horní kouřové vrstvy ve třech sledovaných místech a následně byly tyto hodnoty zprůměrovány. Rozložení termočlánků představují body s čísly 1, 2 a 3 a polohu měření teploty horní kouřové vrstvy znázorňují svislé úsečky v prostoru místnosti (obr. 1). Teplota horní kouřové vrstvy byla zjišťována při výpočtu bez instalace VZT potrubí v jednotné výpočetní síti 100×100 mm.

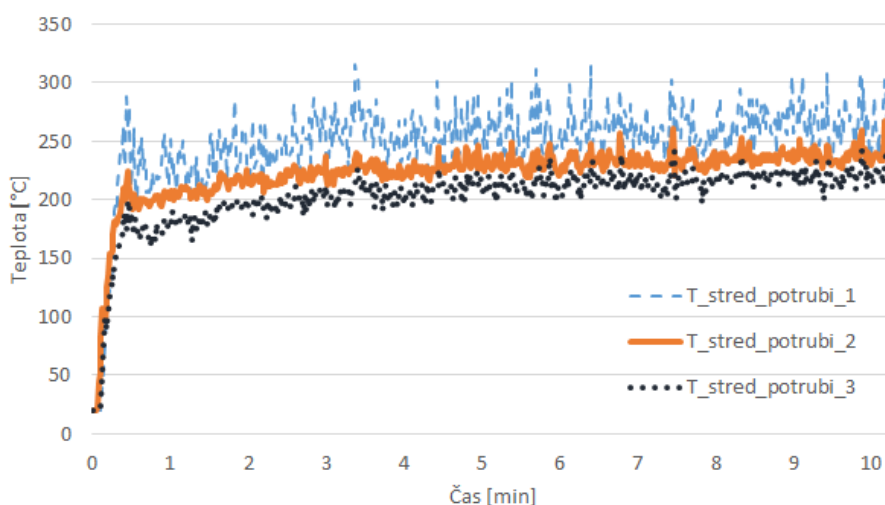
Příklad řeší celkem čtyři varianty. Tyto varianty se liší v aplikaci požární izolace tl. 50 mm a v umístění větracích vyústek o rozměru 200×200 mm na spodním líci potrubí. Varianta 1 řeší samostatné VZT potrubí z pozinkovaného plechu bez aplikace požární izolace a bez umístění větracích vyústek. Názorný průběh teplot je vidět na obr. 2. Veliké výkyvy křivky horní teploty kouře jsou způsobeny hrubostí výpočetní sítě. Nárůst teplot v potrubí je vidět pozvolný v závislosti na vzdálenosti měřícího zařízení (termočlánu) od zdroje požáru.



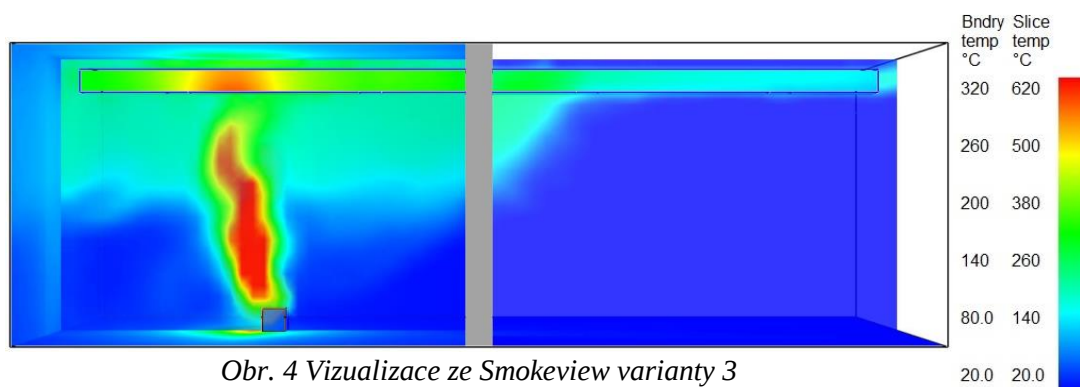
Obr. 2 Graf průběhu teplot v čase varianty 1
Fig. 2 Graph of time flows variant 1

Varianta 2 řeší VZT potrubí z pozinkovaného plechu s aplikací požární izolace z minerální vaty tl. 50 mm, bez umístění větracích vyústek. Nárůst teplot v potrubí je nepatrný. Maximální hodnota teploty v potrubí dosahuje 28°C . Byl tak splněn předpoklad požární izolace, která zabránila průniku tepelných účinků do VZT potrubí.

Varianta 3 řeší samostatné VZT potrubí z pozinkovaného plechu bez aplikace požární izolace, s umístěním čtyř větracích vyústek o rozměrech 200×200 mm při spodním líci potrubí označené písmeny a - d na obr. 1. Názorný průběh teplot je vidět na obr. 2. Křivka průběhu teploty horní kouřové vrstvy, není z důvodu přehlednosti průběhů křivek znázorněná, i přesto platí stále stejný průběh jako v předešlém grafu (obr. 2). Nárůst teplot v potrubí je oproti předešlým variantám vysoký. Je tak evidentní, že šíření účinků teplot je velmi ovlivněno vložením větracích vyústek. Horký plyn se do potrubí dostává snáze a nárůst teplot v potrubí je proto tak razantní. Názorné rozložení teploty po povrchu konstrukcí můžeme vidět na obr. 3, kde je vidět teplota plynu vystupujícího z potrubí v pravé části. Tato teplota dosahuje cca 200°C .



Obr. 3 Graf průběhu teplot v čase varianty 3
Fig. 3 Graph of time flows variant 3



Obr. 4 Vizualizace ze Smokeview varianty 3
Fig. 4 Visualization from Smokeview variant 3

Varianta 4 řeší VZT potrubí z pozinkovaného plechu s aplikací požární izolace z minerální vaty tl. 50 mm, s umístěním čtyř větracích vyústek o rozměrech 200 × 200 mm při spodním lici potrubí označené písmeny a - d na Obr.. Nárůst teplot v potrubí se oproti předešlé variantě bez požární izolace příliš nemění. Maximální hodnota teploty v potrubí dosahuje 335 °C nad zdrojem požáru v termočlánku č. 1. Maximální hodnota teploty v potrubí je tedy vyšší než v předešlé variantě bez požární izolace. Tento případ je zapříčiněn z důvodu zabránění izolace v ochlazování potrubí vnějším prostředím, a tak izolování potrubí, proto jsou teploty v potrubí vyšší.

ZÁVĚR

Článek měl za úkol čtenáře okrajově seznámit s problematikou VZT systémů používaných v obytných budovách. Řešený příklad pomohl objasnit a názorně ukázat jakých teplot může být dosaženo ve VZT potrubí v případě požáru v místnosti. Bylo ověřeno, že požární izolace splňuje předpoklad a izoluje potrubí proti působení tepelných účinků požáru v případě, kdy je odborně a kompletně aplikována na potrubí. V případě aplikace větracích vyústek bylo evidentní, že tyto otevřené prvky v potrubí ovlivňují proudění horkých plynů. V potrubí s vyústkami bylo dosahováno vyšších teplot oproti teplotám v potrubí bez vyústek. Z poslední řešené varianty bylo odvozeno, že současná aplikace požární izolace a požárně nezabezpečených vyústek je naprosto nereálná kombinace. V tomto případě by bylo vhodné vyústky opatřit například požárním ventilem, kdy by bylo docíleno kompletnosti protipožární ochrany.

LITERATURA

- [1] PAPEŽ, K. *Energetické a ekologické systémy budov 2: vzduchotechnika, chlazení, elektroinstalace a osvětlení*. Praha: ČVUT, 2007.
- [2] ZMRHAL, V. *Větrání rodinných a bytových domů*. Praha: Grada, 2014.
- [3] GEBAUER, G. et al. *Vzduchotechnika*. Brno: ERA group spol. s r. o., 2005.
- [4] KOVERDYNŠKÝ, V. „Protipožární izolace vzduchovodů - část 1“, TZB-info, 2010. [Online]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/7025-protipozarni-izolace-vzduchovodu-cast-1>.
- [5] KOVERDYNŠKÝ, V. „Protipožární izolace vzduchovodů - Část 2“, TZB-info, 2011. [Online]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/7094-protipozarni-izolace-vzduchovodu-cast-2>.
- [6] TOMAN, S. „Protipožární ochrana vzduchotechnických potrubních prostupů“, TZB-info, 2005. [Online]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/2418-protipozarni-ochrana-vzduchotechnickych-potrubnich-prostupu>.
- [7] ČSN 73 0872, *Požární bezpečnost staveb. Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením*. Praha: ÚNMZ, 1996.
- [8] WALD, F. et al., *Modelování dynamiky požáru v budovách*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2017.
- [9] ČSN EN 14390, *Požární zkouška - Velkorozměrová ověřovací zkouška výrobků pro povrchové úpravy*. Praha: ÚNMZ, 2007.

