ČVUT

FSv



sborník 5. studentské vědecké konference

Zapálení2022

Fakulta stavební
ČVUT v Praze

7. 6. 2022
pozar.fsv.cvut.cz

ČVUT
UCEEB

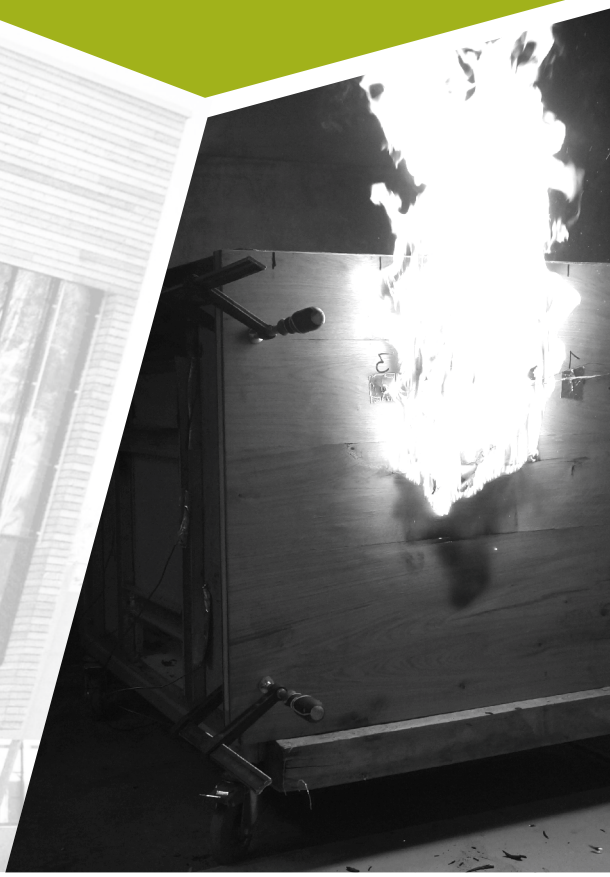
www.uceeb.cvut.cz/pozarni-laborator

POŽÁRNÍ VÝZKUM NA UCEEB

Nabízíme studentům spolupráci na požárním výzkumu v rámci zajímavých a přínosných diplomových i doktorských prací. Naší prioritou je výzkum a testování specifických materiálů, konstrukcí a systémů pro požárně bezpečné stavby. Provádíme zkoušky indikativního charakteru (tj. předběžné zkoušky) ve středním a velkém měřítku, a to jak v interiéru laboratoře, tak v exteriéru na experimentální ploše. Zaměřujeme se zejména na vliv povrchových úprav stavebních konstrukcí na rozvoj požáru (reakce na oheň), chování konstrukčních prvků při požáru (požární odolnost), systémy hašení a chlazení a toxicitu zplodin hoření.

Priority pro požární laboratoř:

- velkorozměrové zkoušky reakce na oheň pro obklady stěn a stropů
- zkoušky jednotlivých hořících předmětů (v místnosti i volné hoření)
- středněrozměrové indikativní zkoušky požární odolnosti stěn a stropů
- zkoušky účinnosti hasicích systémů
- chemická analýza zplodin hoření metodou FTIR
- konzultační činnost v oblasti požárního inženýrství a PBS



ČVUT
FSv

POŽÁRNÍ BEZPEČNOST NA STAVEBNÍ FAKULTĚ

http://pozar.fsv.cvut.cz

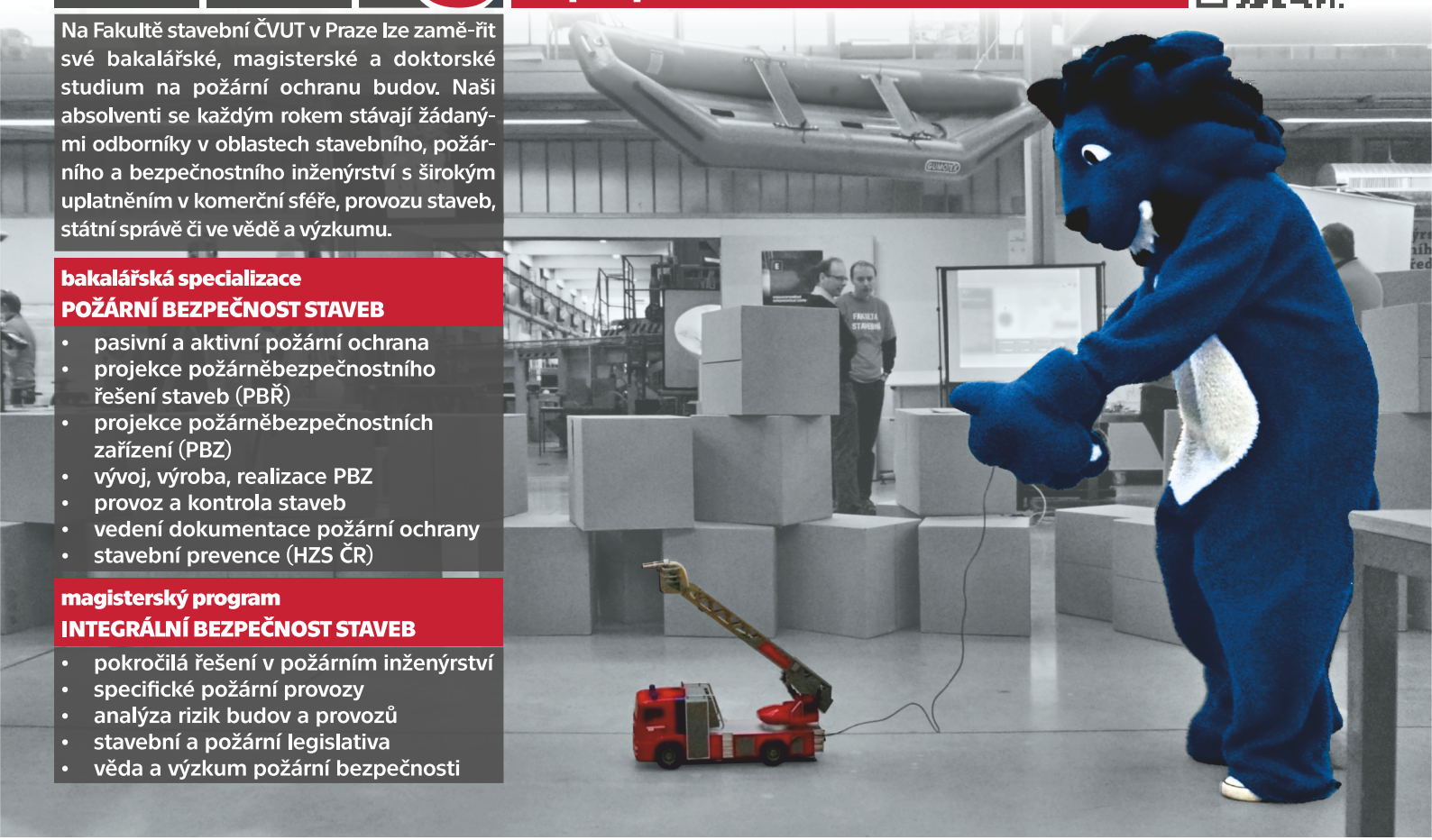
Na Fakultě stavební ČVUT v Praze lze zamě-řit své bakalářské, magisterské a doktorské studium na požární ochranu budov. Naši absolventi se každým rokem stávají žádaný-mi odborníky v oblastech stavebního, požár-ního a bezpečnostního inženýrství s širokým uplatněním v komerční sféře, provozu staveb, státní správě či ve vědě a výzkumu.

bakalářská specializace
POŽÁRNÍ BEZPEČNOST STAVEB

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

magisterský program
INTEGRÁLNÍ BEZPEČNOST STAVEB

- pokročilá řešení v požárním inženýrství
- specifické požární provozy
- analýza rizik budov a provozů
- stavební a požární legislativa
- věda a výzkum požární bezpečnosti





sborník 5. studentské vědecké konference

Zapálení2022

Fakulta stavební ČVUT v Praze | 7. 6. 2022 pozar.fsv.cvut.cz

Za jazykovou a věcnou správnost obsahu díla odpovídají autoři.

Text neprošel redakční úpravou.

kolektiv vedoucích předdiplomních prací:
Pokorný, M., Mózer, V., Hejtmánek, P., Wald, F., Pechová, P., Štefan, R., Benýšek, M., Koubková I., Cábová, K., Sokol, Z., Netušil, M., 2022

ISBN 978-80-01-07011-6

PŘEDMLUVA

Pátý ročník konference Zapálení2022 pořádaný dne 7. června 2022 na Fakultě stavební ČVUT v Praze je zaměřen na aktuální poznatky v oboru požárního inženýrství a bezpečnosti staveb. Záměrem konference je vytvořit místo pro setkání a diskuzi Zapálených – studentů, pedagogů i praktiků.

Prostor pro aktivní účast na konferenci dostávají naši nejstarší magisterští studenti 5. ročníku programu (Q) Integrální bezpečnost staveb, kteří budou prezentovat výsledky své předdiplomní přípravy formou přednášky a odborného článku. Konference je rozdělena do tří odborných sekcí, a to (A) Požární bezpečnost staveb, (B) Navrhování konstrukcí za požáru a (C) Aktivní požární ochrana.

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

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

Diskutovaná témata jednotlivých autorů budou v následujícím semestru předmětem diplomových prací, které lze po úspěšné obhajobě dohledat na univerzitních webových stránkách https://dspace.cvut.cz/.

Studentská vědecká konference Zapálení2022 vznikla za podpory Katedry konstrukcí pozemních staveb Fakulty stavební ČVUT v Praze. Zapálení tímto srdečně děkují!

kolektiv vedoucích předdiplomních prací

OBSAH

Předmluva 1
Obsah 4
Table of Contents 5

SEKCE A | POŽÁRNÍ BEZPEČNOST STAVEB
BRINDZOVÁ A. | Požární bariéry pro větrané dutiny fasádních systémů 9
VANČURA T. | Požárně technické charakteristiky textilního betonu 13
VIMMR D. | Porušení elektrických kabelů při tepelném a mechanickém namáhání 17
HADINGEROVÁ L. | Toxické zplodiny hoření při nedostatečném přísunu vzduchu 21

SEKCE B | NAVRHOVÁNÍ KONSTRUKCÍ ZA POŽÁRU
TREU K. | Ověřování příčin vzniku požáru dřevostaveb zónovým modelem 27
KŘIŠŤANOVÁ M. | Vliv průběhu požáru na zuhelnatění dřeva 31
NETUŠILOVÁ L. | Požární odolnost lehkých střešních plášťů s trapézovými plechy 35
HOANG T. L. | Šroubouvané přípoje tenkostěnných konstrukcí za vysokých teplot 39
PRŮCHA M. | Požární odolnost konstrukce kolejového vozidla 43
ČAJAN P. | Analýza a parametrická studie různých CFD modelů požáru při návrhu konstrukcí 47
BĚLOHRADSKÁ T. | Analýza požární odolnosti historických dveří 51

SEKCE C | AKTIVNÍ POŽÁRNÍ OCHRANA
PÉČ O. | Návrh sprinklerového shz ve skladovacích prostorech a halách 62
JORDÁN L. | Přetlakové větrání chráněných únikových cest 66
MALÁ K. | Video detekce požáru 70

TABLE OF CONTENTS

SECTION A | FIRE SAFETY OF BUILDINGS
BRINDZOVÁ A. | Fire barriers for ventilated cavities of facade systems 9
VANČURA T. | Fire technical characteristics of textile concrete 13
VIMMR D. | Damage to electrical cables under thermal and mechanical stress 17
HADINGEROVÁ L. | Toxic combustion products in case of insufficient air supply 21

SECTION B | STRUCTURAL DESIGN IN FIRE
TREU K. | Verification of causes of fire in timber buildings with a zone model 27
KŘIŠŤANOVÁ M. | Influence of fire behaviour on timber charring 31
NETUŠILOVÁ L. | Fire resistance of lightweight roof sheets with trapeziodal sheet metal 35
HOANG T. L. | Screwed connections of thin-walled structures at high temperatures 39
PRŮCHA M. | Fire resistance of the rolling stock structure 43
ČAJAN P. | Analysis and parametric studies of various CFD fire models in structural design 47
BĚLOHRADSKÁ T. | Analysis of fire resistance historic doors 51

SECTION C | ACTIVE FIRE PROTECTION
PÉČ O. | Desing of sprinkler stable fire extinguishing system in warehouse and halls 62
JORDÁN L. | Pressure ventilation of protected escape routes 66
MALÁ K. | Video fire detection 70

Sekce A | Požární bezpečnost staveb

POŽÁRNÍ BARIÉRY PRO VĚTRANÉ DUTINY FASÁDNÍCH SYSTÉMŮ

FIRE BARRIERS FOR VENTILATED CAVITIES OF FACADE SYSTEMS

Bc. Alžbeta Brindzová

Abstract

Ventilated façade systems are increasingly used in modern constructions mainly due to wide range of material possibilities. If constructed properly, the ventilated facades have a positive effect on thermal insulation properties of building walls. On the other hand, the façade poses a great risk in fire scenarios. It is crucial to prevent fire spread in cavity of façade systems. Fire spread inside the cavity can be limited with f ire barriers. The first part of this article is dedicated to fire barriers and requirements to ensure proper functions under fire as well as normal conditions. The second part deals with mathematical model. The model represents simple façade structure without and with fire barrier. At the end there is a comparison of temperature results obtained from FDS software. Results clearly show the importance of fire barriers in cavities of ventilated façades.

Key words: *fire barrier; cavity; ventilated façade; fire development; FDS*

ÚVOD

Větrávané fasády se pro své technické a estetické vlastnosti stávají populární napříč celým světem. Správně navržené a zhotovené větrané fasády jsou charakteristické dlouhou životností a výbornými tepelně technickými vlastnosti. Široký výběr fasádních obkladů a metod kotvení k podkladu dovoluje architektům vytvářet unikátní a moderní fasádní systém. Princip větrané fasády spočívá v zajištění přirozeného proudění vzduchu, který zajišťuje odvětrávání vlhkosti a správné tepelně technické chování fasády. Nejčastější skladbu dané fasády tvoří nosná konstrukce, tepelná izolace, vzduchová dutina a pohledový obklad. Použití těchto fasád přináší ale i určité problémy a nevýhody. Nedostatkem jsou ale i neúplné a nejasné požadavky na větrané fasádní systémy v souboru norem požární bezpečnosti ČSN 73 08xx.

POŽÁRNÍ BARIÉRY

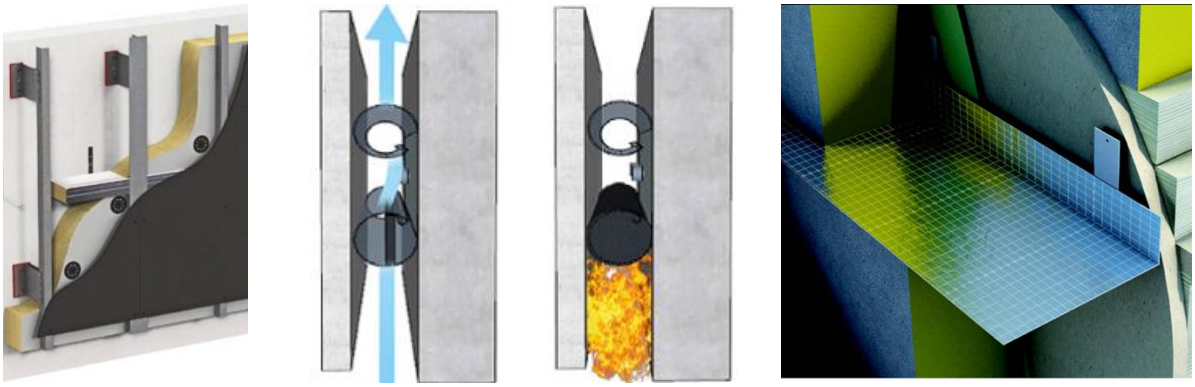
Fasáda jako celek nesmí šířit požár po svém povrchu a přispívat k rozvoji požáru. Větrané mezery povrchových vrstev fasády nesmí umožnit šíření požáru mimo hranici požárních úseků na obvodové stěně. [1] Tento problém se jeví jako největší právě při posuzování a navrhování větraných fasád. Důležitou součástí větraných fasád je zachování a zabezpečení oddělovací funkce mezi požárními úseky, a tak zamezení šíření požáru. Právě proto jsou požární bariéry důležitou součástí návrhu větraných fasád. Požární bariéry jsou výrobky instalovány v dutinách větraných fasád v horizontálním, ale i vertikálním směru. Hlavním účelem je zastavení a omezení šíření účinků požáru v dutině.

Požár vzniklý uvnitř budovy se přes otvory ve fasádě může rozšířit do vyšších podlaží po venkovní straně fasády, nebo právě v dutině větrané fasády. V dutině vzniká tzv. „komínový efekt“, kvůli kterému se požár v dutině může šířit 5 až 10 krát rychleji než na povrchu fasády. Rychlost šíření požáru může dosahovat až 8 m/s [2].

Na požární bariéry jsou kladeny požadavky, které by měly být splněny pro zajištění správné funkčnosti bariéry a fasády jako celku. Hlavním požadavkem, z hlediska požární bezpečnosti, je zabránění šíření požáru uvnitř dutiny větrané fasády. To musí být zajištěno plným uzavřením dutiny v případě požáru, odolávání přímým plamenům, zabránění odkapávaní a odpadávaní hořlavých částí. Například dle požadavků britských standardů [3] by měla požární bariéra z hlediska

požární odolnosti vykazovat minimálně mezní stavy celistvosti E 30 a izolace I 15. Vzhledem k tomu, že bariéra je instalována uvnitř dutiny, musí v nepožární situaci umožnit účinné větrání dutiny a nesmí zhoršovat funkčnost fasády jako celku. Životnost bariéry by měla být stejná jako životnost fasády.

Požární bariéry lze rozdělit do několika kategorií. Na trhu jsou známé hlavně dva druhy, a to pevné bariéry a otevřené bariéry. Pevné bariéry uzavírají dutinu i v nepožární situaci, na rozdíl od otevřených bariér, které uzavírají dutinu účinkem tepelného namáhání. Z konstrukčního hlediska je vhodné umísťovat bariéry zejména kolem fasádních otvorů, na hranici požárních úseků, nad úrovni terénu a pod střechou. Na obr. 1 jsou zobrazeny 3 příklady výrobků požárních bariér.



(A) (B) (C)

Obr. 1 (A) Požární bariéra CP 674 [4](B) Firebreather v požární a nepožární situaci, zdroj: Securo (C) Pevná požární bariéra, zdroj: Envirograf
Fig. 1 (A) Fire barrier CP 674 [4](B) Firebreather under normal and fire condition, source: Securo (C) Solid fire barrier, source: Envirograf

Na trhu je stále větší počet výrobců, kteří se věnují požárním bariérám. Mnohé výrobky jsou klasifikovány jako otevřené požární bariéry, tedy jsou umístěny uvnitř dutiny a v nepožární situaci zajišťují větrání dutiny a v případě požáru ji uzavřou. Toto je obvykle dosaženo použitím intumescentních materiálů, které působením ohně napění a vyplní dutinu. Hlavní otázkou u těchto bariér je jejich životnost a s tím spojená údržba.

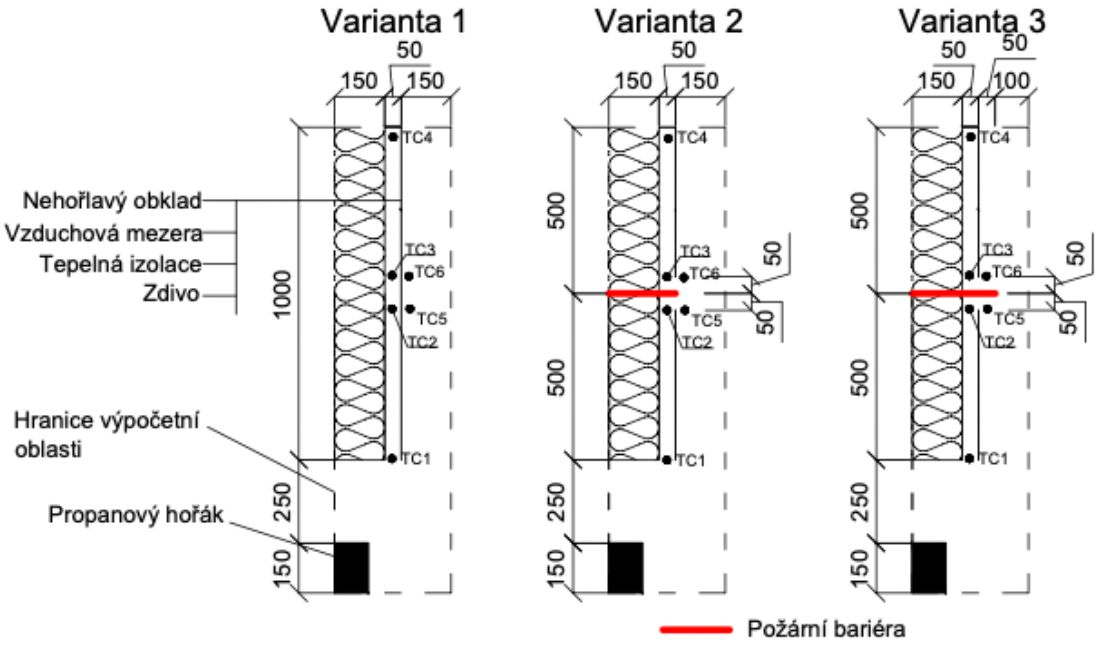
VLIV POŽÁRNÍ BARIÉRY

Provedená analýza se věnuje zkoumání vlivu požární bariéry uvnitř větrané dutiny. Model je vytvořen na základě středně rozměrové zkoušky [5], z které je převzatá základní geometrie vzorku a zdroj požáru. Příklad je řešen pomocí matematického CFD modelu požáru s využitím programu Pyrosim (verze 2021.3.0901).

Model je tvořen z výpočetní oblasti, ve které je zdroj požáru a sestava fasádního systému. Rozměry výpočetní oblasti jsou 1,2 m × 1,4 m × 0,35 m (d × v × š), složena je ze 4 výpočetních sítí o celkovém počtu 37 632 kontrolních objemů. Zdrojem požáru je propanový hořák o výkonu 100 kW a rozměrech 1,2 m × 0,15 m × 0,1 m (d × v × š). Fasádní sestava je složena z nehořlavých materiálů, které byly zvoleny s ohledem na zjednodušení a záměr modelu. Ve výpočetní oblasti je vymodelována tepelná izolace tl. 0,15 m z minerálních vláken, vzduchová dutina tl. 0,05 m a ocelový fasádní obklad. Sestava je umístěna 0,25 m nad hořákem, což respektuje požadavky pro středně rozměrovou zkoušku. Výpočetní čas je 30 minut.

Analýza zohledňuje 3 varianty konstrukčního řešení větrané fasády a požární bariéry. První varianta je bez jakékoli požární bariéry v dutině fasádního systému, druhá varianta uvažuje s pevnou požární bariérou končící zároveň s fasádním obkladem. Třetí varianta je modelována s požární

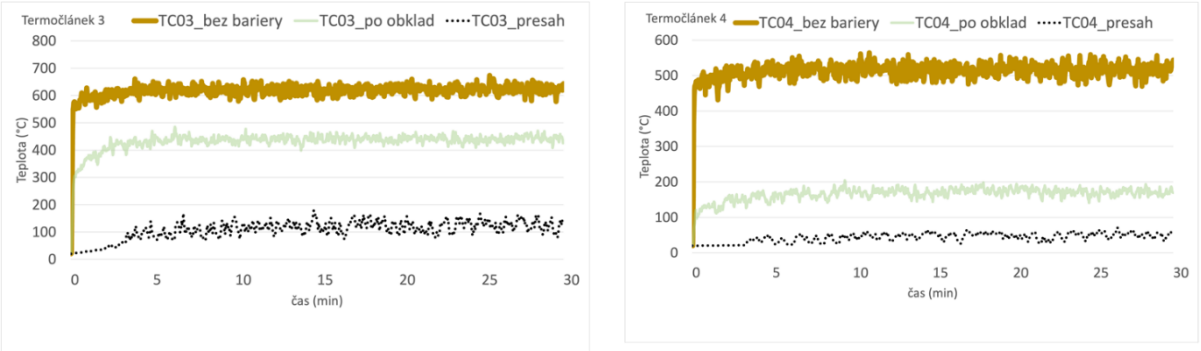
bariérou, která přesahuje pohledový obklad o 0,05 m. Na obrázku 2 jsou znázorněny řezy modelů, které jsou podkladem pro výpočet tří variant. Body TC reprezentují umístění termoelektrických článků (typ K, ∅ 1 mm) v modelu pro získání průběhů teplot.



Obr. 2 Řezy jednotlivých modelů včetně geometrie
Fig. 2 Cross-sections of models including geometry

ROZBOR VÝSLEDKŮ

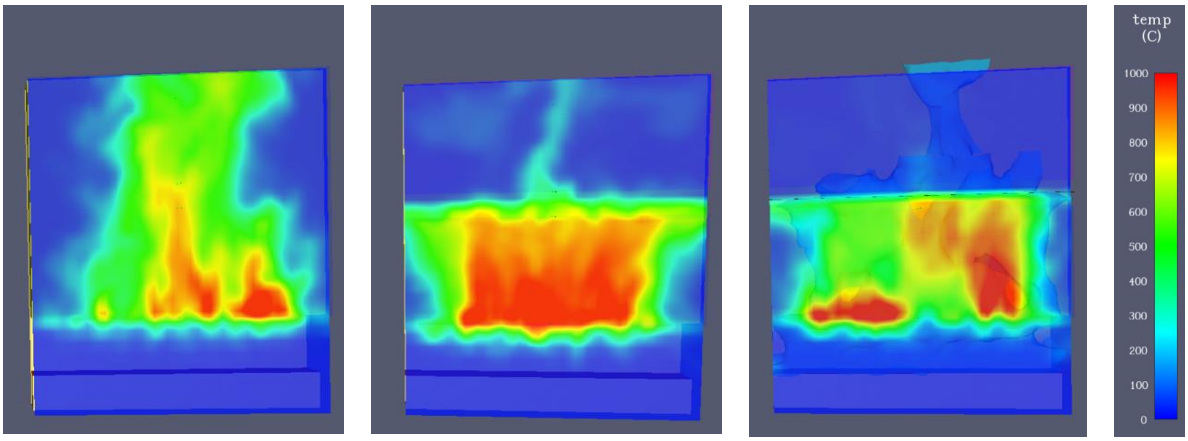
Pro porovnání výsledků z jednotlivých variant modelů jsou použity výsledky naměřené termoelektrickými články (dále jen TC). Hlavní zkoumanou veličinou je teplota. Obrázek 3 porovnává jednotlivé výsledky pro TC 03 a TC 04, které jsou umístěny uvnitř vzduchové dutiny nad požární bariérou. Záměrem modelu je zjištění vlivu požární bariéry, proto jsou zhodnoceny zejména výsledky nad bariérou.



Obr. 3 Výslední teploty TC 03 a TC 04
Fig. 3 Temperature results of TC 03 and TC 04

TC 03 je umístěn přímo nad požární bariérou. Z grafu vlevo je zřejmé rozložení teplot v průběhu 30 minut. Vlivem požární bariéry teploty bezprostředně nad ní klesly o cca 200 °C. U požární bariéry s přesahem před fasádní obklad je rozdíl teplot ještě výraznější a nejvyšší naměřená teplota je méně než 200 °C. Druhý graf znázorňuje výslední teploty TC 04, který se nachází ve vrchní částí modelované sestavy. Jeho poloha je 0,45 m nad požární bariérou. Z grafu je zřejmý nejvýraznější

pokles teplot mezi fasádou bez bariéry a fasádou s požární bariérou, která přesahuje fasádní obklad. Rozdíl teplot je přibližně 500 °C.



(A) (B) (C)

Obr. 4 Vývoj požáru uvnitř dutiny v 15. minutě (A) bez bariéry (B) bariéra po obklad (C) bariéra s přesahem
Fig. 4 Fire development inside the cavity in the 15th minute (A) without barrier (B) barrier aligned with facade cladding (C) barrier extending facade cladding

ZÁVĚR

Cílem práce je analýza vlivu požárních bariér na chování požáru uvnitř dutiny větrané fasády. Práce se věnuje shrnutí poznatků o požárních bariérách a požadavcích na ně. V rámci práce je sestavený matematický CFD model, který jednoznačně upozorňuje na účinnost požárních bariér při zamezení šíření požáru. Výsledky teplot z 3 analyzovaných variant značně poukazují na důležitost požárních bariér ve smyslu omezení teplotních účinků požáru uvnitř dutiny fasádního sytému. Práce může sloužit jako podklad k dalšímu zkoumání a zlepšení problematiky nedostatečných požadavků norem pro větrané fasádní systémy.

LITERATURA

[1] *ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení*. 2016
[2] JENSEN, Geir. Fire spread modes and performance of fire stops in vented façade constructions – overview and standardization of test methods. *MATEC Web of Conferences* [online]. 2013, 9, 02002. ISSN 2261-236X. Dostupné z: doi:10.1051/matecconf/20130902002
[3] *Building regulations 2010. Approved document B, Volume 2, Approved document B, Volume 2,*. 2020. ISBN 978-1-914124-03-7.
[4] HILTI. *Firestop cavity Barrier CP 674*. B.m.: HILTI. 2019
[5] *ČSN ISO 13785-1 Zkoušky reakce na oheň pro fasády - část 1: Zkouška středního rozměru*. 2010

POŽÁRNĚ TECHNICKÉ CHARAKTERISTIKY TEXTILNÍHO BETONU

FIRE TECHNICAL CHARACTERISTICS OF TEXTILE CONCRETE

Bc. Tomáš Vančura

Abstract
This article describes problematic usage of textile-reinforced concrete in terms of Czech fire safety legislation. At the beginning of the thesis, textile concrete is described in terms of material composition, both the concrete and the matrix of the textile reinforcement made of synthetic resin. The next chapter describes the Czech categorization of structural elements, the rules for categorization and the problems of categorization for textile concrete. This is followed by a description of the practical part, where specimen production, testing in a cone calorimeter is described. The chapter ends with a description of the evaluation parameter HRR (heat release rate), which was the main value studied.

Key words: TRC; textile concrete; fire; cone calorimeter; HRR

ÚVOD

Současně platný soubor norem požární bezpečnosti začal vznikat na konci 70. let minulého století a přinesl jeden z prvních pravidel do požární bezpečnosti staveb. Ačkoliv systém požárních norem v ČR patří mezi nejpropracovanější, je zároveň jedním z konzervativnějších, co se materiálu týče. Objevují se zde velice složité požadavky omezující použití materiálu na specifická místa a vznikají rozepře. To způsobil dramaticky rychlý vývoj materiálů, především těch kompozitních. Normy nemohly z historického hlediska počítat s vývojem takovýchto materiálů, ale mohly na ně v průběhu let reagovat, což neučinily. Mezi takové materiály patří například: keramické tvárnice vyplněné polyesterovou výplní, dřevo betonová příčka nebo textilní beton. Tento článek se bude věnovat právě textilnímu betonu (TRC). Cílem výzkumu bylo zjistit, zda je konstrukce z TRC nutné zatřiďovat jako druh konstrukční části DP3.

TEXTILNÍ BETON

Textilní beton sestává ze tří základních komponent: betonu, textilní výztuže a spojovacího materiálu, nejčastěji ve formě syntetické pryskyřice:

- Beton, který se používá pro TRC, se podstatně liší od betonů používaných u tradičních železobetonových konstrukcí. Jedná se především o samozhutnitelný, tekutý a jemnozrnný beton. Ten má oproti betonům standartní pevnosti zlepšené vlastnosti, jakými jsou mechanická odolnost, pevnost, trvanlivost. Tyto betony jsou nazývány vysokohodnotné (HPC) nebo ultra vysokohodnotné (UHPC). Minimální vyráběná pevnostní třída pro HPC je podle normy ČSN EN 206 [1] C55/67.
- Textilní výztuž je nedílnou součástí TRC. Vlákna nahrazují klasickou ocelovou výztuž, mohou být buď organická, nebo anorganická. Do anorganických patří kovy, uhlík nebo sklo. Mezi organická vlákna se řadí materiály jako juta, celulóza, sisal. Obecnou výhodou textilní výztuže je její odolnost proti atmosférické korozi zejména u uhlíkových vláken, což zapříčiňuje možnost redukce tloušťky krycí vrstvy. Textilní výztuže do betonu jsou nejčastěji vyráběny ze skla, uhlíku čediče a aramidu. Pro účely zkoušení byla použita v tomto případě uhlíková vlákna. [2, 3]
- V neposlední řádě je pro TRC důležité použití syntetické matrice. Výrazně narůstá efektivita využití použité textilní výztuže oproti neimpregnovaným výztužím, zároveň umožňuje aplikaci povrchové úpravy z křemičitého kameniva, čímž je dosaženo výrazně lepšího spolupůsobení textilní výztuže a HPC. Dále matrice textilní výztuže poskytuje dodatečnou ochranu proti atmosférické korozi a mechanickému poškození. Pro vytvrzení pryskyřice

jsou používány buď reaktoplasty, nebo termoplasty. Polymery mají měnící se fázové stavy závislé na teplotě. V tomto případě byla použita epoxidová pryskyřice.

DRUH KONSTRUKČNÍ ČÁSTI

V současně platných normách, konkrétně v čl. 3.2 ČSN 73 0810 [4], se konstrukční části dělí na tři druhy konstrukcí DP1, DP2 a DP3 viz Tab. 1. Hlavními kritérii pro zatřídění do druhu konstrukčních částí je příspěvek zvýšení intenzity požáru vlivem hoření hořlavých výrobků a vliv použitých hořlavých výrobků na únosnost a stabilitu konstrukční části. Praktická část je věnována prvnímu sledovanému kritériu, tedy zvýšení intenzity požáru vlivem hoření hořlavých výrobků.

Tab. 1 Dvě základní kritéria pro členění do druhu konstrukční části
Tab. 1 Two basic criteria for classification into component type

Kritérium požadované v době požární odolnosti	DP1	DP2	DP3
Zvýšení intenzity požáru vlivem hoření hořlavých výrobků viz kapitola 2.1.3	ne	ne	ano
Vliv použitých hořlavých výrobků na únosnost a stabilitu konstrukčních částí viz kapitola 2.1.4	ne	ano	ano

TRC je jedním z příkladů přísného třídění podle norem požární bezpečnosti do druhu konstrukční části, protože pokud jsou z něj vyrobeny nosné a požárně dělící konstrukce, tak jsou klasifikovány jako DP3. To je způsobeno tím, že uvnitř TRC je část materiálu, na které závisí únosnost a stabilita (matrice z pryskyřice), třídy reakce na oheň F, tudíž nemohou být nosné konstrukce zařazeny do kategorie DP1 ani DP2. Použití nosné nebo požárně dělicí konstrukce druhu DP3 následně objekt zatřídí do hořlavého konstrukční systému, a tím je omezena jeho požární výška na 12 m.

ZKOUŠENÍ V KÓNICKÉM KALORIMETRU

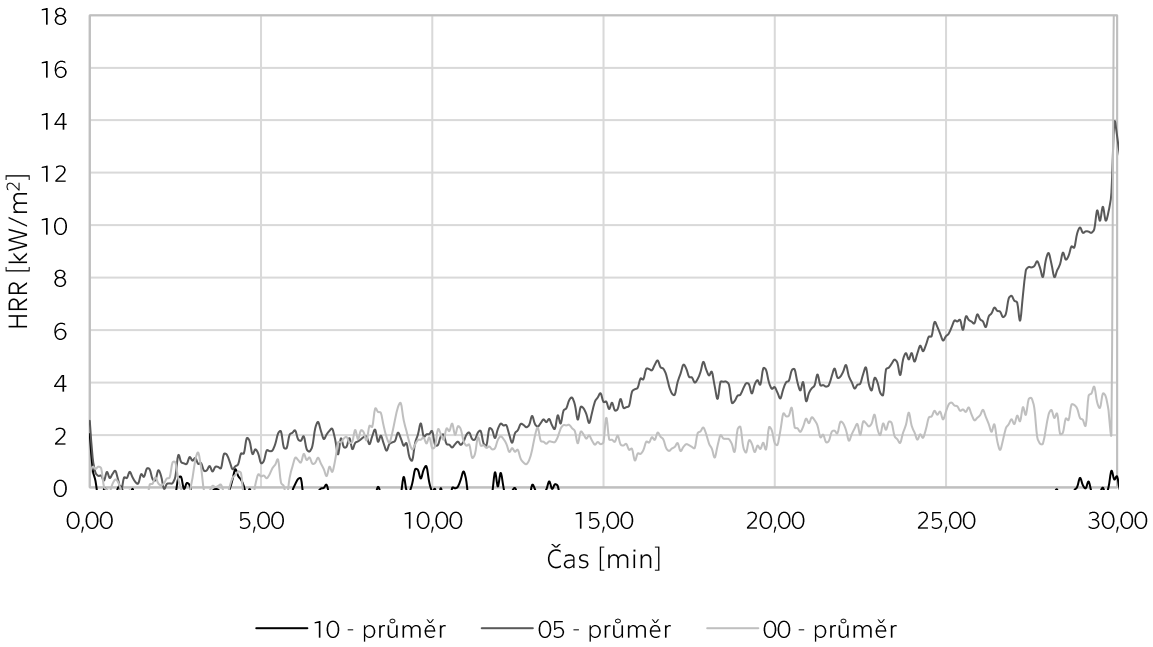
Pro zkoušení v kónickém kalorimetru bylo rozhodnuto, protože TRC je zatím používán zejména pro nenosné konstrukce, pro využití v nosných konstrukcích je nutné prokázat jeho možné zatřídění do druhu konstrukční části DP1, výzkum se zaměřil na první z kategorií pro třídění do druhu konstrukční části, tedy zvýšení intenzity požáru vlivem hoření hořlavých výrobků.

Zvýšení intenzity požáru vlivem hoření hořlavých výrobků lze hodnotit pomocí třídy reakce na oheň, ale v tomto případě to nebylo ideální řešení, jak je popsáno v kapitolách výše TRC by bylo hodnoceno jako DP3. Ideální variantou je zjišťovat požárně technické charakteristiky, jakou je třeba HRR neboli množství uvolněného tepla v kW/m^2. Množství uvolněného tepla v případě zkoušených těles záviselo především na množství odhořelé epoxidové pryskyřice, protože TRC neobsahuje jinou hořlavou složku. HRR dostatečně vypovídá o vlivu na zvýšení intenzity požáru. Hodnoty HRR lze získat z kónického kalorimetru. Kónický (kuželový) kalorimetr byl vyvinut speciálně pro stanovení rychlosti uvolňování tepla a efektivního spalného tepla stavebních materiálu podle ISO 5660-1 [5], následně byl upraven i pro stanovení tvorby kouře podle ISO 5660-2 [6].

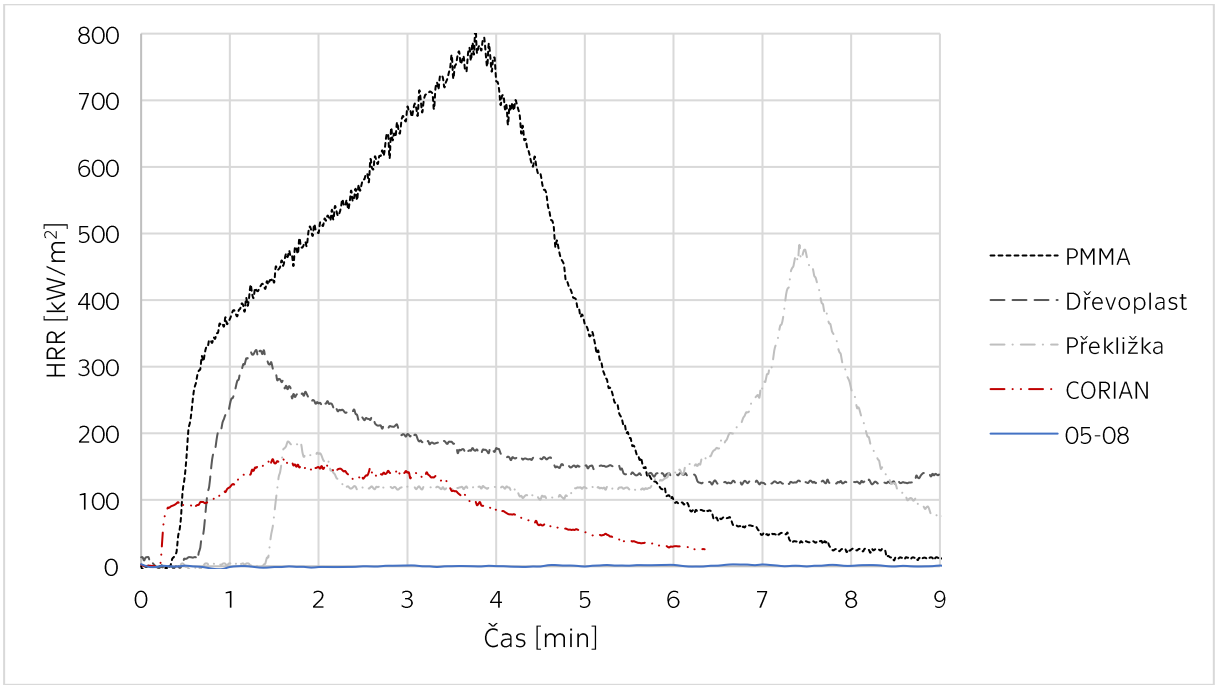
Pro tento výzkum bylo nutné vytvořit vzorky. Výroba vzorků proběhla na UCEEB ČVUT v Buštěhradě a zkoušení v kónickému kalorimetru v TÚPO v Praze. Sada vzorků byla připravena tak, aby se mohla zkoušet v kónickém kalorimetru, dle normy ISO 5660-1 bylo vytvořeno 6 x 3 vzorků s různou krycí vrstvou. Krycí vrstvy nabývaly hodnot 0, 5, 10 mm, rozměr samotných vzorků byl 100 x 100 mm, tak jak je v normových požadavcích. Tloušťka vzorku byla původně navrhována na 30 mm, z důvodu technologických problémů se zvětšila na 40 mm.

Z výsledných naměřených hodnot HRR může konstatovat, že TRC nepřispívá intenzitě požáru. Na Obr. 1 je možné vidět, že hodnoty HRR jsou u vzorků s 10 mm krycí vrstvou v rozmezí 1–2,5 kW/m^2, u vzorků s 5 mm krycí vrstvou v rozmezí 2–18 kW/m^2 a u vzorků s 0 mm krycí vrstvou v rozmezí 0–4 kW/m^2. Na Obr. 2 je vidět, že hodnoty HRR pro jiné hořlavé materiály (PMMA – třída reakce na oheň E, překližka – třída reakce na oheň D, dřevoplast – třída reakce na oheň D

nebo CORIAN – třída reakce na oheň B) jsou několikanásobně vyšší než pro TRC. TRC dosahovalo maximálních hodnot okolo 18 kW/m², jednalo se o vzorek č. 05–08.



Obr. 1 Graf HRR textilního betonu
Fig. 1 Graph of HRR textile-reinforced concrete



Obr. 2 Graf HRR hořlavých materiálů a nejhoršího vzorku TRC (05-08)
Fig. 2 Graph of HRR of flammable materials and worst TRC (05-08)

ZÁVĚR

Závěrem lze říci několik poznatků. Nejdůležitějším faktorem pro TRC je kvalita zpracování, při správném technologickém postupu a zamezení vytvoření kaveren, vzorky uvolňují rapidně méně tepla než vzorky s kavernami, dále má materiál TRC lepší požárně technické vlastnosti než materiál, který má třídu reakce na oheň B. Jestli ho lze zařadit jako nehořlavý materiál, tedy do třídy reakce na oheň minimálně A2, bude předmětem zkoumaní v diplomové práci. Důvodem zkoumání třídy reakce na oheň je její návaznost na druh konstrukční části, protože z třídy reakce na oheň se při posuzování druhu konstrukční části vychází.

V navazující diplomové práci je naplánováno posoudit druhé kritérium, tedy vyrobit vzorky, které budou teplotně zatížené a následně mechanicky zkoušené.

V průběhu seminární práci vzniklo doplnění, které bude také realizováno v diplomové práci, tím je odzkoušení materiálu s prokázanou třídou reakce na oheň A2 pro srovnání a opětovné vytvoření vzorků s 5 mm krycí vrstvou při použití směsi betonu, která obsahuje více vody. Díky tomuto testu bude prokázáno, že množství uvolněného tepla opravdu závisí na rozprostření betonu a vytvoření či nevytvoření kaveren.

PODĚKOVÁNÍ

Experimentální část vznikla za podpory grantu, číslo grantu: SGS21/094/OHK1/2T/11, řešitel: Fürst Richard Ing, název grantu: Aplikace alternativních materiálů v textilním betonu a jejich hodnocení za běžné teploty a na účinky požáru.

LITERATURA

[1] *ČSN EN 206 +A2 Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. 1. říjen 2021
[2] FÜRST, Richard. *Požární specifika nosných konstrukcí z textilního betonu*. Praha, 2020. Diplomová práce. České Vysoké učení technické v Praze.
[3] LAIBLOVÁ, Lenka. *Vyztužování silikátových kompozitů pomocí nekorozivních výztuží* [online]. Praha, 2019. Disertační práce. České Vysoké učení technické v Praze. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/handle/10467/85388
[4] *ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení, včetně Opr. 1*. 1. červenec 2016
[5] *ISO 5660-1:2015 Reaction-to-fire tests — Heat release, smoke production and mass loss rate — Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement)*. březen 2015
[6] *ISO 5660-2:2002 Reaction-to-fire tests — Heat release, smoke production and mass loss rate — Part 2: Smoke production rate (dynamic measurement)*. prosinec 2002

PORUŠENÍ ELEKTRICKÝCH KABELŮ PŘI TEPELNÉM A MECHANICKÉM NAMÁHÁNÍ

DAMAGE TO ELECTRICAL CABLES UNDER THERMAL AND MECHANICAL STRESS

Bc. Daniel Vimmr

Abstract
The main scope of this article is primary short-circuit of electrical wires. The focus is on inducting mechanical stress onto an electrical cable so it would be damaged just enough to self-produce shortage in the electrical circuit. Initially as the main part of this article the information on common electrical wire fire causes is provided. In the second part summary of experimentation on inducting mechanical stress to cable is concluded.

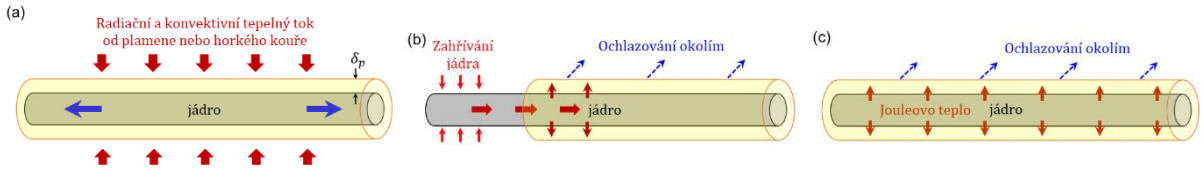
Key words: *electrical fire; short-circuit; arc tracking; mechanical stress; cable deformation*

ÚVOD

V běžných domácnostech se vyskytuje řada prodlužovacích kabelů a právě tyto „prodlužovačky“ se stávají příčinou požárů, pokud špatným zacházením dojde k mechanickému porušení izolace vodičů a následnému zkratu. Za rok 2021 vzniklo 590 požárů s příčinou technická závada na elektroinstalaci, což je sice pouze 3,76 % z celkového počtu požárů 15 711, ale stále podstatný počet požárů [1]. Vyšetřovatelé požárů potřebují následně určit ohnisko požáru a v případě elektroinstalace je náročné poznat, kdy byla prvotní příčinou a kdy došlo k jejímu porušení až v průběhu požáru. Hlavní motivací tohoto výzkumu je usnadnit vyšetřovatelům jejich práci a poskytnout jim podklady, podle kterých půjde snadno rozpoznat druh zkratu.