INTEGRACE A BEZPEČNOST KOMÍNOVÝCH SYSTÉMŮ V NÍZKOENERGETICKÝCH A PASIVNÍCH STAVBÁCH

INTEGRATION AND SAFETY OF CHIMNEY SYSTEMS AT LOW ENERGY AND PASSIVE BUILDINGS

Bc. Walter Sodomka

Abstract

The integration and safety of chimney systems in modern buildings is at present an essential aspect in their design. The primary goal is to point out problematic aspect of the high temperature of the outer surface of the chimney, when the chimney penetrates the insulated building structure. The introduction of the thesis summarizes the current state of knowledge in this field. Further, the thesis deals with the possibility of detecting the surface temperature of the chimney in the permeability of the roof structure. The first option is software computation, but this solution proved to be inaccurate and the values obtained can only be considered informative. The second most suitable option is to make real laboratory measurements, the range and design of which are processed here. Results from laboratory measurements should provide appropriate evidence to demonstrate this issue.

Key words: chimney; fire safety; surface temperature; thermal resistance; airtightness

ÚVOD

Komínové těleso je i v současné době staveb s nízkou spotřebou tepla na vytápění nedílnou součástí většiny moderních staveb. Zcela se však změnila okolní podmínky, za kterých jsou komíny provozovány. Moderní stavby jsou realizovány převážně z hořlavých materiálů, jsou vzduchotěsně uzavřeny a velmi dobře tepelně izolovány. Právě tyto skutečnosti by měly vést k co nejefektivnějšímu a nejbezpečnějšímu návrhu spalínové cesty, kterého lze dosáhnout pouze optimalizací provozu a individuálním řešením umožňujícím bezpečný provoz [1].

Cílem práce je upozornit na problematiku aspekty návrhu a umístění komínového tělesa v nízkoenergetických a pasivních stavebách. Nejproblematictější místem na spalínové cestě je prostup komínu izolovanou střešní konstrukcí. Pokud je střešní konstrukce izolována izolačními materiály o větších mocnostech, může zde docházet k akumulaci tepla a v případě, kdy se v tomto prostoru zvýšenou naakumulovanou teplotou vyskytuje hořlavý materiál, může dojít ke vzniku požáru [2].

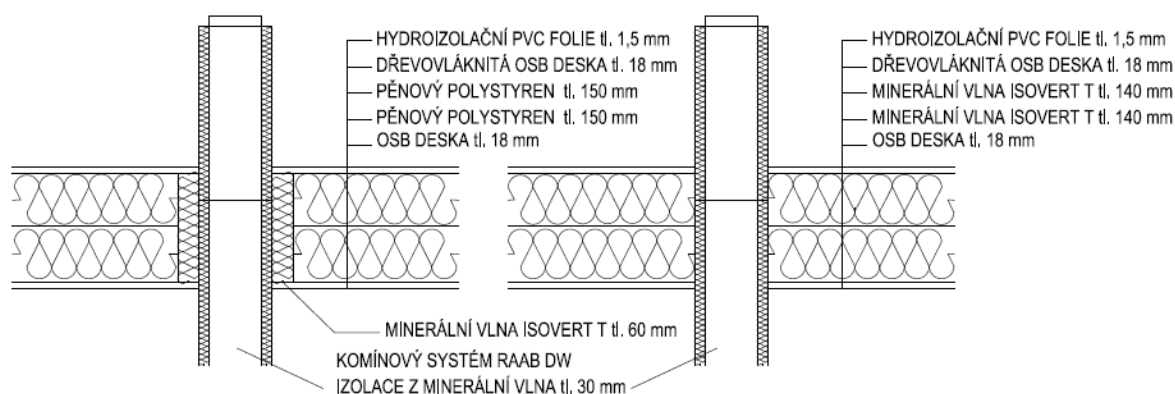
Tudíž byl jako nejvhodnější prostředek k demonstraci problematických aspektů začlenění komínového tělesa do moderní stavby vybrán prostup komínového tělesa střešní konstrukcí. Obsahem této práce je jak namodelovat prostup komínu střešní konstrukcí a pomocí softwaru získat vypovídající data o průběhu teplot v tomto stavebním detailu. V další části pak navrhnout možné laboratorní měření průběhu teplot při provozu spalínové cesty.

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Řešený příklad je rozdělen do dvou částí. První část tvoří návrh postupu laboratorního měření jako prostředku k co nejreálnější představě o průběhu teplot ve stropní konstrukci při provozu komínového tělesa. Druhá část je tvořena matematickým výpočtem v programu Area 2014 LT. Matematický model slouží k ověření předpokladů a k detailnímu zobrazení průběhu teplot. Oba dva přístupy dohromady by měly poskytovat ucelený náhled na tuto problematiku.

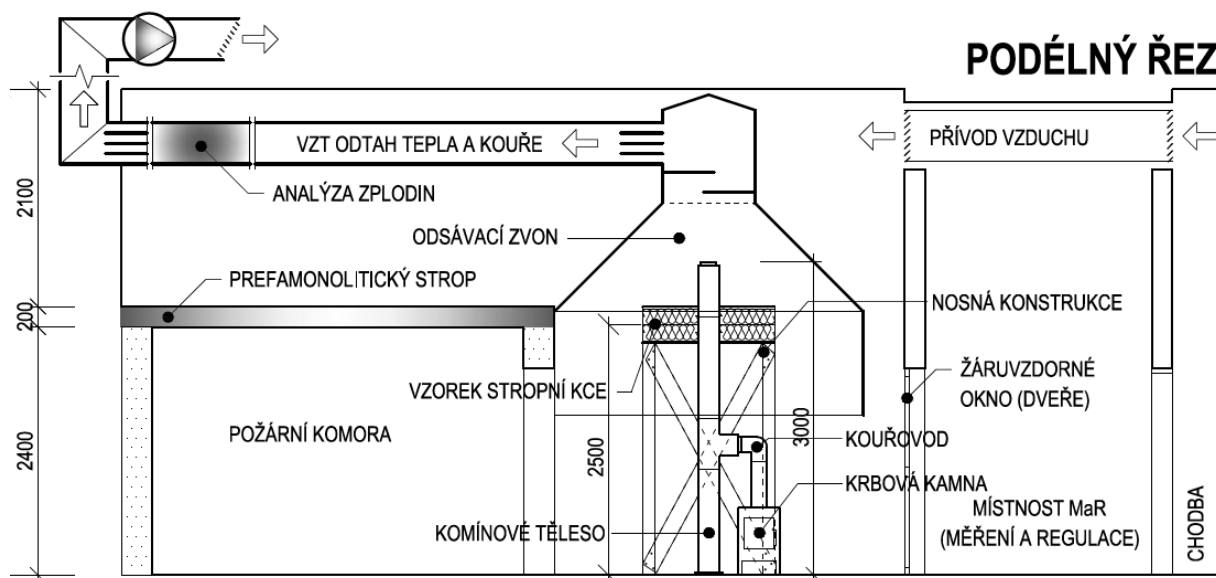
LABORATORNÍ MĚŘENÍ

Jako nejvhodnější prostředek k demonstraci průběhu teplot při prostupu komínového tělesa střešní konstrukcí se jeví laboratorní měření. To bude realizováno v požární laboratoři UCEEB ČVUT v Praze. Byly zvoleny dvě skladby střešních konstrukcí. Jedná se o nejběžnější skladby plochých nepochozích střech, které se liší použitým materiálem izolační vrstvy, minerální vata a pěnový polystyren. Skladba vzorků střešních plášťů je patrná z obr. 1.