POŽÁR ELEKTROINSTALACE

Průchod elektrického proudu způsobuje zahřívání v každém elektrickém vedení nebo zařízení. Příčinou požáru je vyšší teplota, než na kterou je vedení připraveno. Ta ovlivňuje materiálové vlastnosti vodiče i izolace a postupnou degradací těchto materiálů může vznikat požár. Důležitým faktorem jsou také okolní materiály, které mohou přispívat k rozvoji požáru. Elektrické rozvody mohou být vedeny na hořlavém nebo nehořlavém podkladě. Vysoká teplota může nastat v kabelech vznikem tří situací, viz Obr. 1. Situace a) jedná se o zahřátí vodiče vlivem vnějšího prostředí, např. vlivem plamene nebo horkého kouře za požáru. Pokud dojde ke zkratu elektroinstalace vznikem teploty z vnějšího prostředí, tak se jedná v praxi o **sekundární zkrat.** V situaci b) dochází k zahřívání izolace zevnitř vodičem, např. pokud je někde izolace mechanicky porušena a vodivá část kabelu je zahřívána vnějším vlivem a následně tepelně působí zevnitř na izolaci nebo jde o jinou mechanickou závadu elektrického rozvodu, např. vadný spoj. V poslední situaci c) jde o zahřívání kabelu elektrickým proudem, např. při přepětí nebo zkratování vodiče. Právě této situaci se v praxi říká **primární zkrat.** [2, 3]



Obr. 1 Schémata vzniku vysoké teploty v elektrické instalaci; převzato, upraveno a přeloženo [3]
Fig. 1 The schematic diagram of ignition of electrical wire; taken, modified and translated [3]

PRIMÁRNÍ ZKRAT ELEKTROINSTALACE

Primární zkrat je způsoben vlastním poruchovým působením elektroinstalace. Většinou se jedná o vznik vysoké teploty vlivem poruch a následné tepelné působení zevnitř kabelu. Vznik vysoké teploty vlastním vlivem elektroinstalace má několik příčin:

- přetížení nebo zkrat,
- elektrická jiskra,
- zvětšený přechodový odpor,
- přístroj, spotřebič nebo zařízení.[2]

Mnoho těchto jevů má vlastní mechanismus vzniku a porušení. Zkrat a přetížení patří mezi hlavní příčiny požáru. Zkrat (short-circuit) vzniká v důsledku jiných jevů a nejedná se o prvotní příčinu požáru. V principu jde o vznik značného proudu vlivem zkrácení cesty obvodu a vynechání elektrického zařízení. Může vzniknout při elektrickém výboji (arcing in air), přepětí (overcurrent), vystřelení žhavých částic (ejection of hot particles), ale také jako konečný důsledek jiných jevů, např. mechanického porušení izolace. Přetížení (overload) je samostatný jev vystavení vodiče většímu proudu, než na které je dimenzován. Vlivem toho vznikají v kabelu vysoké teploty a může dojít k zahoření po degradaci izolace. [2, 4, 5]

Nejčastějším problémem bývají vadná spojení (poor connections), kdy dochází vlivem zvětšeného přechodového odporu k přehřívání spoje či dokonce k jiskření/žhnutí ve spoji. Tato vada vzniká čistě vinou špatného navržení či provedení spojení při výrobě. U hliníkových vodičů je problémem ve spojeních také samovolné uvolňování mechanických spojů vlivem tepelné deformace. [2, 5, 6]

Elektrický oblouk (arc) je svítivý elektrický výboj o vysoké teplotě, který prochází přes vzduchovou mezeru mezi vodiči nebo přes vodivé médium jako je zuhelnatělá izolace. Vzniká mezi dvěma vodivými částmi s různým potenciálem. K elektrickému oblouku přes zuhelnatěnou cestu (arcing across a carbonized path) mezi dvěma vodiči oddělenými izolací dochází v případě, pokud v místě většího zahřívání vodiče dojde ke zuhelnatění izolace. Existují dva způsoby vytváření vodivých cest při tepelném porušení izolace, a to vlhké vytvoření a suché vytvoření vodivé cesty (wet and dry tracking). [5, 7]

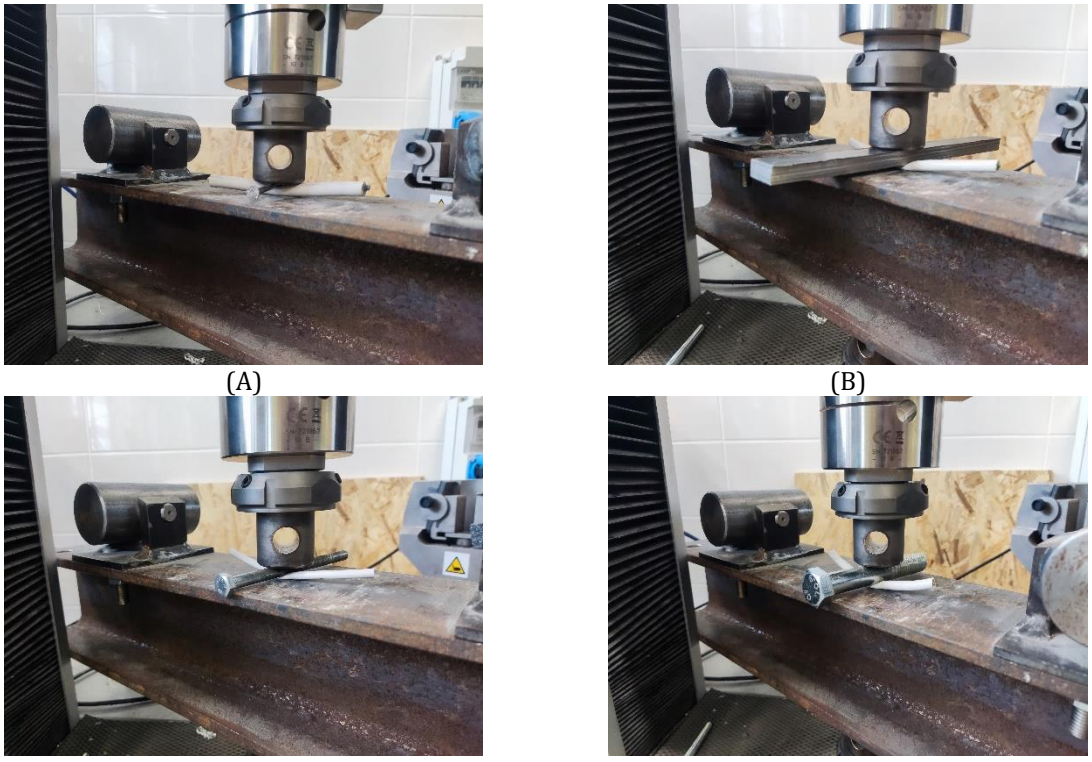
Elektrická jiskra (spark) je termín vyhrazený pro žhnoucí částice, které vznikají v místě dopadu elektrického výboje. Jiskra je také přeskok trvající velmi krátkou dobu, a je nebezpečná pouze pokud jsou v okolí přítomné hořlavé plyny. Jiskra může někdy přejít v malý elektrický oblouk s teplotou okolo 3000°C. [2, 7]

Poslední z uvedených příčin požárů elektroinstalací nesouvisí tak zcela úplně s elektrickou energií, ale spíše s typem elektrického zařízení a jeho nesprávnou obsluhou. Zejména se jedná o elektrické spotřebiče, které pracují s tepelnou energií (např. žehličky, svítidla, vařiče aj.). Ty jsou častou příčinou požáru, pokud nejsou správně zapojeny, nejsou používány správně nebo jsou vadné. Také v případě, že elektroinstalace prochází místem, kde je uložena v tepelné izolaci, dochází k nepříznivému jevu přehřívání, protože není umožněno konvektivnímu ochlazování vodičů a může vzniknout požár, pokud se tento stav spojí s dalším nepříznivým jevem jako například s přepětím. [2, 5, 6]

MECHANICKÉ PORUŠENÍ KABELŮ A SVODOVÝ PROUD

Pro navození primárního zkratu kabelu je třeba, aby vnitřní izolace mezi jednotlivými žílami byla narušena natolik, aby došlo k jejímu průrazu a průchodu elektrického proudu, kterému se říká svodový proud.

V sérii předběžných testů byla zkoumána potřebná zatěžovací síla, která by způsobila dostatečnou deformaci kabelů a porušení vnitřní izolace, aniž by došlo k porušení vnějšího pláště kabelu, úplnému porušení vnitřní izolace nebo celkovému porušení kabelu. Testovanými kabely byly běžně dostupné silové kabely od výrobce HSB Elektro GmbH. Pro tyto testy byly vybrány 4 průřezy kabelů 0,5 mm^2, 1 mm^2, 1,5 mm^2 a 2,5 mm^2. Experimentální zařízení a metodika byla zvolena na základě výpočtu síly, jakou by mohl působit předpokládaný nábytek, který se běžně vyskytuje v domácnosti. Bylo využito zařízení na testování materiálů v tahu Galdabini Quasar 100. Jeho výhodou je, že dokáže působit i malým zatížením v tlaku na rozdíl od běžného lisu. Během testu byly kabely zatěžovány rychlostí 0,5 mm/min a byly použity různé typy hrotů působících na kabel, pro zjištění nejvhodnějšího tvaru působení. Jednalo se o kulové hroty s průměrem ø 4, 8 a 16 mm a ploché železo o straně 23,5 mm.



(A) (B)

(C) (D)

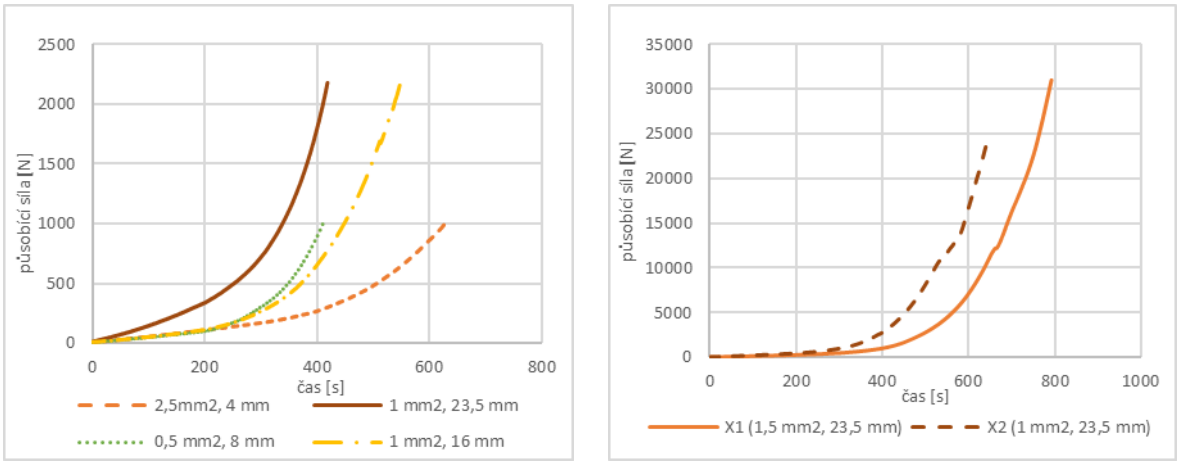
Obr. 2 (A) kabel 2,5 mm^2, hrot ø 4 mm (B) kabel 1 mm^2, hrana ø 23,5 mm (C) kabel 0,5 mm^2, hrot ø 8 mm (D) kabel 1 mm^2, hrot ø 16 mm
Fig. 2 A) cable 2,5 mm^2, point ø 4 mm (B) cable 1 mm^2, edge ø 23,5 mm (C) cable 0,5 mm^2, point ø 8 mm (D) cable 1 mm^2, point ø 16 mm

Záměrem těchto experimentů je navození deformace vnitřní izolace kabelu, tak aby nedošlo ke přímému kontaktu žil, ale pouze ke ztenčení izolace tak, aby se snížila její izolační schopnost a při zatížení kabelů elektrickým proudem nebyla izolace schopná odolávat jeho účinkům, čímž dojde k průrazu izolace a vznikne primární zkrat mezi vodiči. V další fázi testování byl kabel zatěžován až do porušení vnějšího pláště, aby byla zjištěna maximální síla, kterou je kabel schopen přenést.

VÝSLEDKY

Na následujícím grafu jsou shrnuty průběhy zatěžovacích experimentů, dle kterých se podařilo stanovit zatěžovací síly, které budou použity v dalších testech. V první fázi byly testovány různé hroty a průřezy kabelů, z nichž jako nejvhodnější vyšly průřezy 1 mm^2 a 1,5 mm^2. Jako nejvíce věrohodný a realistický hrot byla vybrána hrana 23,5 mm. S těmito komponenty budou provedeny další testy

Při daném způsobu namáhání nebylo pozorováno porušení vnitřní izolace, ale pouze přeskupení výplňového materiálu. Z grafu (A) na Obr.3 je patrný vliv tloušťky kabelu na průběh jeho deformace. Při zatěžování maximální silou se vnější plášť kabelů porušil kolem 11-12 kN, viz graf (B). Vnitřní izolace žil se jen mírně zploštila, ale nenastalo výraznější porušení.



(A) (B)

Obr. 3 (A) Graf dosažených sil v závislosti na čase (B) Graf maximální síly v závislosti na čase
Fig. 3 (A) Graph of applied load versus time (B) Graph of maximal load versus time

ZÁVĚR

Článek shrnuje problematiku a základní poznatky o příčinách požárů elektroinstalace. Hlavně se soustředí na příčiny vzniku požáru primárním zkratem. V řešeném příkladu se článek zabývá navozením mechanického poškození kabelů. Vzhledem k tomu, že ani při maximálním krátkodobém zatížení nedošlo k deformaci vnitřní izolace, je třeba simulovat efekt stárnutí a uvolňování plastifikátoru při dlouhodobém zatěžování v následující fázi testování.

LITERATURA

[1] Rozšířená data ke statistikám požárů poskytnutá Generálním ředitelstvím Hasičského záchranného sboru České republiky.
[2] KVAPILÍK, Zdeněk a Dušan SLÁDEK. Elektrické rozvody na hořlavých materiálech. Ostrava: Montanex, 1995. ISBN 978-80-85780-36-9.
[3] HUANG, Xinyan a Yuji NAKAMURA. A Review of Fundamental Combustion Phenomena in Wire Fires. Fire Technology [online]. 2020, **56**(1), 315–360. ISSN 0015-2684, 1572-8099. Dostupné z: doi:10.1007/s10694-019-00918-5
[4] GARLÍK, Bohumír. Technická zařízení budov: elektrická instalace v budovách. 2017. ISBN 978-80-01-06342-2.
[5] BABRAUSKAS, V. Research on Electrical Fires: The State of the Art. Fire Safety Science [online]. 2008, **9**, 3–18. ISSN 18174299. Dostupné z: doi:10.3801/IAFSS.FSS.9-3
[6] KŮLA, Vladimír a Radek HAVLÍČEK. TZP - Přednášky k předmětu - 2022. In: [online]. B.m. 2022 [vid. 2022-03-16]. Dostupné z: https://bezpecnost.feld.cvut.cz/tzp/TZP_3.pdf
[7] NFPA 921: guide for fire and explosion investigations. S.l.: NFPA, 2020. ISBN 978-1-4559-2646-6.

TOXICKÉ ZPLODINY HOŘENÍ PŘI NEDOSTATEČNÉM PŘÍSUNU VZDUCHU

TOXIC COMBUSTION PRODUCTS IN CASE OF INSUFFICIENT AIR SUPPLY

Bc. Lenka Hadingerová

Abstract
This article combines information about toxicity, the most used materials in the house equipment and dangerous concentrations of the chemicals in combustion products. Composition of the combustion products is very important in every stage of the fire. The impact of the specific chemicals on human behaviour during fire is based on the type of the chemical. Toxic combustion products can slow down the evacuation or even incapacitate people to escape.

Key words: *toxicity; combustion products; flammability; Polyurethane; PVC*

ÚVOD

Toxické chemické látky obsažené ve zplodinách hoření představují riziko ve všech stádiích požáru. V prvotní fázi mohou významně ovlivnit rychlost, průběh a schopnost osob se evakuovat ze zasaženého prostoru. V dalších fázích představují chemické látky obsažené ve zplodinách hoření riziko pro zasahující hasiče a vyšetřovatele příčin požáru.

Z výsledků statistické ročenky Hasičského záchranného sboru České republiky za rok 2021 vyplývá, že v budovách pro bydlení a ubytování za loňský rok vzniklo 3469 požárů. Při nich bylo zraněno 649 a z toho v přímé souvislosti zemřelo 51 osob. Z výše zmíněných důvodů budou dále rozebírány toxické chemické látky vznikající hořením materiálů, vyskytujících se v budovách pro bydlení a ubytování. [1]

TOXICITA

Za hlavní rizikové faktory spojované s požárem a neschopností osob se evakuovat mohou být považovány teplo, kouř a toxické zplodiny hoření. Čas dostupný pro evakuaci představuje interval mezi časem vzniku požáru a časem, kdy osoby nejsou dále schopny samostatného úniku. Neschopnost osob neasistované evakuace může být způsobena působením tepla, zhoršenou viditelností v důsledku zakouřenosti prostoru nebo v neposlední řadě působením toxických zplodin hoření.

Toxické zplodiny se dále mohou být rozděleny na sedm skupin. Hlavní dvě skupiny, které budou dále rozebírány, představují dusivé plyny a dráždivé plyny. [2]

Dusivé plyny způsobují nemožnost buněk přijímat kyslík, člověk se dostává do bezvědomí a poté umírá. Dusivé látky představují inertní prvky, které při dostatečné koncentraci dokážou vyloučit kyslík z těla a způsobit jeho vyčerpání. Za dusivé látky, vyskytující se ve zplodinách hoření, můžeme označit CO, HCN a nepřímo CO_2.[2]

Druhou skupiny představují dráždivé látky. Pobyt v prostředí, kde se tyto látky vyskytují, způsobuje značné omezení rychlosti a orientace, což může vést k neschopnosti úniku. Může docházet zejména k zasažení očí a horních dýchacích cest, při dlouhodobějším vystavení může dojít i k poškození plic. V případě zasažení očí a poškození plic se následky působení dráždivých látek odvíjí od koncentrace a doby pobytu v nebezpečném prostředí. U horních dýchacích cest existuje předpoklad, že poškozen závisí pouze na koncentraci dráždivé látky. Mezi dráždivé látky můžeme zařadit například halogenvodíky (HCl, HF, HBr), NO_2, H_2S. [2]

Obecným přístupem v metodách pro určení toxicity je generování údajů o toxické účinnosti na základě údajů z chemické analýzy experimentů. Nejčastěji určovanou hodnotou je hodnota smrtelné koncentrace LC_{50}, která je definována jako koncentrace, která způsobí úhyn poloviny populace, která byla vystavena účinkům toxického prostředí pro určitý časový interval, obvykle 30 minut. Shrnutím smrtelných koncentrací jednotlivých chemických látek v prostředí vzniká dílčí efektivní dávka FED. Hodnota FED může být určeny čtyřmi rozdílnými rovnicemi. Dvě rovnice převzaté z ISO 13344 (N-gas model, Pruserův model) a dvě rovnice z ISO 13571. Další používanou metodou popisující toxicitu chemických látek je hodnota koncentrace způsobující 50 % pokles frekvence dýchání RD_{50}. Tato metoda je využívána u malorozměrových testů pro řadu materiálů. Běžně se test provádí na hlodavcích, konkrétně na myších. Test RD_{50} funguje jako užitečná kvantitativní metoda pro srovnání dráždivých vlivů jednotlivých chemických látek a směsí ve zplodinách hoření. Intenzitu odezvy myší je možné použít jako prediktivní scénář pro závažnost účinků u lidí, neboť vliv dráždivých látek i reflexy u myší jsou velmi podobné těm lidským. [2]

Tab. 1 Porovnání smrtelného toxického vlivu možných zplodin hoření (při 30 minutové expozici) pro různé druhy zvířat[2, 3]
Tab. 1 A comparison of lethal toxic potencies of potential fire effluents (30 minutes exposure) for different animals [2, 3]

Chemická látka (ppm)	Myši	Krysy	Morčata	Primáti/lidé
Oxid uhelnatý – CO	3500	5000-6000	17500	2500-4000
Kyanovodík – HCN	-	110-220	201	170-230
Chlorovodík – HCl	2644	3800	1350	5000

Hodnoty smrtelně nebezpečných koncentrací potenciálních zplodin hoření u různých druhů zvířat pro expozici trvající 30 minut byly stanoveny na základě experimentů. Z Tab. 1 je možné vypozorovat, že v případě chlorovodíku a kyanovodíku zvládnou primáti odolat až 1,3krát vyšší koncentraci než krysy. Oproti tomu krysy zvládnou odolávat až 1,6krát vyšší koncentraci oxidu uhelnatého. [2, 3]

MATERIÁLY

Plasty představují velkou a rostoucí část požárního zatížení ve veřejném a obytném prostředí. Z tohoto důvodu budou dále představeny materiály z řad plastů, které se vyskytují v budovách pro bydlení a ubytování. [4]

Bylo vybráno pět materiálů. Polyuretan (PU) – konkrétně ve formě flexibilně tvarovatelné pěny a pružných desek, Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Akrylonitrilbutadienstyren (ABS) a Polyvinylchlorid (PVC).

CHEMICKÉ LÁTKY A LIMITNÍ KONCENTRACE

Ve zplodinách hoření se nejčastěji vyskytují dvě skupiny chemických látek, dusivé a dráždivé. Jako zástupce dusivých zplodin můžeme uvést například oxid uhelnatý nebo kyanovodík. Obě tyto chemické sloučeniny vznikají např. při hoření polyuretanu. Druhou skupinu představují dráždivé zplodiny. Jako jejich zástupce můžeme jmenovat halogenvodíky vznikající hořením např. PVC (HCl, HBr, HF). [2, 5]

V následující tabulce jsou představeny hodnoty střední smrtelné koncentrace LC_{50} pro plyny běžné ve zplodinách hoření.

Tab. 2 V současné době přijatelné hodnoty koncentrace LC50 pro plyny běžné ve zplodinách hoření[5]
Tab. 2 Currently accepted 30-min LC50 concentrations for common fire gases[5]

Plyn	Koncentrace (ppm)
CO	5700
HCN	165
HBr	3800
HF	2900

VÝPOČET DÍLČÍ EFEKTIVNÍ DÁVKY (FED)

Rovnice (1) byla převzata z normy ISO 13571 a zahrnuje výpočet dílčí efektivní dávky pro dusivé látky (CO, HCN), ale bez uvážení vyčerpání kyslíku a oxidem uhličitým řízené hyperventilace. [2]

$$FED = \sum_{t_1}^{t_2} \frac{[\mathrm{CO}]}{35000} \cdot \Delta t + \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\exp\left(\frac{[\mathrm{HCN}]}{43}\right)}{220} \cdot \Delta t \quad (1)$$

Výpočet pro oxid uhelnatý při koncentraci uvažované 4000 ppm dle Tab. 1.

$$FED = \sum_{t_1}^{t_2} \frac{[\mathrm{CO}]}{35000} \cdot \Delta t \quad (2)$$

V čase Δt=5 min

$$FED = \sum_{t_1}^{t_2} \frac{[\mathrm{CO}]}{35000} \cdot \Delta t = \frac{4000}{35000} \cdot 5 = 0{,}57 \quad (3)$$

V čase Δt=15 min

$$FED = \sum_{t_1}^{t_2} \frac{[\mathrm{CO}]}{35000} \cdot \Delta t = \frac{4000}{35000} \cdot 15 = 1{,}71 \quad (4)$$

V čase Δt=30 min

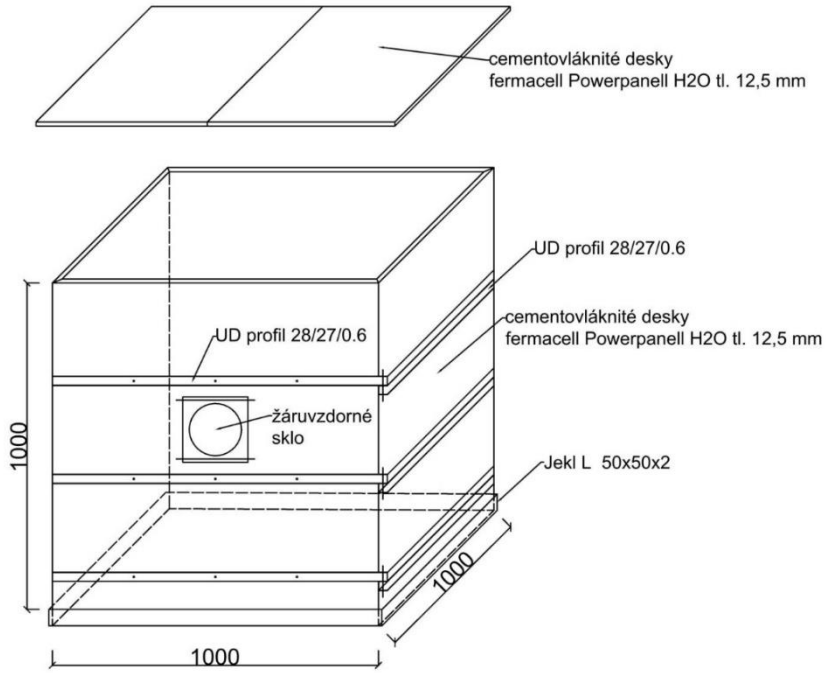
$$FED = \sum_{t_1}^{t_2} \frac{[\mathrm{CO}]}{35000} \cdot \Delta t = \frac{4000}{35000} \cdot 30 = 3{,}43 \quad (5)$$

Dle ISO 13571 je přibližně 11,3 % populace považováno za pravděpodobně náchylné účinkům chemických látek již při hodnotách FED pod hodnotu 0,3. Z tohoto důvodu se při inženýrských výpočtech obvykle používá FED = 0,3. Na výsledcích rovnic 3-5, kde byla použita hodnota koncentrace LC_{50} získaná extrapolací výsledků experimentů na zvířatech, je možné pozorovat, že ve všech případech byla překročena hodnota 0,3. Lze tedy konstatovat, že k ohrožení osob může dojít při mnohem nižších koncentracích, oproti hodnotám stanovených z experimentů na zvířatech, nebo za kratší časový interval. [2]

SMOKEBOX

V návaznosti na literární rešerši bude následovat experimentální měření koncentrace jednotlivých chemických látek ve zplodinách hoření. Měření bude probíhat v nově sestrojeném smokeboxu. Smokebox bude vyroben z cementovláknitých desek fermacell Powerpanell H_2O tloušťky 12,5 mm. Vnitřní rozměry připravovaného měřícího boxu budou přibližně 1 m × 1 m × 1 m. Konstrukce bude vyztužena UD profily. Ve spodní části budou podpůrnou konstrukci tvoři L profily. V jedné z bočních stěn bude vytvořen otvor z vnější strany zakrytý žáruvzdorným sklem, pro

umožnění pozorování dění uvnitř. Smokebox bude opatřen dvoudílným víkem z desek fermacell Powerpanell H2O, které jako celek bude rozměrově větší než samotná konstrukce pod ním.



Obr. 1 Smokebox
Fig. 1 Smokebox

ZÁVĚR

Tento článek představuje stručné shrnutí informací o toxicitě, nejvíce používaných materiálech v budovách pro bydlení a nebezpečných koncentrací chemických látek ve zplodinách hoření. Na základě vypočtených výsledků bylo zjištěno, že hodnoty FED pro koncentrace extrapolované z experimentů přesahují inženýrské limity. Smokebox, představený v poslední části článku, bude použit pro stanovení toxických a iritačních látek ve zplodinách hoření vybraných druhů paliv.

LITERATURA

[1] *Statistická ročenka Hasičského záchranného sboru České republiky 2021*. B.m.: Ministerstvo vnitra-generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky. 2022

[2] STEC, Anna a Richard HULL, ed. *Fire toxicity*. Oxford: WP, Woodhead Publ, 2010. Woodhead Publishing in materials. ISBN 978-1-84569-807-2.

[3] NELSON, Gordon L. a AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, ed. *Fire and polymers: hazards identification and prevention: developed from a symposium sponsored by the Macromolecular Secretariat at the 197th National Meeting of the American Chemical Society, Dallas, Texas, April 9-14, 1989*. Washington, DC: American Chemical Society, 1990. ACS symposium series, 425. ISBN 978-0-8412-1779-9.

[4] HARPER, Charles A., ed. *Handbook of building materials for fire protection*. New York: McGraw-Hill, 2004. McGraw-Hill handbooks. ISBN 978-0-07-138891-7.

[5] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION a SOCIETY OF FIRE PROTECTION ENGINEERS, ed. *SFPE handbook of fire protection engineering*. 3rd ed. Quincy, Mass. : Bethesda, Md: National Fire Protection Association ; Society of Fire Protection Engineers, 2002. ISBN 978-0-87765-451-3.

Sekce B | Navrhování konstrukcí za požáru

OVĚŘOVÁNÍ PŘÍČIN VZNIKU POŽÁRU DŘEVOSTAVEB ZÓNOVÝM MODELEM

VERIFICATION OF CAUSES OF FIRE IN TIMBER BUILDINGS WITH A ZONE MODEL

Bc. Karel Treu

Abstract
This article deals with using a zone model as a tool inside the field of deducing fire causes. It describes how and when it can be used, and which models are preferable than others. It uses a general example of a room with raw timber surfaces modelled in a zone model. A sensitivity analysis is performed on burning of wooden surfaces. The analysis deals with size and number of fires spread over a wall representing dynamics of a burning timber.

Key words: *zone model; CFAST; simulation; fire investigation; fire causes*

ÚVOD

Zjišťování příčin požáru je právně zakotvenou součástí praxe hasičského záchranného sboru již od roku 1960. [1] Soustřeďuje se na stanovení konkrétní příčiny požáru. Je důležitá pro orgány činné v trestním řízení, pro pojišťovny a prevenci. [2] Současný vývoj výpočetní techniky dovoluje vyšetřovatelům užití novodobých metod jak na poli detekčních a analyzačních přístrojů, tak i na poli tvorby ověřovacích numerických modelů. [3]

Modely nejsou přednostně určeny pro ověřování příčin vzniku požáru, ale jejich principy a variabilita je víceoborová a může být využita i v této disciplíně. Omezením využívání pokročilých metod je ale jejich časová a informační náročnost. Běžné vyšetřování příčiny požáru musí být uzavřeno do 30 dnů od zahájení řízení, respektive do 60 dnů od zahájení řízení v komplikovaných případech. [4, 5] Tato práce si proto stanovuje za cíl vytvoření vzorového příkladu v časově efektivnějším (zónovém) modelu i při komplikovanějším zadání stavby.

VÝBĚR MODELU

Dle Kučery [6] lze matematické modely rozdělit na
a) zjednodušené výpočetní,
b) deterministické a
c) pravděpodobnostní modely.

Zjednodušené výpočetní metody slouží především k analytickému vyjádření některých procesů požáru a využívají tabulkové procesory nebo základní programy. Deterministické metody zjišťují průběh požáru skrze fyzikální a chemické děje. Fyzikální vstupy zahrnují požární zatížení, výměnu plynů s okolím a popis prostoru. Rozsah deterministických modelů je široký, stejně tak jako množství a požadovaná přesnost vstupních údajů jednotlivých modelů. Lze je rozdělit na zónové modely, CFD modely (dříve známé jako modely typu pole) a simulační modely, které kombinují deterministický a pravděpodobnostní přístup k modelování požáru. Pravděpodobnostní modely vychází z teorie pravděpodobnosti. Jádrem je náhodný pokus, který umožňuje obdržet výsledek bez dostatečných počátečních či okrajových podmínek. Při jednotlivých opakování výpočtu nedochází ke stejným výsledkům, a proto se v oblasti modelování požáru příliš nevyužívají. [6]

Zónové modely pracují s parciálními diferenciálními rovnicemi pro zachování hmoty a energie mezi jednotlivými vrstvami. Zjišťují dění na hranici vrstev a převážně uvažují konstantní hodnoty v dané vrstvě. Pracují s rovnováhou hmoty plynů vrstev a rovnicemi zachování energie, ale rovnice zachování hybnosti zcela opomíjejí. Předností zónových modelů je jednoduchost jejich řešení. Nedostatkem je výrazné zjednodušení problematiky či nemožnost popisu atypických prostor jako

jsou šachty či tunely, kde je dynamika vývoje požáru odlišná od dynamiky v běžné místnosti. Jejich přesnost se snižuje u prostorů s nízkým stropem za vysokých výkonů požáru. Některé zónové modely dále neumí správně pracovat se vzestupným sloupcem hoření (fire plum), kde se nesmí modelovat fire plum v blízkosti okenních otvorů, jelikož model nezohledňuje odklon slupce vlivem vzduchu vstupujícího či vystupujícího do a z místnosti. [7]

Podle Kučery a Pezdové [7] jsou CFD modely výrazně komplikovanější než modely zónové a pokrývají celou řadu problémů, které nejsou zónové modely sto pojmout. Například mohou zahrnovat vliv teplotního gradientu v prostoru, stejně jako vliv venkovního tlaku vzduchu. V jádru se nenachází zóny, ale jednotlivé kvádry daných rozměrů (velikost dle citlivostní analýzy), které přesněji simulují daný prostor. Nevýhodou CFD modelů je komplikovanost zadávání vstupních dat a vysoké požadavky na hardware a modelační a výpočtový čas.

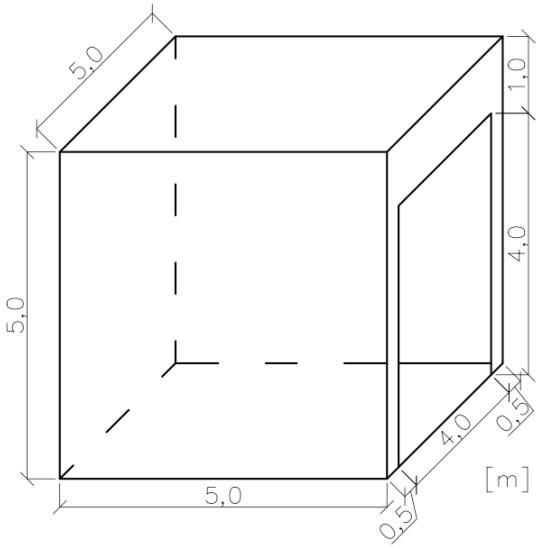
Mezi nejrozšířenější zónové modely patří programy B-RISK, CFAST, OZone či ARGOS. CFAST ve verzi 7.7.2. byl vybrán za nejvhodnější program pro řešení vzorového příkladu.

VÝBĚR VZOROVÉHO PŘÍKLADU

Vytvoření modelu místnosti s obvodovými konstrukcemi na bázi dřeva je komplikovanější druh stavby. Zónový model dovoluje tvorbu mnoha proměnných jak volných, tak vázaných. Z daného modelu lze tvořit studie a porovnávat výsledky se skutečným požárem. Studie mohou být provedeny například na:

a) různé povrchy stavebních materiálů na bázi dřeva jako je dřevotříska, lepené lamelové dřevo, či různé druhy dřevin,
b) iniciační zdroje a druhy iniciačního paliva od táboráku po benzín,
c) velikost a typ požáru od nekontrolovaného až po požár detekovaný stabilní hasícím zařízením,
d) geometrii prostoru a druhy ventilace od přirozeně ventilovaného až po prostor s nuceným větráním či prostor dobře odvětraný až po prostor málo větraný,
e) polohu a výšku iniciačního zdroj od umístění ve středu místnosti po umístění v rohu místnosti,
f) orientaci měřících terčů a v neposlední řadě na
g) rozhořívání dřevěných povrchů ve smyslu citlivostní analýzy hoření dřevěných povrchů.

VSTUPY A PROMĚNNÉ



Obr. 1 Geometrie místnosti
Fig. 1 Geometry of the room

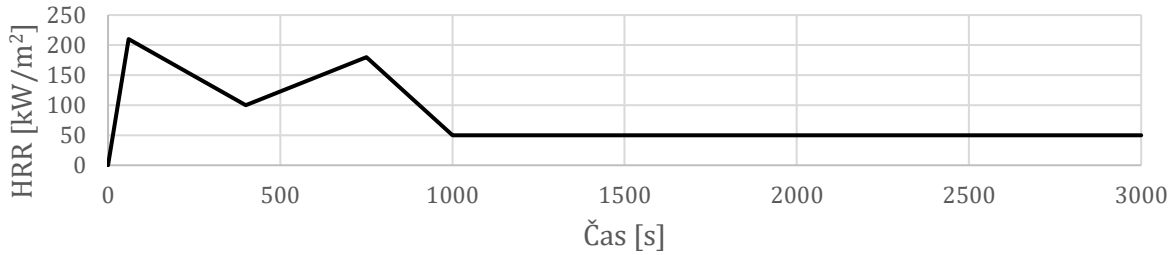
Obecné nastavení simulace dovoluje tvořit citlivostní analýzu výpočtového časového kroku či okrajových teplotních a tlakových podmínek. Pro simulaci byla vybrána počáteční teplota 20 °C v interiéru i exteriéru při tlaku 101 325 Pa. Výpočet probíhal 3 000 s.

Geometrie teoretické místnosti byla vybrána dle obr. 1. Již na takto triviální geometrii lze ověřit řadu možných indikací vzniku a šíření požáru a může sloužit pro ověření kriminalistického ohniska požáru. Na výsledcích lze pozorovat postupnou dynamiku a směr šíření požáru dřevěných povrchů, maximální či průměrné teploty a další indikace kriminalistických ohnisek.

Geometrie prostoru byla vybrána s ohledem na studii rozhořívání povrchů tak, aby nedocházelo k přechodu z dvouzónového na jednozónový model prostorovým vzplanutím. To je zabráněno dostatečným odvětráním prostoru skrze stále otevřený otvor. Tepelné vlastnosti všech stavebních dřevěných povrchů byly uvažovány za běžný dřevěný stavební materiál – dub podle tab. 1 [8]. HRR křivka odhořívání dřevěných stěn se uvažuje dle obr. 2 [9]

Tab. 1 Vlastnosti dubové stavební masivní kulatiny
Tab. 1 Material properties of oak timber

Vlastnost	Symbol	Hodnota	Jednotka
Hustota	ρ	650	kg/m^3
Tepelná vodivost	λ	0,243	kW/m/K
Emisivita	ε	0,885	-
Měrná tepelná kapacita	c	2,386	kJ/kg/K
Bod zápalnosti	T	300	°C
Tloušťka materiálu	d	0,2	m



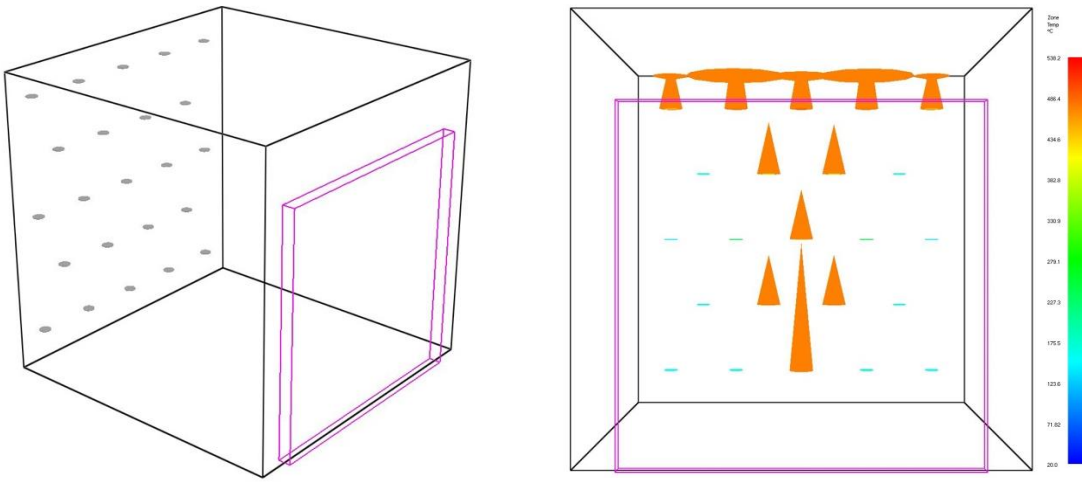
Obr. 2 HRR dub
Fig. 2 HRR oak

Rovnoměrně po povrchu jedné z bočních stěn byly rozmístěny požáry (fire) zastupující hořící povrch a simulující postupné rozhořívání. Iniciace požáru byla uvažována ve výšce 0,5 m nad podlahou uprostřed stěny v její blízkosti o konstantní zátěži 300 kW. Následně byla provedena citlivostní analýza velikosti povrchu přeřazenému k jednotlivému požáru.

ZÁVĚR

Tři varianty rozvržení požárů na stěně simulují postupné rozhořívání povrchu. V první variantě jednotlivé požáry zastupovaly 2,7 m^2 dřevěného povrchu stěny, v druhé 1,0 m^2 povrchu dřevěné stěny a ve třetí 0,25 m^2 dřevěného povrchu stěny.

V případě prvním bylo rozmístěno 8 požárů, každý zastupující plochu 2,7 m^2. V tomto případě nebyl dosažen dostatečný počet požárů a nebylo možné sledovat postupné rozhořívání povrchu. V druhém případě bylo rozmístěno do prostoru celkem 23 požárů, každý zastupující plochu 1 m^2. Dle obr. 3 lze pozorovat, že k postupnému rozhořívání dochází a požár se šíří dle fyzikálních zákonitostí. V případě třetím bylo do plochy rozmístěno do prostoru 25 m^2 celkem 95 požárů, každý zastupující plochu 0,25 m^2. Jemnější dělení prostoru vedlo k přesnějšímu sledování postupného hoření, však základní charakteristika daného požáru zůstala stejná jako při druhém případě.



(A) *(B)*

Obr. 3 (A) Rozmístění požárů při 1 m²; (B) Hoření při nejvyšších dosažených teplotách při 1 m²
Fig. 3 (A) Layout of fires using 1 m²; (B) Active fires while the highest temperature using 1 m²

Vytvořená simulace dokazuje, že lze úspěšně využívat dvouzónový výpočetní model pro vyšetřování příčin požáru i pro komplikovanější situace. Využit byl teoretický příklad jednoduché místnosti s dřevěnými dubovými povrchy. Následně byla provedena citlivostní analýza na postupné rozhořívání dřevěných povrchů. Metoda má potenciál uplatnění v praxi při vyšetřování příčin vzniku požáru na rozdíl od sofistikovanějších metod pomocí CFD modelů. Je méně náročná na informační a časovou rovinu.

LITERATURA

[1] PEKAR, Vasil Silvestr. *Zjisťování příčin požárů v rámci státního požárního dozoru*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2011. ISBN 978-80-7385-107-1.

[2] BANASINSKÝ, Vladislav a Petr ŠEVEČEK. *Zjišťování příčin požáru*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, 1995. ISBN 978-80-7078-270-5.

[3] PŘICHYSTAL, Lukáš. *Nové metody používané při zjišťování příčin vzniku požáru*. Brno, 2011. VUT.

[4] MELKOVÁ, Leona. *Správní delikty na úseku požární ochrany*. Brno, 2006. Rigorózní práce. Právnická fakulta Masarykovy univerzity.

[5] *Zákon č. 500/2004 Sb., správní řád*

[6] KUČERA, Petr. *Aplikace inženýrských metod v požární ochraně*. 2020. ISBN 978-80-7385-246-7.

[7] KUČERA, Petr a Zdenka PEZDOVÁ. *Základy matematického modelování požáru*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2010. ISBN 978-80-7385-095-1.

[8] GRODA, Bořivoj. *TERMOMECHANIKA A HYDROMECHANIKA termodynamické tabulky*. B.m.: Vysoká škola zemědělská v Brně. 1991

[9] INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF SPRUCE AND OAK WOOD HEAT TREATMENT UPON HEAT RELEASE RATE AND PROPENSITY FOR FIRE PROPAGATION IN THE FLASHOVER PHASE. *Acta Facultatis Xylologiae Zvolen* [online]. 2016, (58(1)) [vid. 2022-05-22]. ISSN 1336-3824. Dostupné z: doi:10.17423/afx.2016.58.1.01

VLIV PRŮBĚHU POŽÁRU NA ZUHELNATĚNÍ DŘEVA

INFLUENCE OF FIRE BEHAVIOUR ON TIMBER CHARRING

Bc. Marie Křišťanová

Abstract
The paper presents the summary of work focusing on timber charring during natural fire. Current work describes methods of modelling of timber charring through analytical calculations and performance-based methods. There is an effort to investigate possibilities, how to take into account the behaviour of natural fire. In the second part, the experiments of timber exposed to natural fire are presented. The pieces of knowledge from passed experiments are compared to the prescriptive Eurocode attitude and the conclusions about the safety of fire design are made. The last part of paper is engaged in practical example to apply the investigated pieces of knowledge – experiment of timber elements exposed to natural fire.

Key words: *wood; charring; natural fire; charring rate; isotherm 300 °C; fire test*

ÚVOD

Jednou z největších výzev požární bezpečnosti je stanovení dostatečně bezpečných, a zároveň přijatelných podmínek pro užívání hořlavých materiálů ve stavebních konstrukcích. Dřevo, i přes svou hořlavost, má řadu výhod – jedná se o obnovitelný, přírodní materiál s architektonickým potenciálem. Poptávka po dřevu jako stavebním materiálu stále stoupá a s ním i snaha zajistit potřebnou odolnost při požáru.

Předpisy, podle kterých je určována požární odolnost dřevěného prvku, předpokládají vystavení normovému požáru. Normový požár oproti přirozenému požáru nezohledňuje parametry, jako je množství požárního zatížení, podmínky ventilace aj. Dle níže citované literatury mají tyto parametry zásadní vliv na chování dřeva za požáru, a tím i na samotnou rychlost zuhelnatění. Hloubka zuhelnatění je hlavní veličina, ze které vychází výpočet požární odolnosti prvku. Pro předpověď reálného průběhu zuhelnatění je možné využít pokročilé způsoby stanovení hloubky zuhelnatění pomocí numerických modelů. Cílem tohoto článku a celé semestrální práce je poskytnout analýzu teoretických poznatků o zuhelnatění dřeva a vlastních závěrů z požárních experimentů.

MODELY STANOVENÍ HLOUBKY ZUHELNATĚNÍ

Hloubku zuhelnatění dřeva je možné stanovit z rychlosti zuhelnatění nebo využít pokročilých modelů. V platné normě ČSN EN 1995-1-2 [1] jsou uvedeny hodnoty rychlostí zuhelnatění pro různé druhy dřeva. Tyto hodnoty odpovídají expozici normovému požáru a jsou v čase konstantní. Pro průběh požáru dle parametrických křivek, které již zohledňují některé parametry požáru, jsou rychlosti zuhelnatění stanoveny v Příloze A stejné normy [1]. Faktory požáru, jako je tepelný tok nebo koncentrace kyslíku, jsou zavedeny v rovnicích dle Hietaniemiho a Mikkoly [2]. Obě rovnice popisují závislost rychlosti zuhelnatění na čase a nejsou omezeny pouze na normové požáry.

Pokročilé metody zpravidla využívají pro stanovení hloubky zuhelnatění hranici definovanou izotermou. Nejčastěji se jedná o izotermu 300 °C, která je doporučena i v Příloze B normy ČSN EN 1995-1-2 [1]. Rozložení teplot po průřezu je možné získat pomocí pokročilých modelů, které využívají rovnice sdílení tepla. Existují také empirické vztahy pro rozložení teploty po průřezu, viz rovnice od Buchanana a kol. [3], která definuje teploty v jednotlivých vrstvách dřevěného prvku.

V pokročilém modelování je třeba zadat vhodné tepelné vlastnosti dřeva (Jürgen König [4]). Tepelný rozklad je simulován kinetickými součiniteli pyrolýzy dřeva, které mají významný vliv na průběh teplot za požáru. Kromě obecně užívaných numerických modelů existují i speciální pokročilé modely vycházející z experimentálních dat přirozených požárů, viz model PyCiF vyvíjený Robertem Pečenkem a Tomášem Hozjanem [5]. Tento model umožňuje urychlit odhad zuhelnatělé vrstvy a je založen na detailním popisu fyzikálních jevů při hoření dřeva. Další variantou je využití zónového modelu se submodelem zuhelnatění a kalibrací pyrolýzy dřeva, díky které podle C. Wadea [6] není podhodnocováno zuhelnatění během fáze dohořívání.

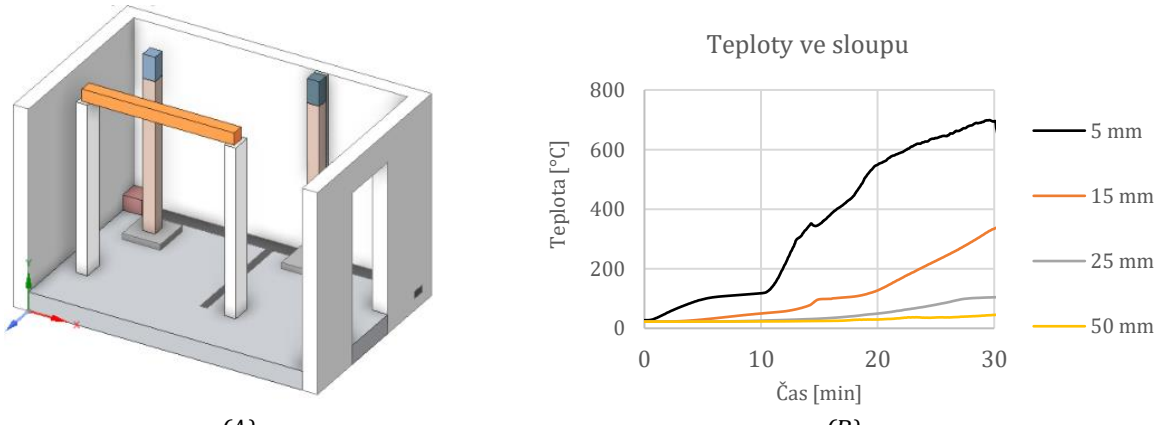
VLIV PŘIROZENÉHO POŽÁRU NA ZUHELNATĚNÍ DŘEVA

Skutečné účinky přirozeného požáru na chování dřeva jsou pozorovávány z experimentů. Aktuální stav výzkumu neposkytuje jasnou a jednoznačnou představu ohledně vlivu přirozeného požáru na zuhelnatění. Výsledky z experimentů naopak vyvracejí použitelnost a konzervativnost jednoduchého přístupu v ČSN EN 1995-1-2 pro scénář přirozeného požáru. Na experimentech s CLT (F.Wiesner [7], J. Ch. Mindeguia [8]) jsou dokázány nelineárně rostoucí a obecně vyšší rychlosti zuhelnatění, než poskytuje norma [1]. Největší rychlost zuhelnatění je zaznamenána u scénáře přirozeného požáru s pomalejším rozvojem, dosahujícího stejných maximálních teplot okolních plynů jako u normového požáru. Jedná se o požár s nejmenším faktorem součinitele otvorů [8]. Důvodem je pravděpodobně dlouhodobé působení vysokých teplot. Jako důsledek tohoto působení a nástupu chladnoucí fáze může nastat dřívější kolaps nosného dřevěného prvku ([7], [8]). Stejně tak u zkoušek lepeného dřeva z japonského modřínu (H. Kinja a kol. [9]) je během chladnoucí fáze sledováno odlišné chování a pokles skutečné požární odolnosti oproti vypočtené hodnotě.

Experimenty J. Schmida a kolektivu v přístroji FANCI [10] poukazují na vliv turbulence na průběh zuhelnatění. Vyšší stupeň turbulence umožňuje častější kontakt zuhelnatělé vrstvy s plyny, a tudíž i rychlejší zuhelnatění. Tento jev se vyskytuje spíše u lokálních požárů, kde je vlivem rozdílných teplot okolo konstrukcí proudění plynů větší a dochází tak k vyšším turbulencím. Viz požární experiment v další kapitole, kde je též dřevěný prvek vystaven lokálnímu požáru.