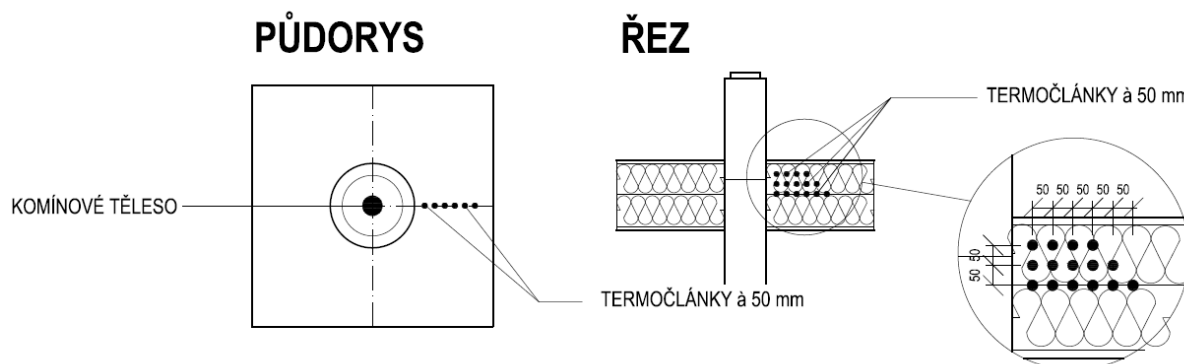
Obr. 1 Skladba vzorků stropních plášťů
Fig. 1 Sample composition of the roof sheaths

V rámci realizace laboratorního měření bude sestaven testovaný třívrstvý nerezový komín RAAB DW o vnitřním průměru DN 150 mm a o celkové výšce cca 3,0 m, který je určený pro klasická použití v interiéru i exteriéru budov. Komínové těleso bude sestaveno ze dvou metrových tvarovek, jedné půlmetrové, přípojovacího T-kusu a přípojovací zděře. Umístění komínu v požární laboratoři UCEEB je znázorněno na obr. 2.



Obr. 2 Schéma umístění měřeného vzorku v požární laboratoři UCEEB
Fig. 2 Schematic of the location of the measured sample in the UCEEB fire laboratory

Vzorky stropní konstrukce budou umístěny ve výšce cca ve 2,5 m nad podlahou na dřevěné nosné konstrukci. Na komín bude ocelovým kouřovodem připojen spotřebič na pevná paliva (krbová kamna). Takto sestavená spalínová cesta by měla co nejreálněji simulovat reálný provoz. V prostoru tepelné izolace vzorku střešní konstrukce bude umístěno celkem 15 termočlánků, jejichž umístění je patrné na obr. 3. Budou umístěny pouze v jedné rovině ve vzdálenosti 50 mm od sebe a ve třech řadách nad sebou a od sebe vzdálených také 50 mm. Termočlánky budou zaznamenávat hodnoty teplot každých 30 s po celou dobu experimentu.



Obr. 3 Rozmístění termočlánků ve vzorku střešní konstrukce
Fig. 3 Layout of thermocouples in the roof structure

Měření bude probíhat se dvěma různými vzorky skladby stropní konstrukce a vždy jednou pro komínové těleso vedené přímo stropní konstrukcí a jednou pro komínové těleso, které prochází stropní konstrukcí v žáruvzdorné šachtě. Bude se tudíž jednat o čtyři rozdílná měření, jejichž výsledkem bude čtyřikrát průběh teploty. Při vyhodnocení tak bude možné získat ucelený náhled na průběh teplot ve stropní konstrukci.

VÝPOČET SOFTWAREM AREA 2014 LT

Pro matematický výpočet byl vybrán a použit software Area 2014 LT [3]. Tento software je určen pro komplexní hodnocení stavebních detailů z hlediska dvourozměrného stacionárního vedení tepla. Geometrie a složení vzorků je totožné jako u laboratorního měření. Maximální teploty ukazují, jakých teplot lze při prostupu komínu střešní konstrukcí dosáhnout a maximální vzdálenost izotermie 100 °C od vnějšího povrchu komínového tělesa znázorňuje, v jaké vzdálenosti od něj se mohou vyskytovat hořlavé materiály [4]. Tyto hodnoty byly stanoveny při teplotách spalin 200, 300 a 400 °C v oblasti prostupu komínu střešní konstrukcí. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1 Výsledky průběhu teplot vypočtené softwarem Area 2014 LT

Tab. 1 Results of temperature ranges calculated by Area 2014 LT software

Označení	Teplota spalin [°C]	Max. teplota na povrchu komínu [°C]	Bezpečná vzdálenost pro hořlavé materiály [mm]
Volně vedené komínové těleso konstrukcí s izolační složkou z minerální vaty	200 °C	181,3	0,06
	300 °C	279,3	0,14
	400 °C	371,9	0,21
Komínové těleso vedené v žáruvzdorné šachtě konstrukcí s izolační složkou z minerální vaty	200 °C	95,0	0,00
	300 °C	158,7	0,05
	400 °C	216,4	0,13
Volně vedené komínové těleso konstrukcí s izolační složkou z polystyrenu	200 °C	195,2	0,06
	300 °C	292,3	0,15
	400 °C	375,3	0,21
Komínové těleso vedené v žáruvzdorné šachtě konstrukcí s izolační složkou z polystyrenu	200 °C	97,2	0,00
	300 °C	172,3	0,06
	400 °C	233,5	0,13

Spočtené hodnoty teplot na vnějším povrchu komínového pláště při použití izolační průchodky jsou výrazně nižší, než hodnoty u volně vedeného komínového tělesa. Co se týče rozdílných izolačních materiálů minerální vaty a polystyrenu, jsou výsledky velmi podobné. Při použití EPS lze předpokládat degradaci polystyrenu v blízkosti komínového pláště. Polystyren a minerální vata mají podobné hodnoty součinitele tepelné vodivosti, proto rozdíly nejsou velké. Liší se však měrná tepelná kapacita. Více patrné rozdíly mohou nastat u izolačních materiálů s menší hodnotou součinitele tepelné vodivosti, například izolační pěny, které budou více akumulovat teplo. Z tohoto důvodu by vhodné je využít i při laboratorním měření. Jaký bude mít skutečně vzrůstající teplota vliv na polystyren, se pomocí softwaru Area 2014 LT zjistit nedá. Reálné chování materiálu lze získat pouze za pomoci laboratorní zkoušky. Výpočetní model potvrdil předpoklady vycházející z odborných podkladů, avšak neposkytl přesný náhled na celou problematiku.

ZÁVĚR

Komíny v moderních stavbách s nízkou potřebou energie vyžadují individuální přístup k bezpečnému a efektivnímu zařazení do objektu. Na základě odborných článků bylo předpokládáno, že na povrchu komínového tělesa, které je vedeno izolovanou konstrukcí, dochází v izolačních materiálech o větší mocnosti k akumulaci tepla. Tyto předpoklady potvrdil i matematický model spočtený v programu Area 2014 LT, který však počítá s jakýmsi ustáleným, ideálním stavem. Reálný průběh teplot a reálné chování spalínové cesty lze za pomoci běžně dostupných softwarů simulovat velmi obtížně.

Jako nejvhodnější prostředek k demonstraci problematiky by mělo posloužit laboratorní měření, při kterém bude sestaven vzorek komínového tělesa, procházející stropní konstrukcí. V té budou umístěny termočlánky, které budou po celou dobu měření zaznamenávat teplotu. Data získaná z laboratorního měření by měla být dostatečným podkladem pro potvrzení vstupních předpokladů. V současné době vstupuje do matematického modelu až příliš mnoho neznámých a tudíž jeho výsledky se mohou s realitou rozcházet. Po provedení laboratorního měření bychom měli získat relevantnější data, na jejichž základě bude možné navrhovat spalínové cesty bezpečněji a efektivněji.

LITERATURA

- [1] LEPPÄNEN, Perttu, Timo INHA a Matti PENTTI. *An Experimental Study on the Effect of Design Flue Gas Temperature on the Fire Safety of Chimneys*. Fire Technology [online]. 2015, 51(4), 847-866 [cit. 2017-03-15]. DOI: 10.1007/s10694-014-0415-4. ISSN 0015-2684. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10694-014-0415-4>
- [2] NERI, M., P. LEPPÄNEN, S. BANI, M. PENTTI a M. PILOTELLI. *Experimental and Computational Study of the Temperatures Field Around a Chimney Roof Penetration*. Fire Technology [online]. 2016, 52(6), 1799-1823 [cit. 2017-03-16]. DOI: 10.1007/s10694-015-0540-8. ISSN 0015-2684. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10694-015-0540-8>
- [3] AREA 2014 LT. [software]. Verze 2014. Praha: K-CAD, spol. s r.o., 2014.
- [4] ČSN EN 15287-1+A1. *Komíny - Navrhování, provádění a přejímka komínů - Část 1: Komíny pro otevřené spotřebiče paliv*. Praha: ÚNMZ, 2011.