POŽÁRNÍ EXPERIMENT

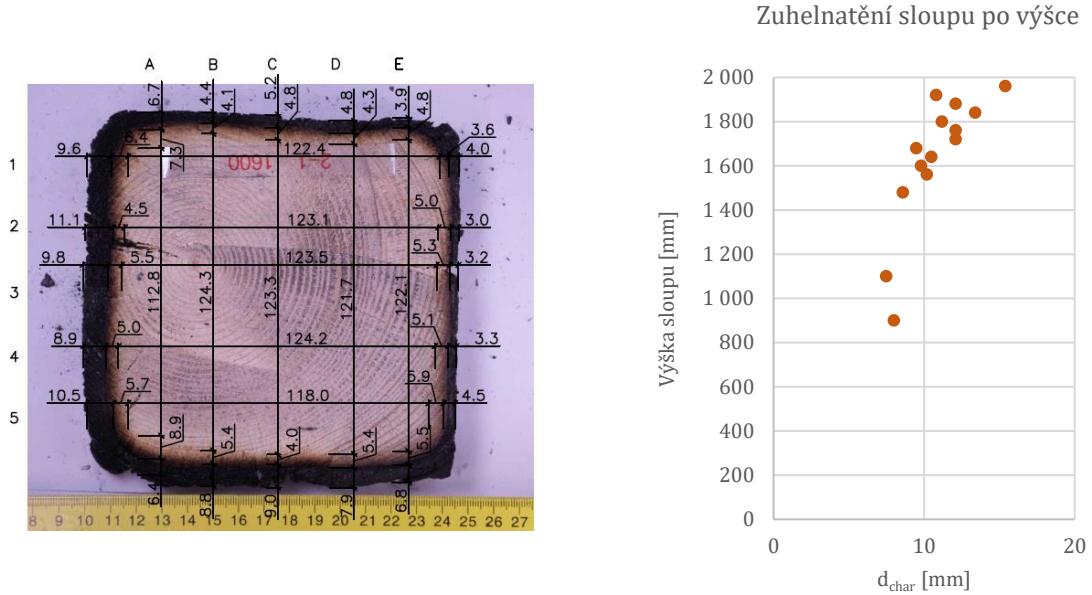
Součástí práce je experimentální výzkum. Jedná se o dvě požární velkorozměrové zkoušky dřevěných prvků vystavených přirozenému požáru. Na obrázku 1A je ukázáno rozmístění vzorků ve zkušebním zařízení (nosník a dva sloupy). Zkoušky byly provedeny v Room Corner Testu (RCT). Výkon hořáku v prvních 10 minutách byl nastaven na 100 kW a dalších 20 minut na 300 kW.



(A) *(B)*

Obr. 1 (A) Umístění vzorků v RCT; (B) Teploty sloupu 2-1 v různých hloubkách
Fig. 1 (A) Location of elements in RCT; (B) Temperatures of column 2-1 in different depths

Termočlánky byly umístěny v různých hloubkách dřevěných vzorků. Na obrázku 1B jsou zobrazeny naměřené teploty z termočlánků ve výšce 700 mm sloupu 2-1 (blíže k hořáku). Dalšími výstupy jsou skutečné hloubky zuhelnatění získané z fotografického vyhodnocení jednotlivých řezů vzorků po zkoušce (obrázek 2A). Z fotografií lze vyčíst hloubku zuhelnatění, pyrolýzu a rozměry účinného průřezu. Na obrázku 2B jsou vykresleny hodnoty finálních hloubek zuhelnatění po výšce sloupu 2-1 měřených na straně přivrácené k požáru.



(A) *(B)*

Obr. 2 (A) Fotografie měřeného řezu; (B) Výsledná hloubka zuhelnatění po výšce sloupu 2-1
Fig. 2 (A) Photo of measured section; (B) Final charring depth along height of column 2-1

Z naměřených teplot lze vysledovat polohu izotermy 300 °C. Ta v případě sloupu 2-1 předpovídá téměř shodnou rychlost zuhelnatění s normovou hodnotou, tj. 0,53 mm/min. Ze skutečných hloubek zuhelnatění naměřených po zkoušce lze odvodit, že maximální hloubky zuhelnatění jsou u vrcholu sloupu (obrázek 2B), a odpovídají rychlosti zuhelnatění 0,5 mm/min. Jedná se pouze o odhad, jelikož lze předpokládat, že rychlost zuhelnatění není v případě přirozeného požáru v čase konstantní. Z obrázku 2B je dále možné odvodit, že rychlost zuhelnatění po výšce sloupu je ovlivněna rozložením teplot po výšce sloupu v průběhu požáru.

ZÁVĚR

Cílem tohoto článku je představit významné faktory ovlivňující zuhelnatění dřeva během přirozeného požáru. Jak již bylo zmíněno, existuje mnoho parametrů, mnoho scénářů přirozeného požáru, a ještě více vědeckých přístupů. Pro bližší pochopení a popsání zuhelnatění dřeva je třeba nejen dalších experimentů, ale zejména vhodného zpracování a popsání získaných dat tak, aby bylo možno je porovnat.

Výsledná data z vlastních experimentů jsou srovnatelná s normovými hodnotami, přesto je otázka, zda je možné je považovat za porovnatelná. Je tím míněna například nejistota ohledně linearity rychlosti zuhelnatění. Experimenty dokazují vliv umístění vzorku, orientace vzhledem k hořáku a výkon hořáku (zdroj požáru) na rychlost zuhelnatění. Výslednou hloubku zuhelnatění ovlivňují také faktory jako jsou trhliny, suky a tvar průřezu. Data jsou určena k další analýze pro lepší srovnání. Jedná se komplexní problematiku, kterou je třeba dále zkoumat.

PODĚKOVÁNÍ

Autorka článku Marie Křišťanová děkuje za podporu Grantové agentuře České republiky na projektu GAČR 301-3012107a132 „Charring of timber under fully developer fire – Stochastic modelling.

LITERATURA

[1] Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru

[2] ZUZANA KAMENICKÁ a JAROSLAV SANDANUS. Methods for determining the charring rate of timber and their mutual comparison. Wood Research. 2018, **2018**(63(4)), 8 stránek. ISSN 1336-4561.

[3] BUCHANAN, Andrew H. a Anthony K. ABU. Structural Design for Fire Safety [online]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2016 [vid. 2022-05-20]. ISBN 978-1-118-70040-2. Dostupné z: doi:10.1002/9781118700402

[4] KÖNIG, Jürgen. Effective thermal actions and thermal properties of timber members in natural fires. Fire and Materials [online]. 2006, **30**(1), 51–63. ISSN 0308-0501, 1099-1018. Dostupné z: doi:10.1002/fam.898

[5] ROBERT PEČENKO a TOMAŽ HOZJAN. Sensitivity analysis of a PyCiF model. In: Applications of Structural Fire Engineering. Ljubljana, Slovenia: University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Ljubljana, Slovenia, 2021.

[6] WADE, Colleen, Danny HOPKIN, Michael SPEARPOINT a Charles FLEISCHMANN. Calibration of a coupled post-flashover fire and pyrolysis model for determining char depth in mass timber enclosures. In: 11th International Conference on Structures in Fire (SiF2020): Proceedings of the 11th International Conference on Structures in Fire (SiF2020) [online]. Online: The University of Queensland, 2020 [vid. 2022-03-08]. ISBN 978-1-74272-343-3. Dostupné z: doi:10.14264/20b5cf6

[7] WIESNER, Felix, Alastair BARTLETT, Siyimane MOHAINE, Fabienne ROBERT, Robert MCNAMEE, Jean-Christophe MINDEGUIA a Luke BISBY. Structural Capacity of One-Way Spanning Large-Scale Cross-Laminated Timber Slabs in Standard and Natural Fires. Fire Technology [online]. 2021, **57**(1), 291–311. ISSN 0015-2684, 1572-8099. Dostupné z: doi:10.1007/s10694-020-01003-y.

[8] MINDEGUIA, Jean-Christophe, Siyimane MOHAINE, Luke BISBY, Fabienne ROBERT, Robert MCNAMEE a Alastair BARTLETT. Thermo-mechanical behaviour of cross-laminated timber slabs under standard and natural fires. Fire and Materials [online]. 2021, **45**(7), 866–884. ISSN 0308-0501, 1099-1018. Dostupné z: doi:10.1002/fam.2938

[9] KINJO, H., T. HIRASHIMA, S. YUSA, T. HORIO a T. MATSUMOTO. Fire performance, including the cooling phase, of structural glued laminated timber beams. Journal of Structural Fire Engineering [online]. 2016, **7**(4), 349–364. ISSN 2040-2317. Dostupné z: doi:10.1108/JSFE-12-2016-024

[10] SCHMID, Joachim, Antonio TOTARO a Andrea FRANGI. The behaviour of timber in fire including the decay phase - charring rates, char recession and smouldering. In: 11th International Conference on Structures in Fire (SiF2020): Proceedings of the 11th International Conference on Structures in Fire (SiF2020) [online]. Online: The University of Queensland, 2020 [vid. 2022-02-24]. ISBN 978-1-74272-343-3. Dostupné z: doi:10.14264/96c0db4

POŽÁRNÍ ODOLNOST LEHKÝCH STŘEŠNÍCH PLÁŠŤŮ S TRAPÉZOVÝMI PLECHY

FIRE RESISTANCE OF LIGHTWEIGHT ROOF SHEETS WITH TRAPEZIODAL SHEET METAL

Bc. Lenka Netušilová

Abstract
This paper deals with the possibility of using the stress skin effect to stabilize structural elements at normal temperatures and at elevated temperatures in case of fire. First, the stress skin effect and its effect on the structure at normal temperature are explained. The next section describes the stress skin effect at elevated temperature in case of fire.

Key words: *Stress skin effect; cladding stabilization; membrane action; trapezoidal sheet; fire resistance*

ÚVOD

Lehké střešní pláště z trapézových plechů jsou využívány nejen jako systém zastřešení, ale také k zajištění dodatečné stability konstrukčních prvků a celé budovy pomocí plášťového působení. Ke stabilizaci konstrukce a jejích prvků za běžných teplot je v Evropě střešní plášť využíván od 70. Let. Záměrem této práce je zjistit, je-li možné využít stabilizačního účinku i za požáru.

PLÁŠŤOVÉ PŮSOBENÍ

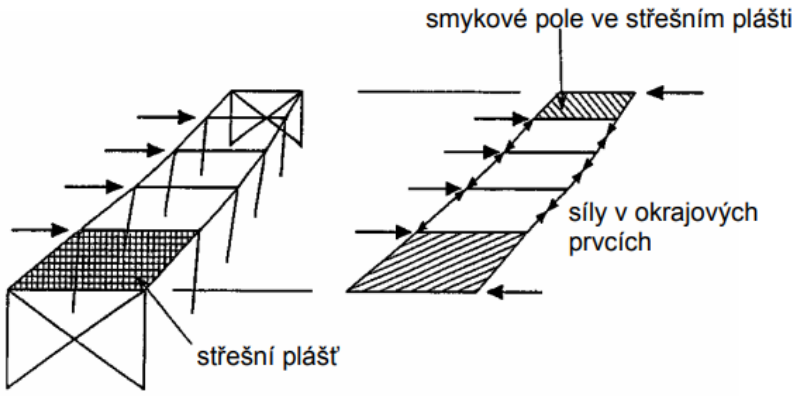
Kromě primární statické funkce se u střešních plášťů z trapézových plechů využívá i plášťové působení. Díky plášťovému působení je možné přenášet působící zatížení smykem v rovině pláště. Střešní plášť z trapézových plechů tvoří plošná diafragmata, která s konstrukcí spolupůsobí jako kombinovaný sytém. Pokud jsou diafragmata vhodně připojena k nosné konstrukci namáhané smykem v rovině, přispívají ke zvýšení tuhosti a únosnosti těchto polí. Pomocí návrhu s využitím plášťového působení je možné do výpočtu tuhosti a únosnosti konstrukce zahrnout příspěvek diafragmového působení trapézových plechů. [1]

PODMÍNKY PRO POUŽITÍ PLÁŠŤOVÉHO PŮSOBENÍ

Podmínky a doporučení pro použití plášťového působení jsou uvedeny v evropské směrnici ECCS. Pro využití plášťového působení je nutné mimo jiné zajistit, aby podélné okrajové prvky diafragmat přenášely zatížení. Dále musí být zajištěné vhodné konstrukční přípoje, plášť musí být součástí konstrukce. Otvory je nutné omezit na 15% plochy profilu. Pokud otvory zabírají méně než 3% plochy profilu, je možné tyto otvory zanedbat ve výpočtu. Střední smykové napětí v diafragmatu musí být menší než 25% návrhové hodnoty meze kluzu. Plášťové působení se nevyužívá při montáži. Pro krátké budovy a nízké budovy je uvažována únosnost a tuhost diafragmat pro vodorovné nebo svislé ztužení dostatečná. [2]

PRINCIP PLÁŠŤOVÉHO PŮSOBENÍ

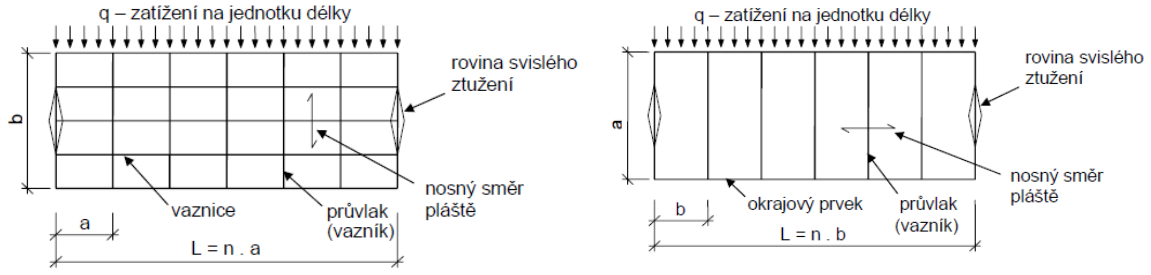
Na Obr. 1 je znázorněný princip plášťového působení na střešním plášti haly. Nosná konstrukce střechy může být řešena jako vysoké plnostěnné nosníky, které nesou příčná zatížení působící v jejich rovině. Ta jsou dále roznášena do štítových stěna nebo do mezilehlých konstrukcí. Střešní plášť se chová jako stojina nosníku a je namáhaný smykem. Podélné okrajové prvky se chovají jako pásnice, které odolávají osovému tahu a tlaku. U plochých střech pomáhá střešní plášť přenášet vodorovná zatížení.[1]



Obr. 1 Plášťové působení střešního pláště haly s plochou střechou [1]
Fig. 1 The stress skin effect of the roof of the hall with flat roof [1]

SMYKOVÁ DIAFRAGMATA

Smyková diafragma je základním konstrukčním celkem v teorii plášťového působení. Na Obr. 2 je vidět možnosti uspořádání smykových diafragmat. Plášť je možné pnout kolmo na délku budovy (A) nebo rovnoběžně s délkou budovy (B). Připojení pláště k prvkům je možné rozdělit na dva základní případy připojení diafragmat. Plášť může být připojen na všech čtyřech stranách, nebo jen na dvou protilehlých stranách. Připojení na všech čtyřech stranách diafragmatu je označováno jako přímý přenos smyku, připojení na dvou protilehlých stranách je označováno jako nepřímý přenos smyku. Čtyřstranné připojení má vyšší tuhost a únosnost než dvoustranné připojení. Čtyřstranné připojení je možné provést pomocí smykových spojek mezi průvlaky a pláštěm, nebo provedením horních líců průvlaků a vaznic v jedné rovině. [1]



(A) *(B)*

Obr. 2 Způsoby pnutí pláště: (A) kolmo na délku budovy, (B) rovnoběžně s délkou budovy [1]
Fig. 2 Methods of sheeting spanning: (A) perpendicular to the length of the building, (B) parallel to the length of the building [1]

Plošná diafragmata z trapézového plechu zajišťují pomocí plášťového působení nosníky proti ztrátě stability, pokud jsou správně připevněná k nosníkům. Stabilizační funkci mohou mít úplnou nebo částečnou. Stabilizační funkce úplná zabraňuje klopení nosníků pomocí smykových diafragmat. K selhání v tomto případě dochází jiným způsobem. Při částečné stabilizaci je důvodem selhání ztráta stability nosníků. K této ztrátě stability však dochází při vyšších zatíženích, než pokud by smyková diafragmata nebyla. [1]

PORUŠENÍ DIAFRAGMAT

Porušení diafragmat, které jsou rozhodující pro návrh, můžou nastat vlivem trhání plechu podél řady spojů ve spáře mezi díly plechu, nebo vlivem trhání plechu podél řady přípojů ke smykové spojce. Dále může k porušení dojít vlivem trhání plechu v přípojích k vaznici, nebo pokud dojde

k selhání konce profilu plechu, při smykovém boulení plechu, nebo při porušení koncového prvku v tahu nebo tlaku. [1]

STABILIZACE TRAPÉZOVÝMI PLECHY ZA POŽÁRU

Návrhem stabilizace konstrukce obvodovýma střešním pláštěm za zvýšené teploty při požáru se zabýval projekt STABFI. Cílem projektu STABFI bylo získat dostatek informací o stabilizačním účinku trapézových plechů za požáru a tento účinek zohlednit v návrhu. Projekt byl zaměřen na jednopodlažní průmyslové a komerční budovy a skládal se z devíti částí. Šestá část projektu se zabývala stabilizací celé budovy sendvičovými panely a trapézovými plechy. Tato část měla za cíl simulovat konstrukci budovy se třemi středními rámy. [3]

V rámci této části projektu byla provedena parametrická studie. Studie byla provedena pro okrajové podmínky založení sloupů (kloub a vetknutí), protipožární ochrany sloupů (s nebo bez), přirozený požár, normová teplotní křivka. Sledována byla požární odolnost ve dvou případech. V prvním případě byla stabilizace konstrukce tvořena stěnovými a střešními ztužidly a nebyl uvažován stabilizační účinek střešního pláště. Ve druhém případě byl uvažován stabilizační účinek opláštění stěn sendvičovými panely a střešního pláště z trapézových plechů bez střešních a stěnových ztužidel. Zkoumán byl rozdíl v požární odolnosti bez a se stabilizačním účinkem plášťů, tedy jestli ocelové opláštění má podobný stabilizační účinek jako ztužidla.[3]

VÝSLEDKY PARAMETRICKÉ STUDIE PROJEKTU STABFI

Požární odolnost byla stanovena kritériem průhybu dle evropské normy pro zkoušení ČSN EN 1363-1 a evropské normy pro klasifikaci ČSN EN 13501-2. V případě konstrukce vystavené normové teplotní křivce bylo zjištěno, že zatěžovací stav kde bylo použito pouze zatížení sněhem má kratší požární odolnost, než v případě, kdy je zatěžovací stav tvořen zatížením větrem a zatížením sněhem. Dále bylo zjištěno, že v případě kdy je sloup vetknutý a nechráněný je požární odolnost ocelového opláštění bez ztužidel o 22% delší než v případě, kdy je stabilizace konstrukce řešena ztužidly. Ve většině případů, došlo ke dvěma až třem překročením svislého průhybu střechy a vodorovného průhybu ocelového rámu. První překročení průhybu souvisí s měknutím oceli při teplotě 550-600 °C. Druhé překročení průhybu odpovídá borcení okapové vaznice vlivem tlakové síly od střešního pláště a vrcholové vaznice. Okapové vaznice mají významný vliv na požární odolnost. Během požáru odolávají tlakovému namáhání a je nutné je navrhovat propracovaně nebo s protipožární ochranou. [3]

V případě konstrukce budovy vystavené přirozenému požáru byly použity hodnoty z nejhoršího scénáře z první části projektu, kde byly v FDS analyzovány tři požární scénáře. Z vybraného požárního scénáře byla použita teplota plynu. Ve vybraném požárním scénáři se teplota plynu rychle zvyšovala a snižovala. Bylo zjištěno, že teplota chráněné a nechráněné oceli je podobná a nízká, deformace není významná. Zatížení v rámu bylo proměnné během vystavení požáru, ohybový moment v oblasti založení sloupu se zvyšoval. Po 60 minutách došlo k poklesu teploty rámu a střechy na 100°C. [3]

Výsledkem tohoto projektu bylo vytvoření konstrukčních postupů pro kontrolu stability budov vystavené požáru. Pokyny jsou omezené na jednopodlažní průmyslové budovy opláštěné trapézovými plechy nebo sendvičovými panely. Kromě pokynů pro návrh byl vytvořen i software, který umožňuje navrhovat stabilizaci konstrukce střešním a obvodovým pláštěm při požáru. [3]

ZÁVĚR

Lehký střešní plášť z trapézových plechů je možné za předpokladu splnění základních podmínek využít ke stabilizaci konstrukce díky plášťovému působení. Stabilizační účinek střešního pláště je možné využít pro návrh za běžné teploty a i za požáru. Pro návrh za požáru byl vytvořen postup vycházející z projektu STABFI. Podle tohoto postupu byl v rámci seminární práce řešen příklad na stabilizaci haly střešním pláštěm za zvýšené teploty při požáru.

LITERATURA

[1] RYBÍN, Jan. *Plášťové působení tenkostěnných kazet*. Praha, 2001. Disertační práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.

[2] ECCS TC 7 TWG 7.5. *European Recommendations for the Application of Metal Sheeting Acting as Diaphragm*, 1995.

[3] MELA, Kristo, MA Zchongcheng a HAVULA Jarmo,2018. *Deliverable No D 6.4: Structural Fire Analyses of Entire One-Storey Industrial Building with Steel Claddings: Steel cladding systems for stabilization of steel buildings in fire*, *751583*-STABFI-RFCS-2016, European Comission.

ŠROUBOUVANÉ PŘÍPOJE TENKOSTĚNNÝCH KONSTRUKCÍ ZA VYSOKÝCH TEPLOT

SCREWED CONNECTIONS OF THIN-WALLED STRUCTURES AT HIGH TEMPERATURES

Bc. Thu Linh Hoang

Abstract
This paper deals with behaviour of screwed connections of thin-walled structures at high temperatures. Corrugated sheets are commonly used as load bearing elements for roofs, they are often designed as simply supported beams connected to the supports by self-drilling screws. Exposing this beam to fire leads to reduction of bending stiffness of the sheet. However, with sufficient resistance and stiffness of screwed connections, the load bearing is transferred by tensile membrane behaviour.

Key words: *thin-walled structures; corrugated sheet; screw connection; high temperature; Ansys Mechanical APDL*

ÚVOD

Tento článek se zabývá chováním šroubových přípojů tenkostěnných konstrukcí za vysokých teplot. Připevní-li se trapézový plech k rámové příčli za pomocí samovrtných šroubů, získá se nosník s kloubově uloženými konci. Vystavením nosníku požáru se zvýší jeho teplota, sníží se ohybová tuhost a vznikne v něm vodorovná síla. Pokud má šroubový přípoj dostatečnou tuhost, dokáže tyto vyvozené síly přenést díky vláknovému působení.

TENKOSTĚNNÉ KONSTRUKCE PŘI VYSOKÝCH TEPLOTÁCH

Materiálové vlastnosti oceli se během požáru zhoršují. Chen a Young [1] popsali snižující se mez kluzu a modul pružnosti na základě provedení tahových zkoušek při teplotách 20° C až 1000° C. Vzorky byly z oceli třídy G 550 a G 450 s tloušťkou plechu 1,0 mm až 1,9 mm. Outinen [2] se zaměřil na ocel třídy S 355, S 420 M, S460 M, S 350 GD+Z a S 355 J2H při teplotách 100° C až 900° C. Výsledky ze zkoušek porovnával s EN 1993-1-2.

Tenkostěnné konstrukce patří do skupiny průřezů 4. třídy s charakteristickým boulením. Jejich chování a způsob navrhování za běžné teploty je již dobře popsán na rozdíl od situace za požáru. V ČSN EN 1993-1-2 je k dispozici jednoduchý a zpřesněný výpočetní model. Sokol, Hřebíková, Wald a Lebr [3] na základě dat získaných z experimentů se střešním pláštěm s trapézovými plechy vytvořili numerický model v programu Ansys. Zde ukázali, že spolehlivost takového pláště za požáru je až 60 minut. Schwarz [4] se zase věnoval tenkostěnným Z vaznicím. Jeho závěrem je, že lze skutečné chování prutu za vysokých teplot popsat zjednodušeně chováním vláknovým.

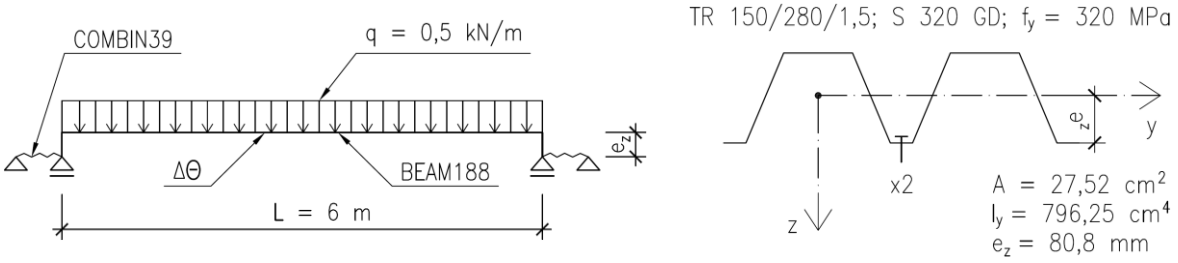
Nedílnou součástí tenkostěnné ocelové konstrukce jsou šroubové přípoje. Požární odolností samovrtných šroubů v trapézovém plechu se zabývala Kallerová [5]. Navrhla vhodná opatření zvyšující odolnost při požáru pro takové spoje. Lu, Ma, Mäkeläinen a Outinen [6] ke spojení trapézového plechu s nosníkem naopak použili samořezných šroubů a nastřelovacích hřebíků. Určili čtyři hlavní síly ovlivňující únosnost přípoje – síla mezi plechem a dříkem šroubu, mezi plechem a podložkou, mezi spojenými plechy navzájem a síla v plechu při jeho natočení. Yan a Young [7] provedli experimenty s různými šroubovými přípoji při vysokých teplotách za ustáleného stavu. Poukázali na to, že únosnost jednostřižného šroubového spoje je podhodnocená.

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Řešeným příkladem je 2D globální model střešního pláště z trapézových plechů se šroubovými přípoji za požáru v programu Ansys Mechanical APDL verze 2022 R1.