POROVNÁNÍ ÚČINNOSTI SPRINKLEROVÉ A MLHOVÉ VODNÍ CLONY Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ ÚČINKU POŽÁRU

COMPARISON OF WATER SPRAY AND MIST CURTAINS EFFICIENCY IN TERMS OF FIRE SPREAD

Bc. Vojtěch Trsek

Abstract

The seminar paper deals with heat transfer through a water curtain. The seminar defines both technical concepts associated with design of water curtains and physical laws that can describe the behaviour of water curtains. In the seminar paper the water curtain device with a more detailed focus on nozzles for water curtains, i.e. the flat fan nozzle is described. The core of the work is to describe all the phenomena that occur in the splash cone, including the effects of fire on cone. Last but not least, there is a simplified numerical design for a water curtain. In the computation part of paper, the heat flow is measured during the water vapor transmission. The example is simulated using a CFD model with FDS software.

Key words: water curtain; nozzle; spray pattern; flat fan; heat flux; radiation; CFD model; FDS

ÚVOD

Funkce vodní clony je založena na omezení sálavé složky tepla a snížení teploty prostupujících zplodin hoření. Princip je založen na odebírání tepla při odpařování kapek, tlumení tepelného záření absorpcí a rozptylem při průchodu vodní clonou. Při působení tepelného záření na vodní clonu lze pozorovat několik jevů:

- expanze vodních kapek při vypařování,
- vytěsňování kyslíku z prostoru hoření,
- zředění hořlavých plynů,
- omezení prostupu tepelného záření,
- změna proudění vzduchu na hranici vodní clony.

Funkci vodní clony ovlivňuje nejen působení tepelného zařízení, ale také provoz, velikost a větrání uvažované při požáru v daném požárním úseku. Vliv vodní clony na šíření požáru má pouze omezující účinek a navrhuje se tak proto často s požárním větráním.

VODNÍ SPREJOVÁ ZAŘÍZENÍ

Vodní sprejová zařízení spadají do skupiny stabilních hasicích zařízení, přičemž koncovými prvky jsou vodní sprejové hubice a k řízení dodávky vody do potrubního systému jsou použity zaplavovací ventilové stanice. Vodní sprejová zařízení zpravidla nejsou určena pro uhašení požáru, ale zejména pro ochlazování povrchů stavebních konstrukcí / technologických zařízení (skrápěcí zařízení) nebo pro omezení šíření sálavého tepla (vodní clony). Při instalaci sprejových zařízení za účelem uhašení požáru se jedná o sprejová SHZ. Vstupním údajem pro návrh sprejových zařízení je intenzita dodávky vody, jež je stanovena návrhovým dokumentem pro konkrétní provoz [1].

Požadavky pro návrh, instalaci a údržbu vodních clon jsou popsány v ČSN 73 0873 [2] příloze A. Příloha je pouze informativní a její použití tak není závazné. Dle čl. A. 2.4 [2] se u vodních clon požaduje samočinné spuštění a současné zavodnění všech hubic – otevřených výstřikovkových koncovek. Zavodnění systému vodní clony je tak závislé na aktivaci detekčního sprinkleru nebo na systému EPS, jež otevře řídicí ventil pro potrubní rozvody vodní mlhy.

TECHNICKÉ CHARAKTERISTIKY TRYSEK

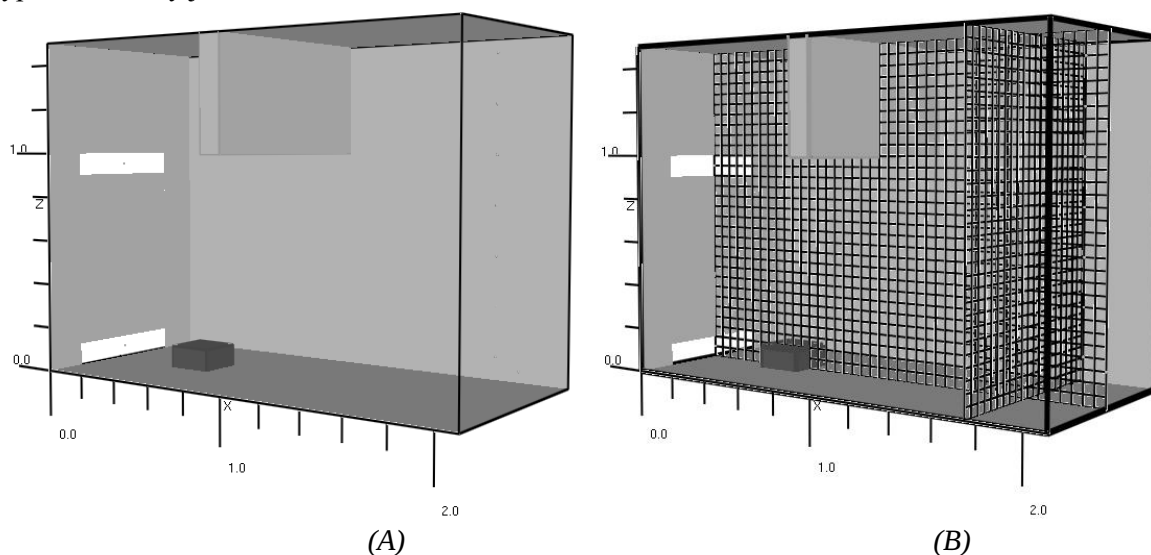
Konstrukce sprejové hubice oproti sprinklerové hlavici je podstatně jednodušší. Odpadá zde nutnost těsnění, seřizování a umístování tepelné pojistky. Sprejové hubice sestávají pouze z těla, jehož součástí je zpravidla i tříštič, který má za úkol tvorbu rozstříkového kužele. Po zformování rozstříkového kužele je nejdůležitějším faktorem pro účinnost vodní clony rozptyl vodních kapek. Čím jsou kapky menší, tím déle vydrží ve vzduchu a množství, jež se přemění na páru, roste. S odpařením vodních kapek dochází k odebrání tepla z prostoru.

SPREJOVÉ HUBICE

Pro vodní clony lze použít sprejové hubice, které se velmi podobají klasickým sprinklerům, ovšem neobsahují tepelnou pojistku. Další skupinou jsou mlhové hubice, jež pracují s vyšším provozním tlakem a díky konstrukci trysky zajišťují menší průměr kapek. Nejčastěji používanou skupinou hubic pro vodní clony jsou clonové hubice. Jedná se o trysky, jež jsou schopny efektivně pracovat při široké škále provozního tlaku a zároveň tvoří plochý výstřikový proud.

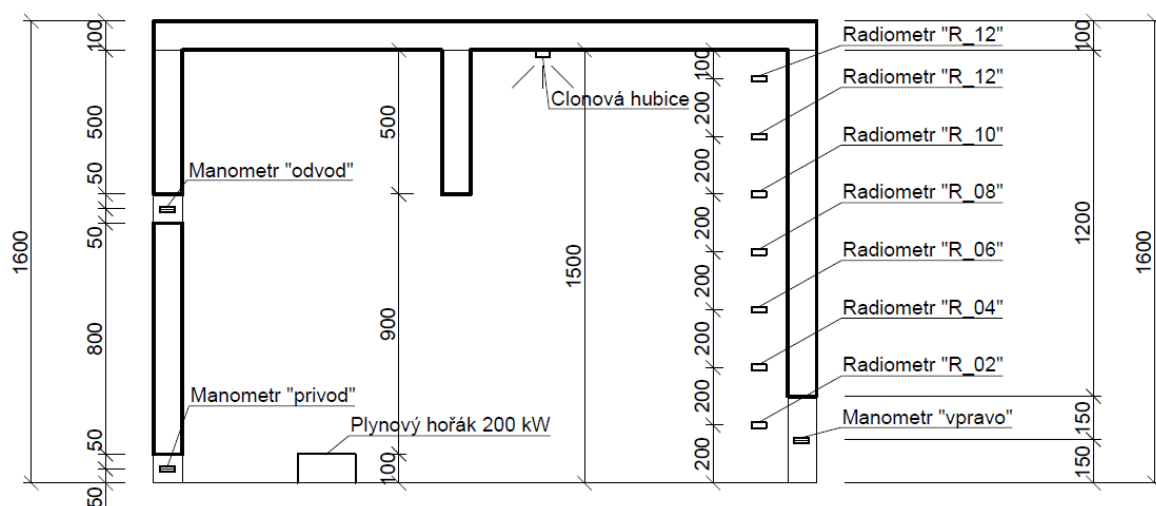
ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Pro praktickou část jsou namodelovány dva požární scénáře ve stejném výpočetním modelu v software FDS. Modelovaný prostor je zobrazen na obr. 1a, jemnost výpočetní sítě na obr. 1b. Délka hrany výpočetní buňky je 50 mm.