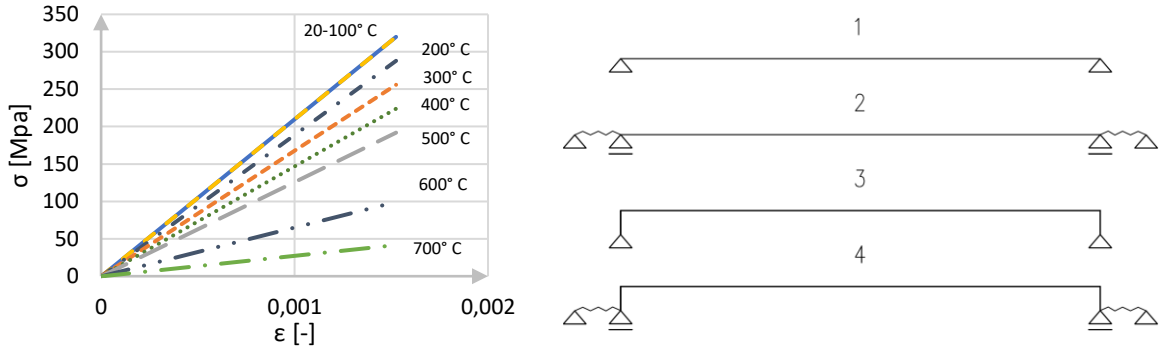
Na obr. 1(A) je schematicky znázorněný prutový model o rozpětí 6 m. Konstrukce je zatížená spojitým zatížením 0,5 kN/m a teplotou v rozmezí 20° C až 700° C. Trapézový plech TR 150/280,1,5 oceli třídy S 320 GD je tvořen prvkem BEAM188, jeho průřezové charakteristiky viz obr. 1(B), plocha průřezu A, moment setrvačnosti k ose y I_y a vzdálenost těžiště e_z. V každé vlně jsou dva šrouby. Šroubový přípoj nahrazuje pružina COMBIN39 s tuhostí k pro jeden šroub 1560 N/mm. Rameno představující excentrické uložení e_z je vytvořené z nekonečně tuhého prvku. Modul pružnosti E plechu při 20° C je 210 GPa, na obr. 2(A) jsou pracovní diagramy oceli pro jednotlivé teploty. Uvažovaná je pouze lineární část diagramu a model počítá pružně. Součinitel tepelné roztažnosti α oceli je 14×10^{-6} m/(m*K).

Obr. 2(B) ukazuje 4 zjednodušené modely, díky kterým lze lépe pochopit chování nosníku při požáru. Trapézový plech vystavený zvýšené teplotě se vlivem tepelné roztažnosti rozpíná a zvětšuje svůj průhyb. Šrouby rozpínání ale brání, tím ve spoji vznikají smykové síly, které namáhají šroub na střih a plech na otlačení. Model č. 1 je prostý nosník, č. 2 je prostý nosník s přidanými pružinami na koncích, č. 3 je nosník s excentricitou a č. 4 je výše popsaný, nosník s excentricitou a pružinami. Všechny tyto čtyři konstrukce byly sestaveny ze stejných prvků se stejnými vlastnostmi a stejně zatíženy spojitým zatížením a teplotou.



(A) *(B)*

Obr. 1 (A) Schéma modelu; (B) Průřezové charakteristiky
Fig. 1 (A) Scheme of model; (B) Cross-sectional characteristics

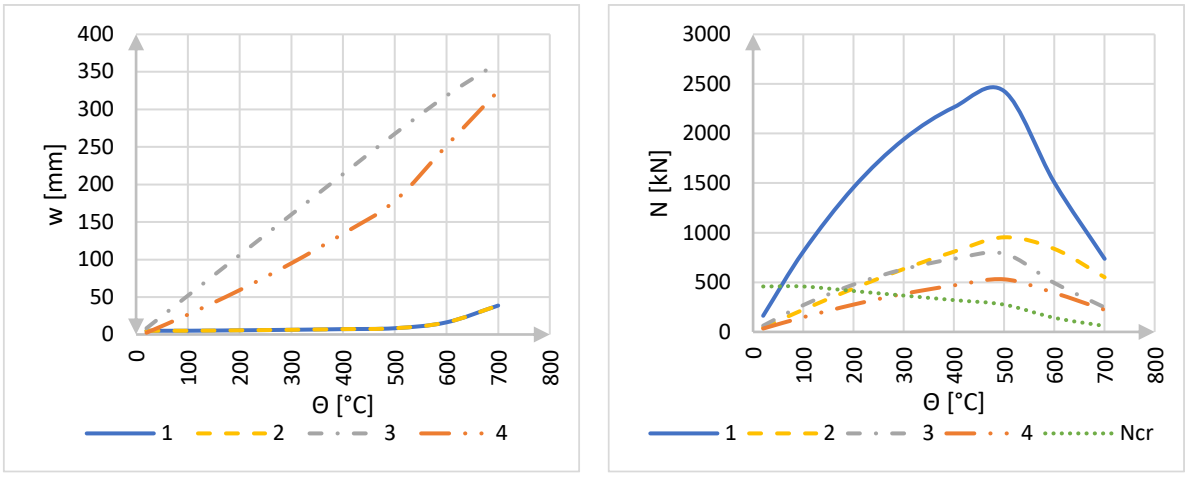


(A) *(B)*

Obr. 2 (A) Pracovní diagramy oceli pro jednotlivé teploty; (B) Druhy modelů
Fig. 2 (A) Stress - strain curves for different temperature; (B) Types of models

Pro porovnání chování modelů z obr. 2(B) jsou zde uvedeny dva grafy, graf závislosti maximálního průhybu w na teplotě, viz obr. 3(A), a graf normálové síly N v přípoji závislé na teplotě, viz obr. 3(B). Je vidět, že díky excentricitě a pevným podporám se model č. 3 s narůstající teplotou prohýbá lineárně vzhůru a více než ostatní. U normálové reakce v přípoji lze zase pozorovat, jak

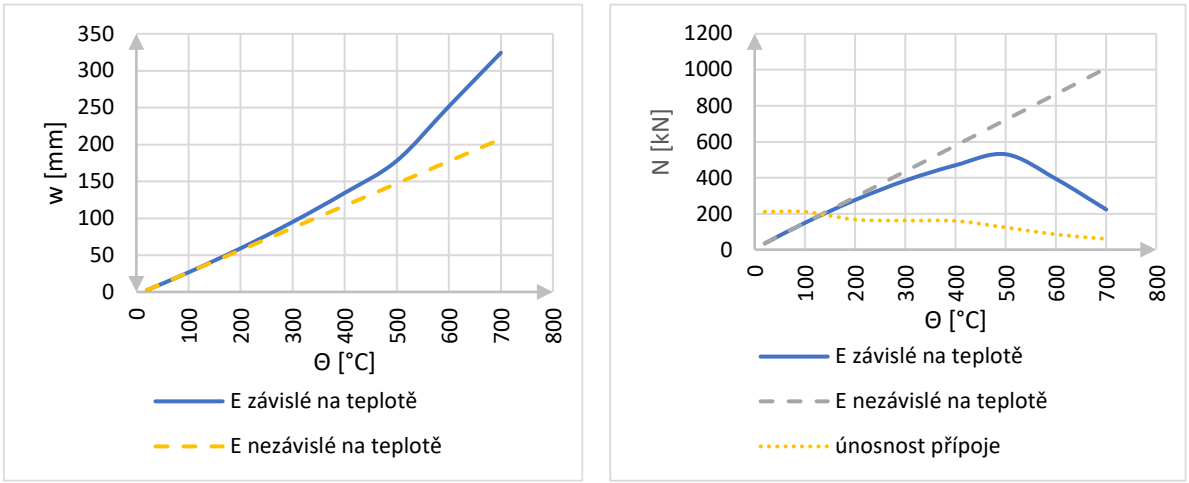
přidání excentricity, pružin či obojího má za následek snížení této síly. Výsledné hodnoty normálové síly modelu č. 1 jsou dosti vysoké. V grafu je tedy pro představu naznačená Eulerova kritická síla pro tento nosník $N_{cr} = (\pi^2 EI) / l^2$, nad kterou by byl nosník už nestabilní.



(A) *(B)*

Obr. 3 (A) Graf závislosti průhybu na teplotě pro jednotlivé modely; (B) Graf závislosti síly na teplotě pro jednotlivé modely
Fig. 3 (A) Deformation – temperature curves for different models; (B) Force – temperature curves for different models

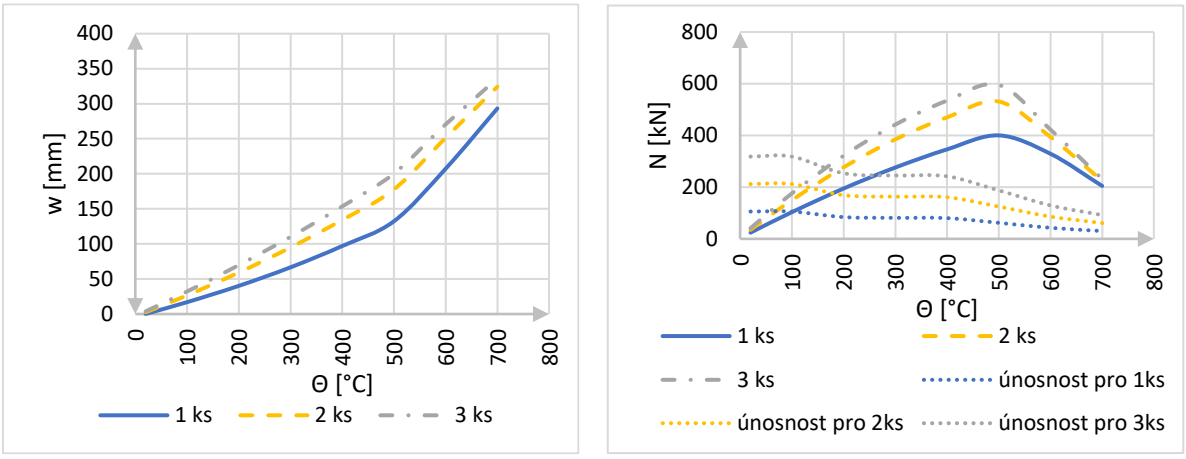
Další výpočty se týkají pouze modelu č. 4, nosník s excentrickým připojením a pružinami představujícími šroubové připojení k podporám. Obr. 4 ukazuje rozdílný průběh průhybu, viz obr. 4(A), a normálové síly, viz obr. 4(B), při modulu pružnosti závislém a nezávislém na teplotě. Při závislém modulu je nárůst průhybu od 500° C výrazně nelineární na rozdíl od průhybu při modulu konstantním. Tato podobnost je vidět i u normálové reakce v podpoře, po dosažení teploty 500° C přestává být růst lineární. Tak jako bylo v grafu výše omezení kritickou sílou, na obr. 4(B) a 5(B) jsou naznačené únosnosti přípoje [5].



(A) *(B)*

Obr. 4 (A) Graf závislosti průhybu na teplotě; (B) Graf závislosti síly na teplotě
Fig. 4 (A) Deformation – temperature curves; (B) Force – temperature curves

Nakonec je uvedeno porovnání průhybu, viz obr. 5(A), a normálové síly v podpoře, viz obr. 5(B), při jednom, dvou a třech šroubech ve vlně. Největších hodnot v obou případech dosahuje model se třemi šrouby.



(A) *(B)*

Obr. 5 (A) Graf závislosti deformace na teplotě pro rozdílnou tuhost přípoje;
(B) Graf závislosti síly na teplotě pro rozdílnou tuhost přípoje
Fig. 5 (A) Deformation – temperature curves for different stiffness of connection;
(B) Force – temperature curves for different stiffness of connection

ZÁVĚR

Cílem této práce je shrnutí poznatků o chování šroubového přípoje tenkostěnných konstrukcí za požáru a vytvoření numerického modelu, na kterém lze demonstrovat chování střešního pláště z trapézových plechů vystaveného účinkům požáru.

LITERATURA

[1] CHEN, J. a B. YOUNG. Experimental investigation of cold-formed steel material at elevated temperatures. *Thin-Walled Structures* [online]. 2007, 45(1), 96–110. ISSN 0263-8231. Dostupné z: doi:10.1016/j.tws.2006.11.003.

[2] OUTINEN, Jyri. *Mechanical properties of structural steels at high temperatures and after cooling down* [online]. B.m.: Helsinki University of Technology, 2007. ISBN 978-951-22-8608-9. Dostupné z: https://aaltodoc.aalto.fi:443/handle/123456789/2857.

[3] SOKOL, Z., P. HŘEBÍKOVÁ, F. WALD a M. LEBR. *K požární odolnosti střešního pláště s trapézovými plechy* [online]. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra ocelových konstrukcí, 2005. Dostupné z: https://adoc.pub/k-poarni-odolnosti-steniho-plat-s-trapezovymi-plechy.html.

[4] SCHWARZ, Ivo. *Chování tenkostěnných Z-vaznic za požáru.* Praha, 2020. Disertační práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí.

[5] KALLEROVÁ, Petra. *Požární odolnost šroubového přípoje trapézových plechů vystavených požáru.* Praha, září 2011. Disertační práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí.

[6] LU, W., Z. MA, P. MÄKELÄINEN aj. OUTINEN. Behaviour of shear connectors in cold-formed steel sheeting at ambient and elevated temperatures. *Thin-Walled Structures* [online]. 2012, 61, Recent research advances on thin-walled structures, 229–238. ISSN 0263-8231. Dostupné z: doi:10.1016/j.tws.2012.04.008.

[7] YAN, S. a B. YOUNG. Screwed connections of thin sheet steels at elevated temperatures – Part I: Steady state tests. *Engineering Structures* [online]. 2012, 35, 234–243. ISSN 0141-0296. Dostupné z: doi:10.1016/j.engstruct.2011.10.030.

POŽÁRNÍ ODOLNOST KONSTRUKCE KOLEJOVÉHO VOZIDLA

FIRE RESISTANCE OF THE ROLLING STOCK STRUCTURE

Bc. Martin Průcha

Abstract
This paper describes the basic requirements of the design of the structure in rolling stock in terms of fire safety. It focuses more on the material requirements of the design and legislation in the Czech Republic. The article is focused on honeycomb panels that are used in rolling stock, truck and ships and their advantages and disadvantages. It also contains a description of the properties of aluminium alloys at high temperatures. At the end of the article, the model in software Ansys is proposed. The model is made of an aluminium honeycomb panel. The temperature distribution is shown in the honeycomb panel in the fifteenth minute with air ambience.

Key words: *railway; aluminium honeycomb panel, fire model, fire, extra load.*

ÚVOD

Se zvyšujícími se nároky, ať už rychlostními, pevnostními či ekologickými, kolejových vozidel, rostou také požadavky na bezpečnost kolejových vozidel. Součástí celkové bezpečnosti kolejového vozidla je i požární bezpečnost. V tomto článku jsou shrnuty legislativní požadavky při návrhu požárních zábran v kolejovém vozidle. Jako požární zábrany s požadovanou požární odolností, které jsou v normě nárokovány na kritéria E (celistvost) a I (izolační schopnost), můžou být používány hliníkové voštinové panely. V článku jsou popsány výhody a nevýhody voštinových panelů, jejich použití či vlastnosti hliníkových slitin za zvýšených teplot. Je vypracován model v softwaru Ansys Viewer 2021 R1, kde je ukázáno rozložení teploty ve vybraném voštinovém panelu po 15 minutách.

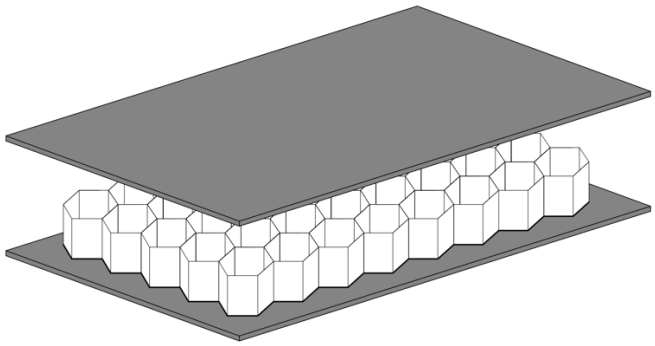
LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY

Kolejové vozidlo a jeho požární bezpečnost je v České republice řešeno pomocí norem ČSN EN 45545 – drážní aplikace a nařízení komise (EU) č. 1302/2014 o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému kolejová vozidla – lokomotivy a kolejová vozidla pro přepravu osob železničního systému v Evropské unii. Tyto normy udávají, dle konstrukčních kategorií, či provozních kategorií, požadavky na požární vlastnosti materiálů a součástí, protipožární ochranu elektrických zařízení, zařízení s hořlavými kapalinami a plyny, systém protipožární ochrany a jejich řízení, konstrukce drážních vozidel, požární odolnost požárních zábran, detekci a hašení požáru, nouzové situace a evakuaci. Norma ČSN EN 45545-3 Drážní aplikace – Protipožární ochrana drážních vozidel – Část 3: Požadavky na požární odolnost požárních zábran se mimo jiné zabývá požadavky na požární zábrany, které závisí na provozní a konstrukční kategorii a jejich umístění na drážním vozidle. Požární zábrany v kolejovém vozidle můžou být různé, v tomto článku jsou řešeny zábrany z voštinových panelů z hliníkové slitiny. [1][2]

VOŠTINOVÝ PANEL Z HLINÍKOVÉ SLITINY

Voštinový panel je lehký sendvičový panel, který se skládá ze dvou vrstev desek a voštinového jádra uvnitř. Desky voštinového panelu jsou vyráběny z hliníkových slitin, ocelových slitin, dřeva či plastu. Voštinové jádro je vyráběno především z hliníkových slitin, různých druhů dřeva, papíru, pryže a dalších. Princip těchto panelů má vždy stejný základ, jedná se o dvě relativně lehké a pevné plochy, na které navazuje široké a lehké jádro, které má dostatečně velkou tuhost ve směru normálové síly k pevné ploše. Na obr. 1 je znázorněno schéma voštinového panelu s jádrem ve tvaru šestiúhelníku. Použití těchto panelů je velmi časté, avšak ne vždy je lehké rozpoznat, zda se jedná

právě o voštinový panel. Tyto panely jsou často použity v nákladních automobilech, lodích, vlacích, větrných elektrárnách atd. Panely jsou používané zvláště pro své příznivé vlastnosti, mezi které se řadí vysoká nosnost při nízké hmotnosti, vynikající a trvanlivé tepelné izolace, absolutní bariéra proti vodě a vodním párám, schopnost rychlé montáže bez zvedacího zařízení, dlouhá životnost při nízkých nákladech, snadná oprava nebo výměna v případě poškození a další. Voštinové panely mají také své nevýhody, mezi které se řadí zejména chování prvku při požáru či deformace při vystavení jedné strany (např. slunečnímu záření). Nejrozšířenějším způsobem výroby voštinových panelů je lepení, automatizované i ruční, a právě díky tomu můžou vznikat nedokonalosti. [3] [4]



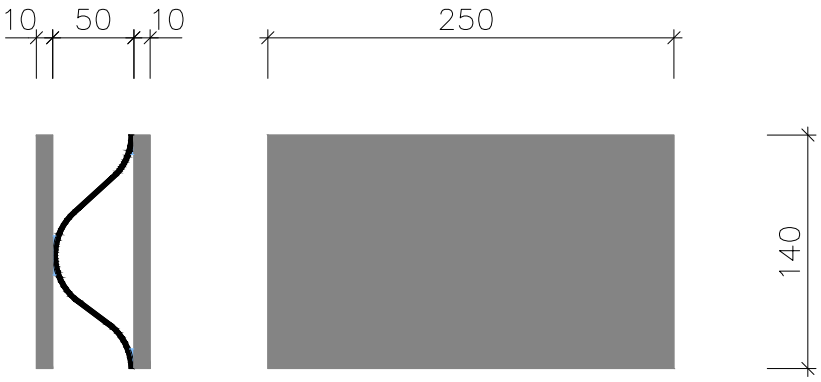
Obr. 1 Schéma voštinového panelu s jádrem ve tvaru šestiúhelníku
Fig. 1 Scheme of aluminium honeycomb panel with a hexagonal core

HLINÍKOVÉ SLITINY ZA ZVÝŠENÉ TEPLOTY

Vlastnosti hliníkových panelů jsou ohroženy při zvýšených teplotách dlouho před tím, než dosáhnou svého bodu tání (bod tání hliníku je přibližně 660 °C). U většiny hliníkových slitin, které jsou vystaveny teplotě v rozsahu 150 °C ± 200 °C, je nižší pevnost než při běžné pokojové teplotě. Některé fyzikální vlastnosti hliníku a jeho slitin však poskytují určitou ochranu, např. v počáteční fázi požáru. Jedná se o měrnou tepelnou kapacitu (816 $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ± 1050 $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$), která je přibližně dvojnásobná oproti oceli. To znamená, že k ohřátí slitiny hliníku o jeden stupeň je potřeba dvakrát více tepelné energie ve srovnání s podobnou hmotou oceli. Tato výhoda je také zaznamenána i při zvyšování teploty, jelikož měrná tepelná kapacita roste s teplotou až k bodu tání. Jako další vlastnost poskytující ochranu za požáru lze považovat tepelnou vodivost hliníku a jeho slitin (88 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ± 251 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$) zvyšující se s rostoucí teplotou. Tato hodnota hliníku a jeho slitin je několikanásobná oproti hodnotám oceli (11 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ± 64 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$). Teplo z lokálního zdroje se tak mnohem účinněji rozvádí po hliníkové konstrukci, což umožňuje jeho odvádění a minimalizaci lokálních maxim po konstrukci. Toto znamená, že pokud je hliníková konstrukce dostatečně masivní může sloužit jako chladič a zpomalit tak rychlost nárůstu teploty v počáteční fázi požáru, což může vést k prodloužení doby použitelnosti a následné delší době požární odolnosti. Mezi další výhody patří odrazivost hliníku, která je velmi vysoká, pohybuje se mezi hodnotami 80 % až 90 %, je rovněž mnohonásobně vyšší než u oceli. Odrazivost zůstává velmi vysoká i při zvýšených teplotách, a to i u starších a zoxidovaných povrchů. Tato vysoká odrazivost také přispívá k pomalejšímu nárůstu teploty a delší použitelnosti než u většiny konstrukčních ocelí v počáteční fázi požáru. Odrazivost se snižuje použitím nátěrů či pokrytím sazemi. V neposlední řadě emisivita slitin (0,02 ε ± 0,10 ε pro většinu hliníkových slitin), která je nižší než emisivita uhlíkové oceli (0,10 ε ± 0,80 ε) a nerezové oceli (0,27 ε). Tato vlastnost také přispívá k tomu, že se hliníkové slitiny zahřívají v počáteční fázi pomaleji než ocel. Emisivita záleží na kvalitě a čistotě povrchu. Ocelové pruty se mohou zahřát přibližně čtyřikrát rychleji než pruty stejné velikosti z hliníkové slitiny. Tyto fyzikální vlastnosti nejvíce pomáhají hliníkovým slitinám, pokud jsou umístěny v blízkosti požáru nebo ve velmi raných fázích požáru. Pokud je však povrch pokryt sazemi či jinými nečistotami, tyto výhody neexistují nebo jsou značně omezeny. [5]

PŘESTUP TEPLA VOŠTINOVÝM PANELEM

Voštinové panely, které se nacházejí v kolejovém vozidle mezi prostorem pro cestující, personál či kabinou strojvedoucího, musí vykazovat určitou požární odolnost, konkrétně se jedná o celistvost a izolační schopnost nárokovanou na 15 nebo 30 minut. V řešeném příkladu seminární práce je vypracován přestup tepla voštinovým panelem v softwaru Ansys Viewer 2021 R1 po 15 minutách. Software Ansys je navržen pro úlohy v oblasti simulace proudění a sdílení tepla a je založen na modelu CFD (model typu pole). Na obr. 2 je znázorněn výřez řešeného voštinového panelu, který byl použit pro výpočet v softwaru, o daných rozměrech. Tento výřez byl vymodelován v modelovacím softwaru Ansys SpaceClaim a pro správnost výpočtu byla použita periodická symetrie modelu.



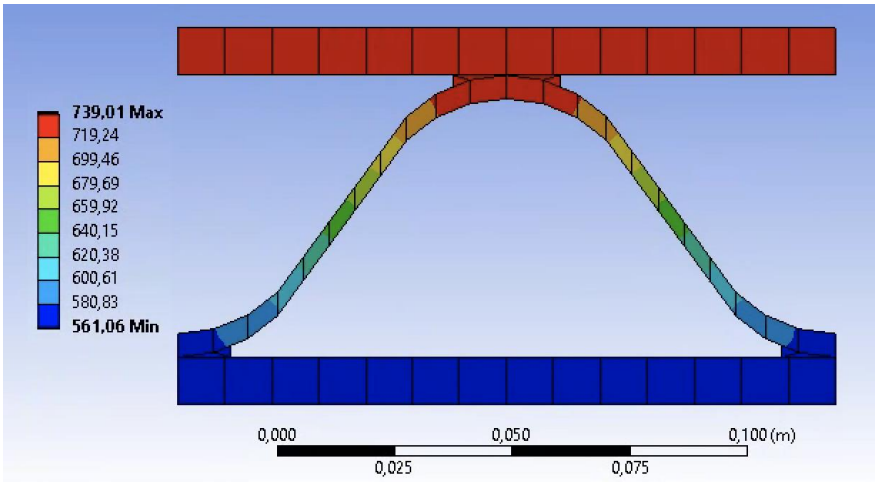
Obr. 2 Výřez řešeného voštinového panelu
Fig. 2 Scheme of the solved honeycomb panel

Voštinový panel je namodelován ze slitiny hliníku s hořčíkem, konkrétně EN AW-5754 s materiálovými vlastnostmi uvedenými v tab. 1.