Obr. 1 Výpočetní model FDS: (A) Modelovaný prostor; (B) Výpočetní síť
Fig. 1 Computational model FDS: (A) Model area; (B) Mesh

Stěnový nosník uvnitř výpočetní oblasti simuluje požárně dělicí konstrukce, pod níž se nachází otvor, jenž je chráněn vodní clonou. Nalevo od nosníku se nachází zdroj požáru. V tomto prostoru je navrženo přirozené požární větrání, jež je simulováno dvěma otvory. Na základě komínového efektu lze očekávat přívod vzduchu spodním otvorem a odvod otvorem horním. Model tak simuluje možný návrh vodní clony, neboť zařízení vodní clony se navrhuje v součinnosti s požárním větráním. Pozice jednotlivých konstrukcí a otvorů je zobrazena na obr. 2.

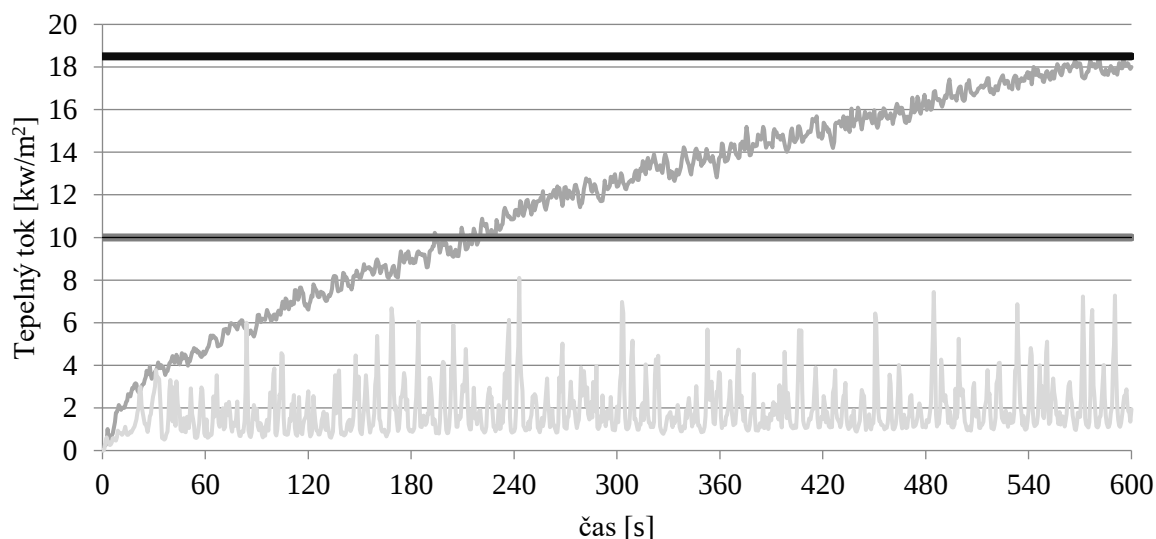


Obr. 2 Řez modelovým prostorem
Fig. 2 Vertical section

Větrání v prostoru je sledováno pomocí manometrů umístěných ve vodorovných osách jednotlivých otvorů. Hlavním sledovaným parametrem je však tepelný tok měřený pomocí radiometrů.

POŽÁRNÍ SCÉNÁŘE

Řešený příklad je postaven na dvou základních scénářích. V prvním požárním scénáři je měřen tepelný tok bez účinků vodní clony. Cílem je namodelování prostoru, kde hodnoty naměřené na radiometrech překročí hranici 10 a 18,5 kW/m². V druhém požárním scénáři se uvažuje s aktivovanou vodní clonou a je sledován útlum tepelného toku. V obou scénářích je sledován také průběh teplot a proudění vzduchu. Na průběh teplot má vliv mimo jiné proudění vzduchu, jež je ovlivněno kinetickou energií kapek směřujících shora dolů. V prostoru tak vznikají dva okruhy proudění vzduchu oddělené vodní clonou.



— Radiometr "R_14" bezclony — Hranice tepelného toku 18,5
— Hranice tepelného toku 10 — Radiometr "R_14" s clonou

Obr. 3 Porovnání maximálních naměřených hodnot tepelného toku
Fig. 3 Comparison of maximum values of heat flux

Na obr. 3 lze vyčíst data pro nejvýše umístěný radiometr "R_14 ", na kterém byly při obou požárních scénářích naměřeny nejvyšší hodnoty. Oproti prvnímu požárnímu scénáři je patrné, že naměřený tepelný tok dosahuje vyššího rozptylu a jeho hodnota není konstantní. Tento jev je způsoben především prouděním vzduchu v modelovaném prostoru. Hodnota tepelného toku na radiometru se při účinku vodní clony pohybuje pravidelně mezi hodnotami 1,5 až 4 kW/m². Útlum tepelného toku je značný a lze konstatovat, že vodní clona pro tento případ splní svůj účel.

ZÁVĚR

Návrh vodní clony se provádí na základě požadavků platné legislativy a účinnost vodní clony musí být doložena výpočtem (modelem), založeným na fyzikálních principech. Na základě znalostí o šíření účinků požáru je nutno se zabývat nejen radiační, ale také konvekční složkou sdíleného tepla. Výkyvy hodnot tepelného toku naměřené radiometry jsou způsobeny především prouděním zplodin hoření v prostoru. V praxi je nutno navrhovat současně s vodní clonou také požární větrání z prostoru, jež je zasažen požárem. Teplo sdílené prouděním se tak odvede pomocí odvětrávacích otvorů a na otvor chráněný vodní clonou pak působí především složka radiační.

LITERATURA

- [1] RYBÁŘ, Pavel. *Příklady použití stabilních hasicích zařízení v ochraně majetku a technologií*. Praha: Ministerstvo vnitra -generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, 2014. ISBN 978-80-86466-71-2.
- [2] ČSN 73 0873 - *Požární bezpečnost staveb - Zásobování požární vodou*. Praha: Český normalizační institut, 2003.

VIRTUÁLNÍ PEC PRO ZKOUŠKU POŽÁRNÍ ODOLNOSTI

VIRTUAL FURNACE FOR FIRE RESISTANCE TEST

Bc. Filip Zeman

Abstract

This article deals with creating a virtual furnace model. It is about a numerical model of a ceiling furnace for the fire resistance test of structures. For creating the virtual furnace software FDS (Fire Dynamics Simulator), which is based on the CFD (Computational Fluid Dynamics) is chosen. The model is based on an accurate representation of a real fire furnace of fire laboratory PAVUS a.s. located in the Czech Republic. It includes geometry of the real furnace, material properties of the furnace linings, burners, ventilation conditions and measurement devices. The model allows controlling of gas temperature and the static over pressure in the volume of the furnace as it is specified in requirements of European standard for fire resistance tests. The accuracy of the model is validated on results of two fire tests executed in the horizontal furnace. The results of the virtual furnace illustrate the great potential for investigating the thermal behaviour of fire-resistance tests.

Key words: gas temperature; fire resistance test; furnace model; CFD; FDS

ÚVOD

Pasivní požární ochrana staveb je tvořena stavebními konstrukcemi a jejich schopností odolávat účinkům požáru (požární odolnost konstrukcí dále jen PO). PO konstrukcí se může stanovit podle tabulek, výpočtem nebo zkouškou v akreditované zkušebně. Stanovení PO konstrukcí pomocí experimentální zkoušky bývá finančně velmi nákladné. Nicméně se tímto způsobem může zjistit PO konstrukcí, které mohou obsahovat nové materiály nebo mají atypické tvary a není tak možné je zařadit podle tabulek nebo stanovit jejich PO výpočtem. Experimentální zkoušení se provádí v akreditovaných evropských zkušebnách. V České republice je takto akreditována zkušebna Pavus a.s. ve Veselí nad Lužnicí. Zkoušení PO se provádí na horizontálních a vertikálních neboli stropních a stěnových pecích. Vytvořením takzvané „virtuální pece“, tedy vytvořením numerického modelu vhodnými softwary, je možné dosáhnout snížení počtu experimentálních zkoušek a redukovat tak jejich vysoké finanční náklady.

ZAHRANIČNÍ PRÁCE

První aplikací metody CFD pro modelování pece pro zkoušku požární odolnosti konstrukcí bylo v roce 1997 ve Velké Británii. Pomocí softwaru SOFIE (Simulation Of Fires In Enclouseres) byl vytvořen model stěnové pece. Pec byla zahřívána podle normové teplotní křivky (ISO 834). Zkoušeným vzorkem byla ocelová deska, která byla vložena doprostřed zkušební pece. Teplota plynu byla měřena pomocí osmnácti termočlánků. Výsledky ukázaly větší teploty v numerickém modelu oproti křivce ISO 834. Tato studie ukázala veliký potenciál ve využití metody CFD pro modelování zkoušek požární odolnosti konstrukcí [1].

Numerický model pece byl také vytvořen v Portugalsku v roce 2009. Cílem této práce bylo zjistit rozložení teplot uvnitř pece o vnitřním objemu 1 m³ za pomoci šestnácti deskových termočlánků. Na této malé peci byl proveden experiment s termočlánky. Plyn byl ohříván podle křivky ISO 834. Numerický model vytvořený v programu ANSYS Fluent odhalil lokální účinky hořáků na rozložení teploty v peci, ale celkové výsledky byly srovnatelné s provedeným experimentem [2].

Model pece z roku 2011 pochází z Francie. Použitým softwarem byl FDS5. Teplota a tlak v modelované peci byly řízeny podle normových požadavků EN 1363-1 na zkoušení požární odolnost. Následně byl model pece v FDS propojen se softwarem CAST3M. Toto propojení softwarů bylo použito pro návrh požární odolnosti sendvičových fasádních panelů [3].

Ve studii z Turecka z roku 2016 je popsán numerický model pece o vnitřním objemu 1 m³. Za pomoci programu ANSYS Fluent byly zkoumány účinky větracího otvoru v peci na vliv teploty. Výsledná teplota byla porovnána s křivkou ISO 834. Ve studii bylo ukázáno, že v počátcích simulace byl odtah plynů nedostatečný a v peci byly větší teploty oproti křivce ISO 834 [4].

EXPERIMENTÁLNÍ STUDIE

V rámci grantu č. 16-18448S proběhlo několik experimentálních zkoušek pro validaci virtuální pece. Experimenty se prováděly v požární zkušebně PAVUS, a.s. ve Veselí nad Lužnicí. Zkoušky byly realizovány na horizontální peci, viz obr. 1. Pec má vnitřní rozměry 3,0 m x 4,0 m v půdorysu a 2,16 m na výšku. Stropní pec byla ohřívána osmi plynovými hořáky, vždy čtyřmi na každé straně. Palivem pro ohřev pece byla směs zemního plynu a vzduchu. Měření teploty plynu uvnitř pece bylo zajištěno 16 deskovými termočlánky a 25 plášťovými termočlánky. Rozmístění termočlánků bylo ve třech výškových úrovních a třech podélných řezových rovinách.

Pro ověření správnosti modelu proběhlo několik experimentálních zkoušek. Prvním experimentem byla zkouška s prázdnou pecí. Zkouška byla rozdělena na dvě části. Při prvním ohřevu se plyn v peci zahříval podle normové teplotní křivky. V druhé části se pec ohřívala pomocí nastavného konstantního výkonu hořáků. Tento experiment sloužil pro získání hodnot výkonů hořáků pro numerický model a zjištění průběhu teplot v prázdné peci bez vlivu překážek. Druhým experimentem byla zkouška s ocelovým nosníkem IPE 400. Nosník byl zavěšen na čtyřech závitových tyčích, podélně pod stropem pece, tak aby mezi ním a stropem pece nevznikala vzduchová mezera. Naměřené průběhy teplot zahrnovaly vliv zkušební vzorku.



Obr. 1 Stropní pec v požární zkušebně Pavus, a.s.
Fig. 1 Horizontal furnace in fire laboratory Pavus, a.s.

Pro zkoušky požární odolnosti konstrukcí jsou velmi důležité evropské normové požadavky uvedené v normě EN 1363-1:2013. Mimo jiné tato norma uvádí dva základní požadavky na průběh zkoušky a těmi jsou teplota a rozdíl tlaku uvnitř a vně pece. V případě teploty se pec musí ohřívat podle křivky ISO 834, která je dána rovnicí:

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20$$

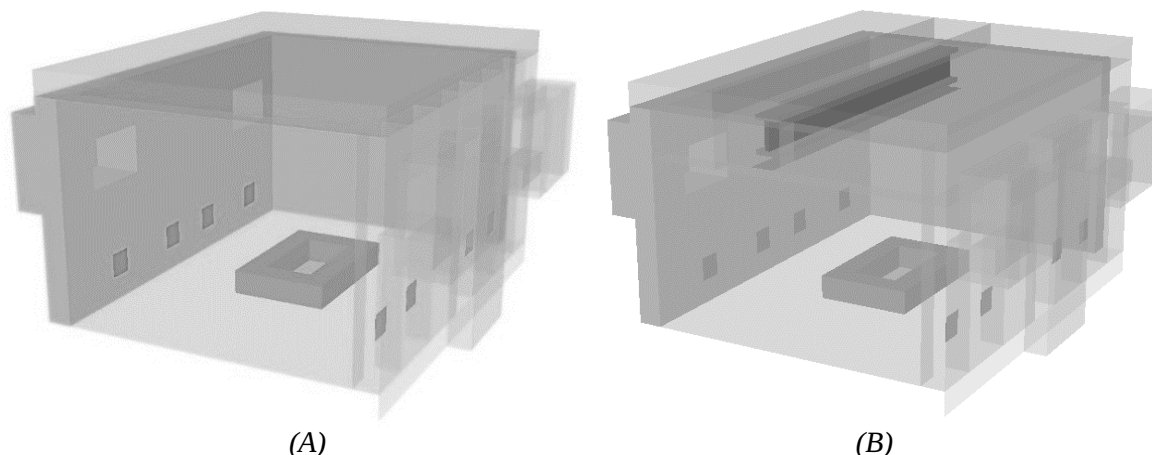
kde T je průměrná teplota v peci ve °C a t je čas v minutách. Norma dovoluje rozdíly teplot oproti křivce ISO 834 a to v mezích ± 100 °C. Rozdíl tlaku uvnitř pece musí být 20 Pa. Norma i v tomto případě dovoluje určité odchylky, a to v prvních 5 minutách ± 5 Pa a po uplynutí 10 minut zkoušky jsou limity ± 3 Pa. Při provedených zkouškách v prázdné peci i v peci s nosníkem byly tyto požadavky splněny.

NUMERICKÝ MODEL

Numerický model virtuální pece je vytvořen pro stropní pec pro zkoušku požární odolnosti stavebních konstrukcí v Pavus a.s. ve Veselí nad Lužnicí. Jedná se o pec, na které se prováděly experimenty zmíněné výše. Zvolený program pro vytvoření numerického modelu je FDS 6.5.4. Jedná se o program, který je založen na matematické metodě modelování CFD. Software FDS je například schopný modelovat tyto fyzikální jevy: přestup tepla mezi pevným povrchem a vzduchem, přestup tepla prouděním a sáláním, pyrolýzu pevných částic nebo hoření plyných produktů a mnoho dalšího [5]. Program FDS je proto vhodný pro vytvoření numerického modelu pece pro zkoušku požární odolnosti konstrukcí. Jako vizualizační program je použit Smokeview 6.4.2. Virtuální pec vychází z původní verze numerického modelu z diplomových prací Ing. Petry Novotné [6] a Ing. Nikoly Liškové [7]. V této práci je model zdokonalen. Na obr. 2 a) a 2 b) je ukázán numerický model pece.

Velikost výpočetní sítě je 4,5 m x 4,5 m x 3,0 m a vychází z velikosti kontrolních objemů o rozměrech 250 mm x 250 mm x 250 mm. V případě modelu s ocelovým nosníkem je výpočtová síť kolem nosníku zjemněna na 50 mm x 50 mm x 50 mm. Materiálové vlastnosti povrchů v modelu jsou z technických listů výrobců skutečné pece a jsou převzaty z diplomových prací [6, 7]. Hlavním bodem zdokonalení modelu je simulace regulování rozdílů tlaků uvnitř a vně pece. Po vzoru skutečné pece je v modelu v podlaze vytvořen otvor pro odtažení. Podle měření rozdílů tlaků a dosažení některé z limitních hodnot během simulace dochází k vypínání a zapínání ventilátoru o výkonu 2,0 m³/s.