Tab. 1 Materiálové vlastnosti hliníkové slitiny EN AW-5754
Tab. 1 Material properties of aluminium alloy EN AW-5754

Měrná tepelná kapacita	900 $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
Tepelná vodivost	147 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
Hustota	2660 $kg \cdot m^{-3}$
Emisivita	0,05 ε

V modelu jsou nastaveny jednotlivé případy vedení tepla pro normovou křivku za požáru. Jedná se o proudění a sálání tepla. Geometrie byla vypracována včetně vzduchové mezery mezi jednotlivými deskami a vlnou (voštinou) panelu a na odvrácené straně panelu. Na obr. 3 je zobrazeno rozložení teploty voštinovým panelem z hliníkové slitiny EN AW 5754 po 15 minutách vystavení tepelným účinkům normové teplotní křivky.



Obr. 3 Řez voštinovým panelem a jeho rozložení teploty po 15 minutách
Fig. 3 Section of the honeycomb panel and its temperature distribution after 15 minutes

ZÁVĚR

Táto práce dává základní vzhled do legislativních požadavků návrhu konstrukcí v kolejových vozidlech. Dále je v článku popsán princip voštinového panelu, jeho výhody, nevýhody, použití v běžném životě či jeho výroba. Voštinové panely mohou být celé tvořeny z hliníkových slitin, a právě chování tohoto materiálového složení za zvýšené teploty je v článku popsáno. Konkrétně se jedná o měrnou tepelnou kapacitu, tepelnou vodivost, odrazivost a emisivitu.

V řešeném příkladu seminární práce je vymodelován voštinový panel z hliníkové slitiny v softwaru Ansys Viewer 2021 R1. Je prezentováno rozložení teploty v panelu po patnácti minutách vystavení normové křivce.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat svému vedoucími práce Ing. Radku Štefanovi Ph.D., dále odbornému konzultantovi v oblasti požární bezpečnosti staveb Ing. Martinu Benýškovi Ph.D. za poskytnutí rad při vypracování seminární práce. V neposlední řadě Ing. Jakubu Šejnovi za pomoc s modelováním v softwaru Ansys Viewer 2021 R1.

LITERATURA

[1] *NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 1302/2014 o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému kolejová vozidla – lokomotivy a kolejová vozidla pro přepravu osob železničního systému v Evropské unii*. B.m.: Evropská komise. 2014
[2] *ČSN EN 45545-3 Drážní aplikace – Protipožární ochrana drážních vozidel – Část 3: Požadavky na požární odolnost požárních zábran*. B.m.: ČSNI. 2013
[3] ZENKERT, Dan. *The Handbook of Sandwich Construction*. B.m.: Engineering Materials Advisory Services, 1997.
[4] BITZER, Tom. *Honeycomb Technology: Materials, Design, Manufacturing, Applications and Testing*. ISBN 9789401158565
[5] GILBERT KAUFMAN. *Fire Resistance Aluminium Alloys and Measuring the Effects of Fire Exposure on the Properties of Aluminium Alloys*. První. Materials Park: ASM International®, nedatováno. ISBN 978-1-62708-061-1.

ANALÝZA A PARAMETRICKÁ STUDIE RŮZNÝCH CFD MODELŮ POŽÁRU PŘI NÁVRHU KONSTRUKCÍ

ANALYSIS AND PARAMETRIC STUDIES OF VARIOUS CFD FIRE MODELS IN STRUCTURAL DESIGN

Bc. Monika Borůvková

Abstract
This paper discusses the usability of available CFD software for fire modelling. The paper is focused on analysis and parametric studies of various CFD fire models in structural design. Furthermore, an evaluation of which of the available software can best model a fire in terms of the comprehensiveness of functions is solved.

Key words: *CFD (Computation Fluid Dynamics) model; CFD software for fire modelling; Fire models; Fire; Fire engineering*

ÚVOD

Pro navrhování požární bezpečnosti staveb se v požární praxi využívají už po dobu několika let tradiční postupy, tj. navrhování podle požárních norem, ručních výpočtů a zjednodušených výpočetních modelů. S postupným projektováním složitějších objektů se začala využívat alternativní metoda (požárně inženýrský přístup), jejímž nástrojem jsou počítačové modely.

Tento článek je zaměřen na parametrickou studii a porovnání vybraných dostupných programů, které jsou založené na principu dynamiky proudění tekutin, tzv. CFD modely. Dále se článek zabývá popisem a využitelností těchto CFD programů.

VYUŽITÍ CFD MODELŮ

V požárním inženýrství lze využít CFD modely v oblasti požární bezpečnosti staveb, vyšetřování příčin vzniku požáru a ve vědě a výzkumu. V požární bezpečnosti staveb se CFD modelování využívá k analýze tepelných toků a proudění tekutin v budovách pro modelování evakuace, ke zkoumání šíření požáru, vývoji teplot, vlivu požáru na konstrukce a vlivu požárně bezpečnostních zařízení na požár. [1]

PŘEHLED A POPIS PROGRAMŮ

In:Flux

Program In:Flux je CFD program využitelný především u průmyslových objektů nebo rafinérií. Využít ho může i uživatel, který nemá moc znalostí v oblasti CFD modelování. Program dokáže analyzovat scénáře ventilace, požáru a rozptylu plynů v rámci složitých geometriích. Dále program zobrazuje dopadající záření, hmotnost, objemové podíly sazí, koncentrace paliva a produktů, obrysové grafy, proudnice a izoplochy účinků sálání. [2]

FDS

Program FDS je reprezentantem v oblasti CFD modelování požáru, který řeší dynamiku a proudění kapalin řízený požárem. V programu je možné modelovat transport tepla a kouře prouděním a sáláním, přestup tepla, transport tepla vedením uvnitř pevných povrchů, pyrolýzu pevné nebo kapalné fáze, proces hoření plynných produktů, šíření plamene a rozvoj požáru, aktivaci tepelných a kouřových detektorů, sprinklerové skrápění a hašení vodou a další. Program FDS je dlouhodobě vyvíjeným programem, jehož první verze byla vydána v roce 2000. Pro komerční účely je možné

FDS získat zdarma. Samotný program nemá uživatelské rozhraní, ale je možné využít placenou grafickou nadstavbu Pyrosim. [3]

Ansys CFX a Fluent
Programy CFX a Fluent jsou programy k všeobecné využití v oblasti CFD modelování včetně požárního inženýrství. Ansys CFX a Fluent jsou pokročilou technologií s moderním uživatelským rozhraním. Programy se využívají v průmyslových odvětvích pro zlepšení životnosti produktů, zvýšení efektivnosti, optimalizaci procesů a také je lze využít při návrhu požárně bezpečnostního řešení. Programy jsou určeny k simulaci matematických modelů a jsou založené na principu mechaniky tekutin, termodynamiky, přenosu tepla a přenosu hmoty. [4]

SMARTFIRE
Program SMARTFIRE je další z programů v rámci CFD modelování požáru. V programu SMARTFIRE lze zkoumat šíření a účinky požáru, kouře a další toxické jevy. Program dokáže modelovat různé druhy proudění s nucenou nebo přirozenou ventilací, přenos tepla plynným spalováním, tepelné záření, toxicitu a koncentraci kouře. Program neumí řešit hašení požáru, ale na zavedení této funkce již společnost pracuje. [5]

Kameleon FireEx KFX
Program Kameleon FireEX KFX je průmyslový CFD model pro simulaci rozptylu těžkých i lehkých plynů, rozvoje požárů a výbuchů ve složitých geometriích (uzavřených prostorách) i v otevřeném terénu. Dále je možné simulovat potlačení požáru pomocí sprinklerových a vodních mlhových systémů. Tento program je ve velké míře využíván pro průmyslovou analýzu požáru a kouře ropných a plynových instalací. [6]

SimFlow
Program SimFlow slouží k všeobecnému použití v oblasti CFD modelování. SimFlow umí simulovat proudění tekutin, turbulentní proudění, přenos tepla, vícefázové toky, chemické reakce, spalování a záření. [7]

Phoenics/FLAIR
Program PHOENICS spolu s programem FLAIR tvoří softwarový balík CFD pro modely požáru. Program je zaměřený na simulaci proudění tekutin, přenos tepla, spalování a chemické reakce probíhající v uzavřeném prostoru i ve volném okolí. Aplikace zahrnuje vytápění, větrání, klimatizaci, nebezpečí požáru a kouře, uvolňování chemikálií a šíření znečištění a zatížení konstrukcí větrem. [8]

Fluidyn-PANFIRE
Program Fluidyn-PANFIRE je simulační nástroj pro CFD modelování. Slouží k modelování tepelného záření a následnému vyhodnocení následků sálání požáru a zasažených oblastí. Program umí řešit havarijní scénáře ve složitých geometriích (uzavřených prostorách) i v otevřeném terénu. Výpočetní nástroj programu hodnotí geometrii plamene a rychlost uvolňování tepla. [9]

FLACS-CFD
Program FLACS-CFD je dalším z programů CFD, které řeší požár u průmyslových objektů a rafinérií. Program simuluje rozptyl hořlavých nebo toxických plynů, výbuchy plynu a prachu, šíření tlakových a rázových vln a požáry. Tento program se především využívá pro hodnocení důsledků havarijních scénářů a pro optimalizaci návrhu procesních zařízení a bezpečnostních opatření. [10]

Kobra-3D
Program KOBRA-3D je další software CFD pro modelování požáru. Program lze využít ke studiu požárů v uzavřených uhlovodíkových nádržích, simulaci šíření ohně a kouře ve složitých geometriích i simulaci více zdrojů požáru v propojených prostorech. Výsledky řešení udávají rozložení

teplot, tlaků, hustoty, složky rychlosti, optickou hustotu kouře a koncentraci kouře a látek, proudové pole a viditelnost. [11]

Flow-3D

Program Flow-3D je kompletní a všestrannou CFD simulační platformou. Tento software lze i využít pro modelování požáru. Program umí řešit elasticko-plastické deformace, pórovitost materiálů, vývoj tepelného napětí na bázi konečných prvků v důsledku tepelných změn, spalování pevných části a další. [12]

VYHODNOCENÍ PROGRAMŮ

Požadavkem bylo nalezení CFD programu nejreálněji simulující požár. Pro porovnání byly vybrány aktuálně dostupné CFD programy. Z výběru byl sestaven žebříček programů, který dokáže nejlépe modelovat požár z hlediska obsáhlosti funkcí.

Tab. 1 Přehled funkcí jednotlivých CFD programů
Tab. 1 Overview of CFD programmes functions

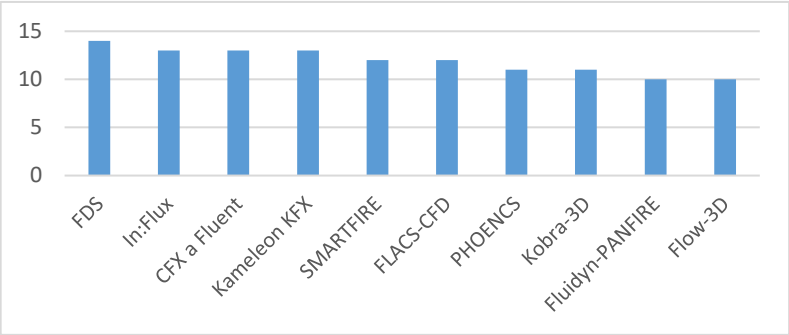
Název programu	Požár	Rozptyl plynů	Koncen-trace	Přenos tepla	Proudění	Vedení tepla uvnitř	Šíření kouře	Výbuch	Saze	Tepelné záření	Chemické reakce	Potlačení požáru
In:Flux	OK	OK	OK	OK	OK		OK		OK	OK	OK	
FDS	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK		OK		OK	OK
CFX - Ansys	OK			OK	OK	OK			OK	OK	OK	OK
SMARTFIRE	OK	OK	OK	OK	OK		OK			OK	OK	
Kameleon FireEx- KFX	OK	OK	OK	OK			OK	OK	OK	OK	OK	OK
SimFlow				OK	OK					OK	OK	
Fluent -Ansys	OK			OK	OK	OK			OK	OK	OK	OK
PHOENICS	OK	OK	OK	OK	OK		OK				OK	
Fluidyn-PANFIRE	OK	OK		OK					OK	OK	OK	OK
FLACS-CFD	OK	OK		OK	OK		OK	OK		OK	OK	
Kobra – 3D	OK		OK	OK	OK		OK			OK	OK	OK
Flow-3D	OK	OK		OK	OK				OK	OK	OK	

Poznámky:
OK – program obsahuje tuto funkci
Prázdné políčko značí, že daná funkce není v programu implementována nebo nebyla zjištěna

Název programu	Autom.síť	Síť ručně	Kartézská síť	Cylindrická síť	Okraj. Podm. Autom.	Geome-trie s CAD	Rozhraní	Dostupnost
In:Flux	OK		OK		OK	OK	OK	Demo verze na 10 dnů po registraci
FDS		OK	OK			OK	*	Zdarma
CFX - Ansys	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	studentská verze / licence
SMARTFIRE	OK	OK	OK		OK	OK	OK	Demo verze po registraci na 30 dní zdarma
Kameleon FireEx- KFX	OK	OK	OK			OK	OK	Po kontaktování distributora
SimFlow					OK		OK	Zdarma
Fluent -Ansys	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Studentská verze / licence
PHOENICS	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Po kontaktování distributora
Fluidyn-PANFIRE			OK				OK	Po kontaktování distributora
FLACS-CFD	OK	OK	OK			OK	OK	Licence
Kobra – 3D	OK		OK		OK		OK	Po kontaktování distributora
Flow-3D	OK	OK	OK	OK		OK	OK	Po kontaktování distributora

Poznámky:
OK – program obsahuje tuto funkci
Prázdné políčko značí, že daná funkce není v programu implementována nebo nebyla zjištěna
** - Program FDS nemá uživatelské rozhraní, ale lze využít grafickou nadstavbu – program PyroSim*

Pro přehlednější porovnání a vyhodnocení jednotlivých programů, byl vytvořen graf, který vychází z tabulky 1. Obr. 1 zobrazuje vyhodnocení CFD programů vzhledem k počtu využitelnosti jednotlivých funkcí.



Obr. 1 Vyhodnocení programů CFD
Fig. 1 Evaluation of CFD programmes

ZÁVĚR

Tento článek byl zaměřen na výpočetní modely CFD pro modelování požáru, jejich využití v oblasti požárního inženýrství a popis jednotlivých programů založených na CFD modelování. Dále bylo provedeno vyhodnocení uvedených programů z hlediska jejich dosud zjištěných funkcí a uživatelského rozhraní. Z výsledného grafu vyplívá, že nejlepším programem je program FDS. Následně v diplomové práci bude provedena parametrická studie s využitím různých programů, tzv. určí se měnící se parametr, který se aplikuje do programů a následně budou sledovány výsledné rozdíly.

LITERATURA

[1] CFD modelování v požární vědě a inženýrství. HZSCR [online]. Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, c2021 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: https://www.hzscr.cz/clanek/casopis-112-rocnik-xvi-cislo-12-2017.aspx?q=Y2hudW09NA%3D%3D

[2] In:Flux Overview. Insight Numerics [online]. Boston: Insight Numerics, c2021 [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: https://help.insightnumerics.com/inFlux/Overview.htm

[3] WALD, František, M. POKORNÝ, K. HOROVÁ, P. HEJTMÁNEK, H. NAJMANOVÁ, M. BENÝŠEK, M. KUREJKOVÁ, I. SCHWARZ, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, a STAVEBNÍ FAKULTA. Modelování dynamiky požáru v budovách. 2017. ISBN 978-80-01-05633-2

[4] Ansys. Ansys [online]. Ansys, c2022 [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: https://www.ansys.com/products/fluids

[5] EWER, John, et al. SMARTFIRE-the fire field modelling environment. In: The Fifth European Conference on Computational, Fluid Dynamics, ECCOMAS CFD 2010. Lisbon, Portugal, 2010

[6] KAMELEON FireEx. Fire Model Survey [online]. Columbia: Combustion Science & Engineering, c2015 [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: http://www.firemodelsurvey.com/FieldModels.html

[7] SimFlow. SimFlow [online]. c2012-2021 [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: https://simflow.com/download/cfd-simulation-software/

[8] PHOENICS/FLAIR. Fire Model Survey [online]. Columbia: Combustion Science & Engineering, c2015 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: http://www.firemodelsurvey.com/FieldModels.html

[9] Fluidyn-PANFIRE. Fluidyn: CFD software and services [online]. fluidyn, 2021 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: https://www.fluidyn.com/?page_id=1444

[10] FLACS-CFD. FLACS-CFD 21.3 User Manual [online]. Gexcon AS, c2021 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: https://www3.gexcon.com/files/manual/flacs/html/index.html

[11] KOBRA-3D. Fire Model Survey [online]. Columbia: Combustion Science & Engineering, c2015 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: http://www.firemodelsurvey.com/FieldModels.html

[12] FLOW-3D. *FLOW-3D* [online]. Flow science, c2000-2022 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: https://www.flow3d.com/

ANALÝZA POŽÁRNÍ ODOLNOSTI HISTORICKÝCH DVEŘÍ

ANALYSIS OF FIRE RESISTANCE HISTORIC DOORS

Bc. Petr Čajan

Abstract
This paper deals with the analysis of the fire resistance of historic doors, especially historic wooden doors. I decided to work on this topic because I have encountered this issue in practice, and I have not found a work that summarizes everything that is essential in addressing the issue of meeting the fire resistance requirements for historic doors. This paper summarises the most important points in terms of fire resistance requirements for doors and describes the different levels of conservation. Finally, the article briefly describes how the fire resistance of historic doors can be demonstrated under the different conservation regimes. Finally, a flow chart is drawn up which aims to summarise the issue.

Key words: *Historic door; fire resistance; reconstruction; replica; overhaul; wooden door; restoration*

ÚVOD

V současnosti dochází k uplynutí technické životnosti řady objektů občanské výstavby vystavěných ke konci 19. a na začátku 20. století, u kterých nedošlo ke komplexní rekonstrukci. Pod pojmem komplexní rekonstrukce si můžeme představit takovou rekonstrukci, kdy zachováme charakteristické prostory daného objektu a celý objekt vybavíme nejnovějšími technologiemi. Většina těchto objektů spadá pod památkovou péči. Mezi hlavní požadavky komplexních rekonstrukcí patří zejména snížení nákladů na provoz, prodloužení životnosti objektu, obnovení vzhledu budovy do podoby, jakou měli v době výstavby, zvýšení atraktivity pro návštěvníky, zlepšení pracovního prostředí pro zaměstnance a v neposlední řadě také zvýšení požární bezpečnosti. Zejména zajištění požadavků na požární bezpečnost je u těchto objektů náročné, jelikož byly vybudované v době, kdy požární kodex neexistoval a požadavky na požární bezpečnost staveb byly zahrnuty ve stavebních řádech, a to pouze v souvislosti s obvodovými stěnami. Náročnost je dále dána také tím, že je třeba respektovat požadavky památkové péče, a to zejména požadavky na zachování původních prvků jako jsou okna, dveře či různé dřevěné obklady či obložení. [1]

STANOVENÍ PAMÁTKOVÉ OCHRANY DVEŘÍ

Při rekonstrukcích se setkáme se třemi různými režimy obnovy historických dveří. Jednotlivé režimy se odvíjí od historické hodnoty daných dveří. Pro opravu historicky nejhodnotnějších a nejcennějších dveří se využije režim restaurování. Restaurováním se rozumí souhrn specifických výtvarných, uměleckořemeslných a technických prací respektujících technickou a výtvarnou strukturu originálu. Dalším režimem, který je využíván u méně historicky hodnotných dveří, je repase. Repasí rozumíme řemeslnou opravu, při které dojde k rozebrání daných dveří, důkladné prohlídce všech částí, případně výměně vadných částí a opětovnému sestavení do provozuschopného stavu při zachování maximálního počtu původních částí. Posledním režimem je replika. V režimu repliky dochází k vyrobení nových dveří z nových materiálů s historickým vzhledem.[2]

STANOVENÍ POŽADAVKŮ NA POŽÁRNÍ ODOLNOST DVEŘÍ

Požadavky na požární odolnost dveří stanovuje projektant požárně bezpečnostního řešení. Na dveře jsou kladeny požadavky na splnění kritérií EI, kde E je celistvost, a I je izolace, která vyjadřuje omezení maximálního nárůstu teploty na odvrácené straně požáru o 140 °C, nebo EW, kde E je izolace a W je radiace, která omezuje hodnotu tepelného toku na odvrácené straně požáru.

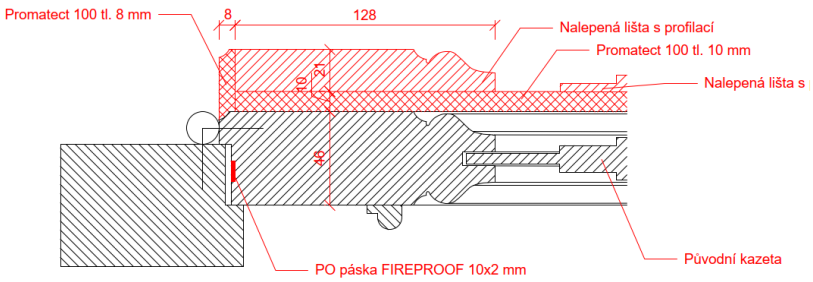
Jsou-li dveře ze dřeva, zvyšují intenzitu požáru a zařazují se mezi konstrukce druhu DP3. Naopak, pokud jsou dveře z nehořlavých materiálů, nejčastěji z oceli, nepřispívají k intenzitě požáru a jsou zařazeny mezi konstrukce druhu DP1. Dalším požadavkem na dveře je vybavení dveří samozavíračem. U samozavírače záleží na předpokládané frekventovanosti zavírání dveří a podle toho se navrhuje třída samozavírače C0 až C5. Posledním požadavkem na dveře je požadavek na mezní stav kouřotěsnosti a to buď na studený kouř S_{20}, nebo na teplý kouř S_{200}. [1],[3]

DVEŘNÍ SESTAVA S POŽADAVKEM NA POŽÁRNÍ ODOLNOST V REŽIMU RESTAUROVÁNÍ

Jedná se o historicky hodnotné a cenné dveře, do kterých nemůžeme provádět zásahy, které by mohly pomoci k dosažení požární odolnosti. Máme dva způsoby, jak můžeme prokázat požární odolnost takovýchto dveří. Prvním z nich je porovnání konstrukčních prvků dveří s normovými požadavky uvedenými v kapitole 5.5 ČSN 730834, kde jsou uvedeny požadavky pro dveře EI (EW) 15 DP3, EI (EW) 30 DP3. V této normě není řešeno prokázání samouzavírání a kouřotěsnosti stávajících dveří. V praxi nejvíce využívané řešení je obrátit se na oznámený subjekt, který vyhotoví posudek. V posudku je deklarovaná nejlépe třída C0. Pokud je požadována vyšší třída, závisí na hasiči, zda bude akceptovat dveřní sestavu hodnocenou třídou C0 s osazeným samozavíračem s potřebnou třídou samouzavírání. Druhým způsobem prokázání požární odolnosti dveří je expertizní posouzení. Expertizní posouzení mohou být dvojího typu. Prvním typem je expertizní posouzení, které zpracovává oznámený subjekt a výsledkem posudku je deklarace požární odolnosti dveřní sestavy. U tohoto typu posudku platí omezení dané vyhláškou 202/1999 Sb., kde je stanoveno omezení na 15 kusů dveří v rámci jedné stavby, u kterých může být prokázána požární odolnost tímto posudkem. Druhým typem expertizního posudku je posudek zpracovávaný autorizovanou osobou v oblasti požární bezpečnosti staveb a je začleněn do projektové dokumentace stavby k požárně bezpečnostnímu řešení. Výsledkem tohoto posudku může být zmírnění, či dokonce odstranění požadavků na požární odolnost dveří, ovšem nesmí dojít ke zhoršení podmínek požární bezpečnosti objektu jako celku.[4],[5]

DVEŘNÍ SESTAVA S POŽADAVKEM NA POŽÁRNÍ ODOLNOST V REŽIMU REPASE

Do této kategorie jsou zařazeny dveře, které mají dostatečnou historickou hodnotu a jsou zachovány v relativně dobrém technickém stavu, který umožní jejich použití po repasi. Prokazování požadované požární odolnosti u takovýchto dveří je z části podobné dveřím v režimu restaurování, a to možností porovnání konstrukčních prvků dveří s normovými požadavky uvedenými v kapitole 5.5 ČSN 730834. [4] U dveří v režimu repase si můžeme dovolit provádět konstrukční zásahy a úpravy tak, abychom byli schopni vyhovět požadavkům na požární odolnost. Na Obr. 1 vidíme příklad provedených úprav stávajících dveří. Prokazování požární odolnosti takto upravených dveří je prováděno oznámeným subjektem, pomocí posudku. Jedná se o stejný typ posudku jako první typ v předcházející kapitole a samozřejmě zde platí i stejné omezení 15 kusů takto prokázaných dveří na stavbu. Oznámený subjekt deklaruje samozavírač pouze C0, vyšší třídy nelze posudkem dosáhnout.