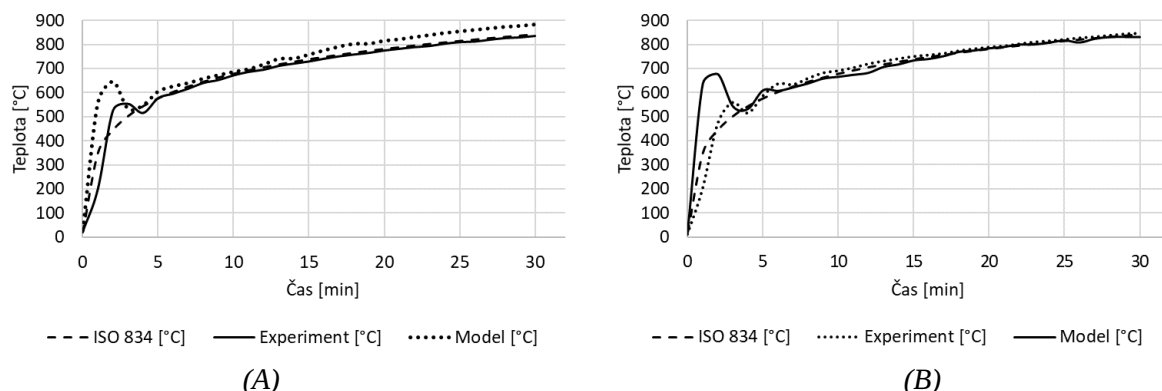
Simulace měření teploty plynu v modelu je zavedena pomocí příkazu „Thermocouple“, který simuluje teplotu naměřenou plášťovým termočlánekem během experimentu. Příkaz „Adiabatic surface temperature gas“ slouží k simulaci naměřené teploty pomocí deskových termočláneků. Umístění senzorů teplot v modelu odpovídá umístění během experimentálních zkoušek a velikosti kontrolních objemů.



Obr. 2 A) Model prázdné pece; B) Model pece s ocelovým nosníkem
Fig. 2 A) Empty furnace model; B) Model with steel beam

VALIDACE MODELU

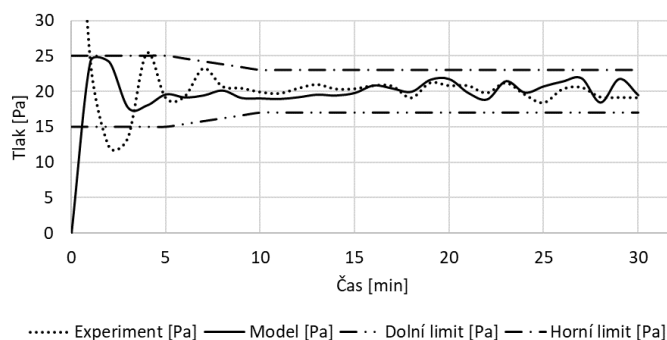
Pro správné ověření funkčnosti modelu prázdné pece je potřeba model validovat. Validace modelu je provedena pomocí výsledků z experimentálních zkoušek ve zkušebně Pavus ve Veselí nad Lužnicí. Porovnání je provedeno pomocí teplot naměřených plášťovými, deskovými termočláneků a křivkou ISO 834. Na obr. 3 a) je porovnání průměrných teplot z deskových termočláneků z prázdné pece. Obr. 3 b) porovnává naměřené teploty plášťových termočláneků z pece s ocelovým nosníkem.



Obr. 3 A) Průměrná teplota deskových termočlánků prázdná pec; B) Průměrná teplota plášťových termočlánků pec s ocelovým nosníkem

Fig. 3 A) Average temperature of plate thermometers empty furnace; B) Average temperature of coated thermocouples furnace with steel beam

Důležitou součástí je již zmiňovaný průběh rozdílu tlaku uvnitř a vně zkušební pece s hodnotou kolem 20 Pa. Porovnání virtuální pece s experimentální zkouškou a limity danými normou jsou na obr. 4. Maximální výkon ventilátoru 2,0 m³/s se v tomto případě zdá být dostatečný a rozdíl tlaků je po celou dobu simulace v mezích stanovených normou.



Obr. 4 Tlak vně a uvnitř pece
Fig. 4 Pressure outside and inside the furnace

ZÁVĚR

Virtuální pec vykazuje dobré výsledky v oblasti teploty plynu a řízení tlaku uvnitř pece pomocí ventilace. Model je možné zdokonalit zpřesněním okrajových podmínek (např. zavedením materiálových vlastností závislých na teplotě). Dalším krokem pro zlepšení virtuální pece je zpřesnění nastavení výkonu hořáků v počáteční fázi ohřevu, kde dochází k největším rozdílům teplot. Velmi důležitým prvkem je efektivní nastavení kontrolních objemů a výpočtové sítě, tak aby virtuální pec byla schopna simulovat zkoušku požární odolnosti pro velké množství stavebních konstrukcí.

Modelováním metodou CFD lze dosáhnout velmi kvalitních výsledků co se týče teploty plynu v peci pro zkoušku požární odolnosti konstrukcí. Pokračováním ve výzkumu virtuální pece lze dosáhnout pomoci při zkoušení požární odolnosti a redukcí zkoušek a jejich finanční náročnosti. Nicméně žádný numerický model nemůže nahradit reálné zkoušení stavebních konstrukcí na požární odolnost.

PODĚKOVÁNÍ

Práce je podporována grantem č. 16-18448S Sdružený model požární zkoušky v peci, GAČR.

LITERATURA

- [1] WELCH, S. a RUBINI, P.A. *Three-dimensional Simulation of Fire-Resistance Furnance*. Melbourne, Australia: Proceedings of 5th International Symposium on Fire Science, 1997.
- [2] PILOTO, P.A.G., MESQUITA, L.M.R. a PEREIRA, A. A. *Thermal analysis in fire-resistance Furnace*. Santander, Spain: Proceedings of the International Workshop on Fire Protection and Life Safety in Buildings and Transportation Systems, 2009.
- [3] CAYLA, F., LEBORGNE, H. a JOYEUX, D. *Application of a virtual resistance furnace :fire resistance test simulation of a plasterbiaord membrane*. Prague: ASFE Conference, 2011.
- [4] KARABAŞ, O., a další. *Numerical Investigation of Temperature Distribution in a Fire Resistance Test Furnace*. Alanya/Antalya: 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 2016.
- [5] 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.
- [6] NOVOTNÁ, P. *Modelování požární zkoušky v peci*. Praha 2017. Diplomová práce (Ing.): České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí. 2017-02-07.
- [7] LIŠKOVÁ, N. *Adiabatická teplota povrchu ve vodorovné peci*. Praha 2017. Diplomová práce (Ing.): České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí. 2017-02-07.

POSUZOVÁNÍ POŽÁRNÍCH PODHLEDŮ DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ A POROVNÁNÍ S EUROKÓDEM

ASSESSMENT OF FIREPLACES OF WOODEN STRUCTURES AND COMPARISON WITH THE EUROCODE

Bc. Pavel Zemánek

Abstract

This seminar work has two main parts. The first deals with the theoretical introduction to the basic material characteristics of wood, fire protection sheaths and mineral insulations made of glass and stone fibers. The main characteristics are thermal conductivity and thermal capacity, depending on increasing temperature and material degradation at high temperature. The second part deals with the calculation of carbonaceous and fire resistance of wooden ceiling beams with mineral fiber-filled cavities with OSB boards. This construction will be modeled by GID and calculated by ATENA. The resulting values will be compared with the analytical solution and subsequently the large-scale fire testing of the straw object with this roof design solution.

Key words: timber; fire safety; mineral fiber; glass fiber; beam; wooden fire envelope

ÚVOD

Tato seminární práce se zabývá posuzováním dřevěných nosných prvků střechy s opláštěním z desek OSB na slaměném objektu, výpočtu její požární odolnosti a hloubky zuhelnatění jak podle eurokódů, tak potvrzením výsledků požární zkouškou. V ČSN EN 1995-1-2 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru (1) je uvedeno, že únosnost nosníků a sloupů v sestavách vyplněných izolací z minerálních vláken a bez izolace je počítáno s odhořením obvodového pláště a následnou redukcí průřezu nosného prvku, než dojde ke kolapsu konstrukce. Při použití skelného vlákna se však počítá pouze s odhořením obvodového pláště a následně je v normě uvedeno, že po této době se předpokládá porušení prvku.

CHOVÁNÍ DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ ZA POŽÁRU

Základní stavební prvky dřeva i jiných organických hmot tvoří makromolekuly obsahující uhlík, vodík a kyslík. Mezi nimi existují za normálního tlaku a teploty pevné vazby, které jsou odolné vůči vzdušnému kyslíku. Zvyšováním teploty však dojde k rozkmitání makromolekul a vazby se tím naruší, což zapříčiní rozpadání makromolekul na menší stavební částice - monomery, které se vyskytují převážně v plynném skupenství a snadno reagují se vzdušným kyslíkem. Dochází tak k endotermické reakci, při níž začíná sušení dřeva absorbováním tepla, postupně dojde k exotermické reakci, která teplo uvolňuje ve velké míře s probíhající oxidací rozkladných produktů. Pokud je dřevěný konstrukční prvek zasažen požárem, jeho povrch velmi intenzivně hoří do doby, než se vytvoří na povrchu zuhelnatělá vrstva dřevní hmoty, která brání přístupu vzdušného kyslíku do vnitřní části prvku, tlumí hoření a dobře tepelně chrání nezasaženou část. Díky tomu je při požáru trvajícím více než 20 minut zhruba v hloubce 30 mm pod zuhelnatělou vrstvou dřevo, jehož teplota je neovlivněná teplotou požáru. V oblasti prvku zredukovaného průřezu účinkem požáru nedochází ke změně fyzikálních ani mechanických vlastností dřeva a materiálů na bázi dřeva. Únosnost prvku je tak redukována pouze odhořelou vrstvou. Za kritickou mez deformace zatížené nosné dřevěné konstrukce se počítá s hodnotou průměrné teploty jádra 120 °C a teplotou vznícení na povrchu 300 °C. Požární odolnost prvku můžeme navýšit dvěma způsoby, opláštěním prvku protipožárními deskami nebo jeho natřením protipožárními nátěry (2), (3).

MINERÁLNÍ IZOLACE ZA POŽÁRU

Při použití specializovaných softwarů pro potřeby požární bezpečnosti je důležité dbát na zadávaná vstupní data, jako je měnící se tepelná vodivost v závislosti na teplotě. Pokud teploty v kamenné minerální izolaci vystoupají nad hodnotu 650 °C, jedná se o tzv. havarijný stav, kterým může být i požár. Při vystoupení teplot až k 1200 °C, který je již při požáru limitní, se začnou tavit i samotná vlákna, materiál začne propouštět teplo a začíná ztrácet své vlastnosti. V případě požáru a dosažení teplot nad 650 °C tak je nutné vyměnit zasažený izolant za nový. Chování skelného izolantu za požáru je více problematické. Za vysokých teplot dochází k „ustupování“ před žarem, vytváří kuličky a žmolky, což má negativní důsledek na tepelně i požárně izolační schopnost. Vztah v závislosti tepelně vodivosti na teplotě se dá vyhledat v literatuře, je však nepřesný a bez prokazatelných zkoušek. Změny tepelné vodivosti v závislosti na teplotě u kamenných vláken jsou k dispozici přímo od výrobců. Chování skelného vlákna a jeho tepelných změn při požáru s možností užití jako požární ochrany bude však částí experimentální části této semestrální práce (4).

POPIS EXPERIMENTÁLNÍHO OBJEKTU

Jedná se o objekt postavený na pozemku UCEEB financovaný studentskou grantovou soutěží (SGS). Konstrukční řešení obvodových stěn je zvoleno na bázi slámy a použití dřevěných nosníků ve střešní konstrukci. Půdorysné rozměry jsou omezené na 6x4 m, nosné stěny ze slaměných balíků o tloušťce 0,4 m a světlý rozměr střešních nosníků uložených na horním dřevěném věnci je 3,2 m, foto z realizace na obr 1. Objekt bude rozdělen na dvě místnosti omítnutou slaměnou stěnou s průchozím otvorem. Střešní konstrukce je na sobě staticky nezávislá a to nad každou místností vzhledem k rozdělení na dvě části pro možnost použití v jedné části výplní dutin ze skelného vlákna a ve druhé části pro použití kamenné vlny kladené do „kapes“ ocelového pletiva upevněného k trámům. Toto umožní posuzovat chování konstrukce střechy jako dvou jednotlivých celků. Obkladový materiál trámů na straně požáru bude tvořen OSB deskami tl. 12 mm, v horní části taktéž stejnými typy desek. Nad střešními nosníky, které jsou uloženy v horizontální poloze bude pultová nástavba střechy s krytinou.



Obr. 1 Experimentální objekt „Slamák“ s neomítnutými slaměnými stěnami
Fig. 1 Experimental building „Slamak“ with straw walls without plasters

POSOUZENÍ POŽÁRNÍ ODOLNOSTI A MÍRY ZUHELNATĚNÍ

Cíl této práce je ověření, zda při využití izolací ze skelných vláken ve výplních mezi nosníky dojde opravdu ke kolapsu nosné konstrukce po době, kdy přestane ochranná deska plnit svoji funkci ochrany proti požáru. Zásadní výsledek přinese porovnání zbytkových průřezů trámů s výplněmi dutin

z kamenných vláken s trámy se skelnou vlnou a porovnání teplot v nosnících a účincích ochrany proti požáru od dvou rozdílných minerálních izolací.

Skelné vlákno

V této fázi přípravy experimentu jsou prozatím analytickým řešením spočítána data pro dřevěnou trámovou konstrukci s dutinami vyplněnými skelným vláknem, obložené deskami OSB tl. 12 mm. V tomto případě by dle rovnice uvedené v normě ČSN EN 1995-1-2 mělo nastat porušení prvku v čase 9,3 minut. Až s deskou tl. 18 mm se můžeme dostat na požární odolnost 15 minut. U této konstrukce v podstatě nezáleží na průřezu profilu nosného prvku. Po provedení experimentu se vytvoří analýza tohoto konstrukčního řešení zasaženého požárem a prokáže se tak, zda je možno nadále považovat konstrukci za požárně odolnou stejně jako to je v případě užití konstrukce při vyplnění dutin kamenným vláknem a zahrnout tak do výpočtu i redukci průřezu nosného prvku.

Kamenné vlákno

Analytickým výpočtem pro konstrukční řešení stropu s výplní dutin z kamenného vlákna budeme počítat pro dobu požáru v trvání 60 minut vzhledem k tomu, že požární odolnost prvku dřevěné konstrukce je limitována tímto časem. Odhořívání prvku po odhoření dodatečné ochrany spodní desky ve směru od požáru je díky kamennému vlákně chránící boční části počítáno pouze ze spodního líce trámy dle výpočtu rovnice uvedené v normě ČSN EN 1995-1-2 dojdeme k nominální vrstvě zuhelnatění prvku po 60 minutách zatížení normového požáru o tl. 72,4 mm. Dalším výpočtem je použití softwaru. Programem bude namodelována polovina geometrie prvku. Vzhledem k symetrii tak bude umožněno použít hustější výpočetní síť. Modelování bylo provedeno v programu GID (pre a post procesor pro numerické simulace) a výpočetní typ tepelné analýzy programem ATENA. Po výpočtu tepelné analýzy jsou výstupem vykreslení rozložení teplot v průřezu namodelovaného prvku s hranicí zuhelnatění. Tato hranice je dána teplotou 300 °C, kde dochází k zuhelnatění dřeva a ztrátě jeho mechanické odolnosti. Výsledná vrstva zuhelnatělé části prvku je o tloušťce 62 mm.

ZÁVĚR

Míra zuhelnatění byla počítána pro pole s kamenným vláknem analytickou metodou a programem, která v době 60 minut trvání požáru podle normové teplotní křivky (ISO 834) vyšla na hodnoty 72,4 a 62 mm, což se liší pravděpodobnou dobou rozhořívání v případě analýzy programem. Dle zatížení této konstrukce je už na dalším posouzení, zda při této míře může být konstrukce považována po redukci průřezu za nosnou. K porovnání s konstrukcí s výplní dutin ze skelného vlákna nám dle výpočtů podle ČSN EN 1995-1-2 vyjde, že kolaps této konstrukce nastává s použitím OSB desky tl. 12 mm na straně exponované požárem po 9,3 minutách požáru. S ohledem na použití stejných průřezů prvků se zdá být, že rozdíl výsledné požární odolnosti v použití dvou druhů minerální izolace je velmi markantní a po provedení experimentu bude možnost porovnání se skutečností.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 1995-1-2. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Praha : ÚNMZ, 2006.
- [2] WALD, František. *Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí*. Praha : ČVUT v Praze, 2005. ISBN 80-01-03157-8.
- [3] PEŠKOVÁ, Zdeňka. Diplomová práce. *Vliv účinku požáru na chování tepelných*. Praha : FSv ČVUT v Praze, 2016.
- [4] KUPILÍK, Václav. *Stavební konstrukce z požárního hlediska*. Praha : Grada Publishing a.s., 2006. ISBN 80-247-1329-2.