Obr. 1 Příklad úprav repasovaných dveří pro dosažení požadované požární odolnosti
Fig. 1 Demonstration of refurbished door modification to achieve the required fire resistance

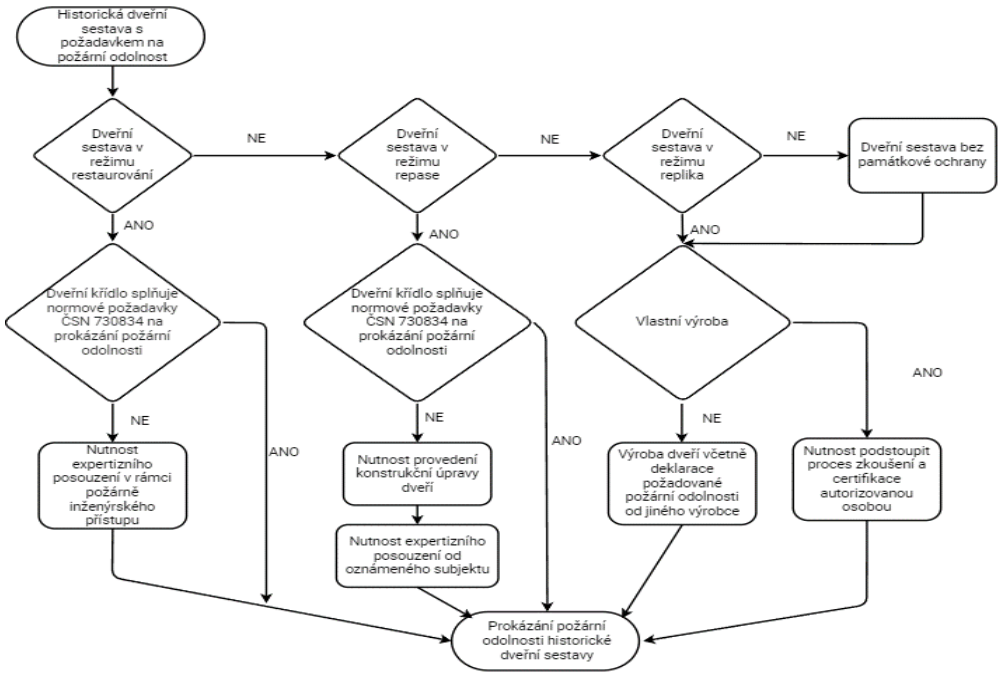
Dalším úskalím v případě prokazování požární odolnosti výpočtem je mezní stav kouřotěsnosti. Oznámený subjekt neprovádí posouzení kouřotěsnosti dveří, takže máme dva způsoby, jakým lze kouřotěsnost prokázat. První možností je vyrobit repliku námi upravovaných repasovaných dveří a nechat je odzkoušet na kouřotěsnost. Druhou možností je využít možnosti článku 5.5.7 ČSN 730810, který dovoluje u změn staveb, kde se posuzují stávající dveře, posoudit vhodnost uzávěru z hlediska kouřotěsnosti na základě jejich konstrukčního provedení, zejména posouzení kouřového těsnění, které musí být ověřeno zkouškou na obdobném typu požárního uzávěru i návaznosti na prostor, kam může kouř pronikat. [3]

DVEŘNÍ SESTAVA S POŽADAVKEM NA POŽÁRNÍ ODOLNOST V REŽIMU REPLIKA

Poslední skupinou jsou dveře s požadavkem na požární odolnost, které jsou v režimu repliky. Do této skupiny jsou zařazovány dveře, které se buď nedochovaly v technickém stavu použitelném pro repasi, anebo dveře, jejichž historická hodnota není tak velká, aby bylo nutné tyto dveře repasovat. Prokazování požární odolnosti u těchto dveří je nejjednodušší ze všech tří možností. Repliky jsou nové výrobky, tudíž se k nim tak přistupuje i z hlediska prokazování jejich požární odolnosti. Prokazování probíhá pomocí zkoušky požární odolnosti. Vyhláška 202/1999 Sb. dovoluje prokázání požární odolnosti expertizním posudkem až 15 kusů atypických nebo kusově vyráběných replik. Ovšem pokud se na objektu nachází i dveře s požadavky na požární odolnost v režimu repase či restaurování, je využití expertizního posouzení využíváno přednostně právě dveřmi v těchto režimech a na repliky již často nezbývá prostor, kvůli limitu vyhlášky. [5] [6]

Možnosti prokazování jsou popsány v odstavci výše a zde se podíváme na možnosti dodání. První možností je dveře nechat vyrobit u firmy, která již má protokoly a požadované dveře nám vyrobí a dodá i s požadovanými dokumenty. Druhou možností je zajistit si výrobu a nechat si dveře odzkoušet na požární odolnost vlastními kapacitami.

VÝVOJOVÝ DIAGRAM PROKAZOVÁNÍ POŽÁRNÍ ODOLNOSTI HISTORICKÝCH DŘEVĚNÝCH DVEŘÍ



Obr. 2 Vývojový diagram prokazování požární odolnosti historických dřevěných dveří
Fig. 2 Flowchart demonstrating the fire resistance of historic wooden doors

Na Obr. 2 vidíme vývojový diagram, který má za cíl shrnout kroky, které je třeba učinit, pokud se při rekonstrukci setkáme s historickými dveřmi, na které jsou kladeny požadavky jak ze strany památkové péče, tak z hlediska požární bezpečnosti.

ZÁVĚR

Cílem tohoto článku bylo shrnutí problematiky historických dřevěných dveří s požadavky na požární odolnost v rámci rekonstrukcí objektů. Pokud je dveřní sestava zařazena do jednotného režimu v rámci stanovení památkové ochrany, máme nástroje jak prokázat její požární odolnost. V rámci seminární práce byla provedena podrobnější analýza všemožných kombinací mezi požadavky památkové péče a požadavky na požární odolnost dveřní sestavy a návrh řešení pro jednotlivé varianty.

PODĚKOVÁNÍ

Práce byla připravena s podporou MetrostavDIZ s.r.o v rámci akce Karlovy Vary – Revitalizace objektu Císařských lázní

LITERATURA

[1] KUPILÍK, Václav a Malila NOORI. *Rekonstrukce objektů z hlediska požární bezpečnosti* [online]. 15. prosinec 2007. Dostupné z: http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/specialiste/7/7-1_Rekonstrukce_objektu.pdf

[2] *Zákon č. 20/1987 Sb. o státní památkové péči* [online]. 30. březen 1987 [vid. 2022-05-23]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1987-20

[3] *ČSN 73 0810: 2016 Požární bezpečnost staveb: společná ustanovení*

[4] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. *ČSN 73 0834: 2011 Požární bezpečnost staveb: změny staveb*

[5] *Vyhláška Ministerstva vnitra č. 202/1999 Sb. kterou se stanoví technické podmínky požárních dveří, kouřotěsných dveří a kouřotěsných požárních dveří* [online]. [vid. 2022-05-23]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1999-202

[6] *ČSN EN 1363-1: 2021 Zkoušení požární odolnosti: část 1: Základní požadavky*.

ANALÝZA POŽÁRU ELEKTROVOZIDEL PŘI NÁVRHU KONSTRUKCÍ

ELECTRIC VEHICLES FIRE ANALYSIS FOR CONSTRUCTION DESIGN

Bc. Tereza Bělohradská

Abstract
The main aim of this paper is to present fire risk of electric vehicles (EV) compared to internal combustion engine vehicles (ICEV). The article includes amount of EVs worldwide and in the Czech Republic, types of EV, description of batteries used in EV and their fire risk. The last part of this paper are two simulations of a car fire. The FDS program, which is a representative of CFD models, was used for simulations. The fire was simulated by a simplified method using the HRR curve. The main goal of the model is to find out the influence of the EV and the ICEV fire on concrete constructions.

Key words: *Electric vehicles; Internal combustion engine vehicles; Fire of electric vehicles; Fire resistance; Heat release rate*

ÚVOD

Zvyšující se požadavky celé společnosti, jednotlivých států či Evropské unie na životní prostředí vedou k podstatným změnám v automobilovém průmyslu, a tak jsou klasické automobily se spalovacími motory (ICEV) v posledních letech nahrazovány automobily s čistě elektrickým pohonem (EV). Ten představují bateriové vozy, mezi které se řadí plně bateriové automobily (BEV), plug-in hybridy (PHEV) nebo plné hybridy (HEV). Změna automobilového průmyslu je podpořena i výrazně rychlejším vývojem technologií baterií používaných v automobilech. EV přinášejí nové problémy a poznatky do požárně bezpečnostního inženýrství. Povinnost zřizování dobíjecích stanic pro EV v hromadných garážích může mít vliv na požární odolnost konstrukcí, požární zásah i celkovou požární bezpečnost objektu.

MNOŽSTVÍ ELEKTROVOZIDEL

Globálně se počty elektromobilů od roku 2010 zvyšují. Dle EV 2021 databáze [1] bylo v roce 2020 celosvětově dostupných cca 370 modelů EV, což činí oproti roku 2019 nárůst o 40 %. V roce 2020 bylo na světových silnicích celkem přes 10 milionů EV. Ve srovnání se světem a Evropou není počet EV v České republice tak vysoký, spíše je ČR v počtu EV oproti okolním Evropským státům pozadu. K 1.1.2022 bylo České republice celkem 10 024 plných EV. [2]

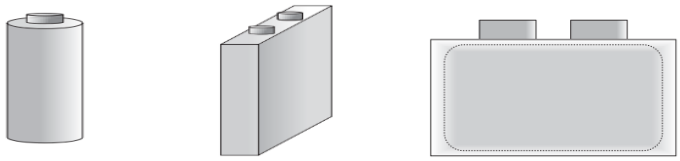
TYPY ELEKTROVOZIDEL

EV v dnešní době lze rozdělit do tří skupin – BEV, PHEV a HEV. BEV využívá pouze energii, která je uložena v akumulátorech. HEV a PHEV využívá spalovací motor i elektromotor, díky tomu má výhody plného EV a zároveň ICEV.

BEV využívá pouze jeden zdroj energie – baterii pohánějící elektromotor nebo trakční motor. Elektromotor musí mít schopnost akcelerovat a pohánět vozidlo. HEV je vozidlo se dvěma nebo více typy pohonu, z nichž alespoň jeden pohon je elektrický. Kinetická energie při brždění se regeneruje a ukládá do baterie. Baterie HEV může být nabíjena pouze rekuperací brzdné energie nebo využitím spalovacího motoru, tedy pro nabíjení není využívána žádná externí energie. PHEV kombinuje výhody obou elektromobilů BEV a HEV. Klíčovými vlastnostmi je možnost nabíjet baterii externě, delší plně elektrický dojezd než u HEV a celkově delší dojezd než u BEV. PHEV má často tři provozní režimy: čistý režim spalovacího motoru, čistý elektrický režim a hybridní elektrický režim. Baterii je možné nabíjet externě pomocí elektřiny ze sítě, rekuperací z brzdné energie nebo pomocí spalovacího motoru. [3]

BATERIE ELEKTROVOZIDEL

Nejpoužívanějšími bateriemi jsou Li-ion baterie, jejichž hlavní složky jsou stejné jako u všech ostatních baterií: katoda, elektrolyt, separátor a anoda. Anoda uchovává ionty lithia během nabíjení a v průběhu vybíjení se ionty přesunují ke katodě. Ionty lithia jsou tak vyměňovány mezi katodou a anodou. Baterie se skládají z velkého počtu menších bateriových článků (LIB). Tyto články jsou pak zapojeny tak, aby bylo dosaženo požadované napětí a proud. Velikosti LIB jsou různorodé. LIB se skládá z několika dalších částí, které jsou uloženy do pouzdra, jehož materiál je obvykle na bázi hliníku, plastů nebo jejich směsí. Formát a velikost LIB se mohou lišit v závislosti na podmínkách použití i výrobci. Geometrické LIB pro EV lze seskupit do tří skupin: válcové, prizmatické a pouzdrové. (Obr. 1) LIB jsou pak spojovány do větších modulů, které tvoří celou baterii. [3]



(A) *(B)* *(C)*

Obr.1 Geometrické formáty článků: (A) válcové, (B) prizmatické, (C) pouzdrové [3]
Fig. 1 Geometric cell formats: (A) cylindrical, (B) prismatic, (C) box-shaped [3]

POŽÁRNÍ RIZIKO BATERIÍ

Li-ion baterie samy o sobě nepředstavují riziko samovznícení, pokud jsou jejich provozní podmínky stabilní a výrazně se nemění. Jiná situace nastává v případě, že baterie vystavena proměnlivých a extrémním podmínkám způsobenými silnými elektrickými, tepelnými nebo mechanickými impulsy. Při vystavení baterie různým změnám se zvyšuje pravděpodobnost vzniku požáru. [4] Baterie funguje správně při dovolených hodnotách teplot a napětí. Jakmile jsou překročeny limity napětí nebo teploty baterie, může uvnitř baterie dojít ke spuštění určitých chemických reakcí, které mohou vést ke zkratu nebo nárůstu vnitřní teploty. Článek baterie následně začne uvolňovat hořlavý plyn, který se může vznítit a začít hořet nebo způsobit explozi. [5]

Existují tři hlavní rizika, které mohou ohrozit bezpečnost vozidla: tepelné poškození, elektrické přetížení a mechanické poškození. Trvale vysoké teploty mohou vést k nežádoucím chemickým reakcím, při kterých se baterie začne přehřívat. Pokud není teplo správně odváděno, může dojít k tepelnému úniku a nekontrolovatelnému nárůstu teploty vedoucí ke vznícení článku. Pokud je okolní teplota článku naopak příliš nízká, výrazně se zvyšuje vnitřní odpor, což může opět vést k tepelnému úniku. Baterie EV jsou navrženy tak, aby přijímaly určité množství energie v určitém čase. Pokud jsou tyto limity překročeny v důsledku příliš rychlého nabíjení nebo přebíjení, výkon článku se může zhoršit nebo dokonce může celý článek selhat. Úroveň nabití je definována stavem nabití (SOC). K přebíjení může docházet při poruše nabíječky nebo při použití nesprávné nabíječky. Mechanická deformace může také způsobit vnitřní zkrat a mít za následek požár, proto je třeba zabránit velkým deformacím baterie. [4]

HAŠENÍ EV

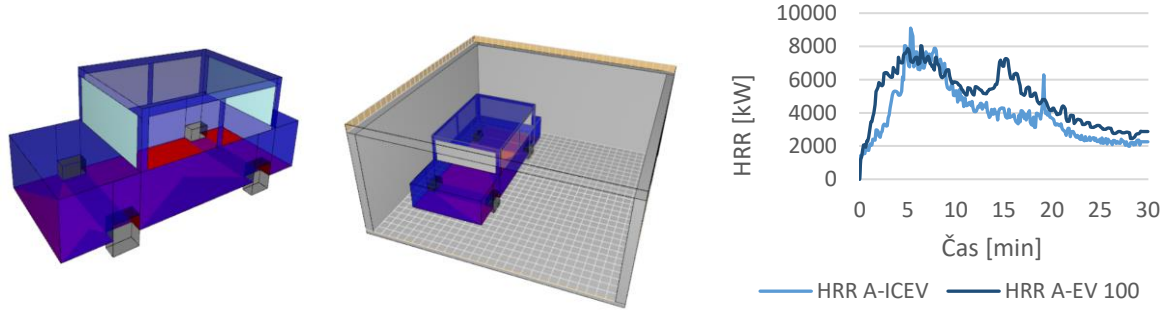
Hasičský zásah při požáru elektrovozidla se v mnohém neliší od požáru konvenčního vozidla, lze jej zvládnout běžně používanými prostředky, je však nutné uvažovat s následujícími specifiky: možnost samovznícení baterií, vyšší spotřeba vody, riziko úrazu elektrickým proudem, možnost vzniku termálního úniku, vyšší spotřeba dýchací techniky, možnost odletování článků baterie, hoření alkalických kovů. Baterie vozidla je při požáru nutné ochlazovat pomocí vodního proudu, ponořením do vody nebo použitím systému COBRA, který dokáže prořízнout kryt baterie a vodu aplikovat přímo na místo mezi jejími články, a tak efektivně chladit**.** Lze ho použít jen v případě, že je pro konkrétní typ vozidla doporučeno výrobcem s přesným uvedením místa řezu. [6]

ANALÝZA TEPLOT NA POVRCHU KONSTRUKCÍ PŘI POŽÁRU EV A ICEV

Praktická část práce se zabývá vlivem požáru ICEV a EV v uzavřeném prostoru dvougaráže. Pro simulaci byl použit program FDS 6.7.6 s grafickým nástrojem PyroSim 2022. Cílem praktické části daného příkladu je zjistit, jak požár EV a ICEV ovlivňuje teploty na povrchu konstrukcí.

V programu PyroSim 2022 byl vymodelován prostor dvojgaráže (Obr. 2), která má dva vjezdy, a je zde uvažováno pouze jedno vozidlo. Rozměry vozidla byly zjednodušeny na pravoúhlé. Vozidlo bylo umístěno hned za vjezdovými vraty. Vznik požáru byl uvažován v prostoru uvnitř vozidla. U vozidla byl nadefinován horní líc podlahy jako hořící povrch. Všechna boční okna vozidla byla uvažována jako otevřená, přednímu a zadnímu oknu bylo nastaveno rozbití při 300 °C. V požárním scénáři se uvažovalo s otevřeností přední stěny garáže. Počáteční teplota byla nastavena na 20 °C. Velikost výpočetní sítě byla stanovena na 0,2 m × 0,2 m × 0,2 m. Celkem tedy výpočetní prostor tvoří 13 020 buněk. Simulace požáru byla provedena pro dva typy vozidel – EV a ICEV.

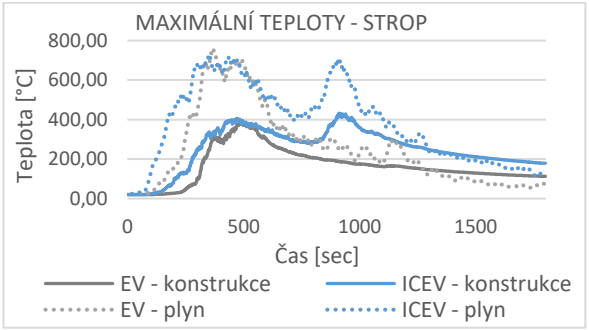
Pro požáry vozidel byly použity křivky HRR (Obr. 2) EV vyrobeného v roce 2014 s maximální hodnotou HRR 6,0 MW a ICEV vyrobeného v roce 2015 s maximální hodnotou HRR 7,1 MW z velkorozměrových zkoušek z roku 2015. Vozidla byla při požární zkoušce vystavena požáru po dobu 30 minut. Zkušební plocha byla umístěna pod 6 m×6 m velkou digestoř napojenou na systém odtahového ventilátoru, který sloužil ke sběru kouře a plynů. K iniciaci požáru byl použit pískový propanový hořák o rozměrech 2,4 m×1,2 m. Výkon propanového hořáku byl 2,0 MW. Kolem hořáku byla postavena montážní plošina, jejíž horní část byla v úrovni okraje hořáku a zkušební vozidlo bylo umístěno uprostřed nad hořákem. Vozidla byla podepřena na škvárových blocích, aby se zabránilo jeho pádu na zem v případě prasknutí pneumatik. U každého vozidla byla všechna okna a dveře zcela zavřené. U vozidel byly provedeny 2 zkoušky ICEV s plnou nádrží a EV s 100% SOC [7]



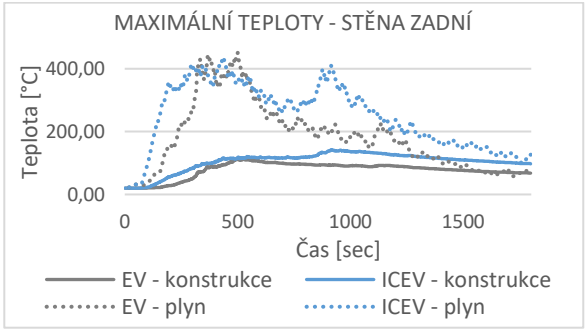
(A) (B) (C)

Obr. 2 (A) 3D model vozidla, (B) 3D model prostoru, (C) vstupní křivka HRR pro EV a ICEV
Fig. 2 (A) 3D vehicle model, (B) 3D construction model, (C) HRR input curve for EV and ICEV

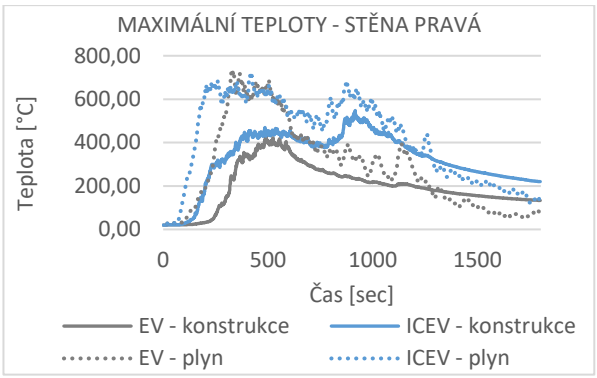
Výsledkem simulace jsou průběhy maximálních teplot na povrchu jednotlivých konstrukcí (Obr. 3) – strop, pravá stěna (blíže k vozidlu), stěna zadní a levá stěna (vzdálenější od vozidla).



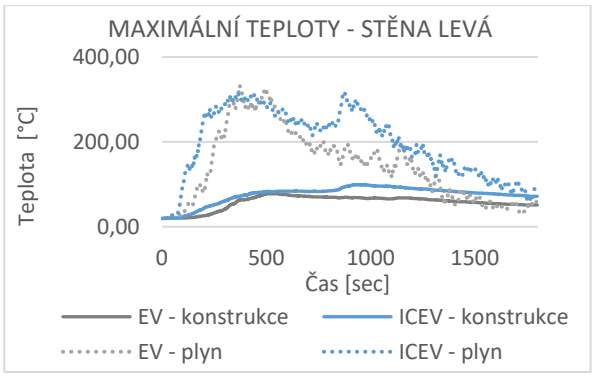
(A)



(B)



(C)



(D)

Obr. 3 Maximální teploty na povrchu konstrukcí a maximální teploty plynu u daných konstrukcí: (A) strop, (B) stěna zadní, (C) stěna pravá, (D) stěna levá
Fig. 3 Maximum wall temperatures and maximum gas temperatures for given structures: (A) ceiling, (B) rear wall, (C) right wall, (D) left wall

ZÁVĚR

EV samy o sobě nepředstavují větší riziko než ICEV. Problém představují baterie, které jsou použity pro provoz EV, ty při nesprávných provozních podmínkách mohou vést ke vzniku požáru. Pří požáru EV se může vyskytovat specifické chování, které může ovlivnit přilehlé konstrukce. Největší problém EV představuje jejich hašení, které je na rozdíl od zásahu při hořících ICEV specifické. Z hodnot získaných z modelu vyplývá, že teploty na povrchu konstrukcí jsou u ICEV vyšší než u EV. EV tak v případě zvoleného řešeného příkladu nepředstavují z hlediska požáru vyšší teplotní zatížení. Toto tvrzení má však omezenou platnost a závisí na vstupních podmínkách, stupni nabití baterie EV a v případě zkratu může být průběh požáru výrazně jiný.

V rámci navazující práce by bylo vhodné se dále věnovat vlivu množství použitých hořlavých hmot a jeho rozložení ve vozidlech na průběh požáru. Množství hořlavých hmot se bude pro EV a ICEV výrazně lišit a jejich rozložení v prostoru vozidla bude také odlišné. Zároveň by bylo vhodné zpracovat pokročilejší model požáru EV a ICEV.

LITERATURA

[1] IEA. *Global EV Outlook 2021* [online]. B.m.: Paris. Dostupné z: https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021
[2] Počet elektromobilů v ČR k 1. 1. 2022. *ekovozy.cz* [online]. Dostupné z: https://www.ekovozy.cz/
[3] BERG, Helena. *Batteries for electric vehicles: materials and electrochemistry* [online]. Cambridge: Cambridge University Press, 2015. Book, Whole. ISBN 1316090973. Dostupné z: https://go.exlibris.link/MSsfvgl1
[4] DORSZ, Adam, et al. Analysis of Fire Hazards Associated with the Operation of Electric Vehicles in Enclosed Structures. *Energies (Basel)* [online]. 2021, **15**(1), 11. ISSN 1996-1073. Dostupné z: doi:10.3390/en15010011
[5] BISSCHOP, Roeland, et. al. *Fire safety of lithium-ion batteries in road vehicles*. Tištěná kniha : International government publication : English. Boras, Sweden: RISE Research Institute of Sweden, 2019. ISBN 978-91-88907-78-3.
[6] MALKOVSKÝ, Zdeněk. *Aktuální poznatky z elektromobility pro potřeby HZS ČR* [online]. B.m.: GŘ HZS ČR. jen 2020. Dostupné z: https://www.hasici-vzdelavani.cz/sites/default/files/download/soubory/201007%20Komentovan%C3%BD%20v%C3%BDklad%20k%20MU%20s%20EV-H_0_0.pdf
[7] LAM, Cecilia, et al. Full-Scale Fire Testing of Electric and Internal Combustion Engine Vehicles. In: *Fourth International Conference on Fire in Vehicles* [online].

Sekce C | Aktivní požární ochrana

NÁVRH SPRINKLEROVÉHO SHZ VE SKLADOVACÍCH PROSTORECH A HALÁCH

DESING OF SPRINKLER STABLE FIRE EXTINGUISHING SYSTEM IN WAREHOUSE AND HALLS

Bc. Ondřej Péč

Abstract
The aim of this article is to get acquainted with sprinkler fire extinguishing system used in warehouse and halls. The first part of the article is focused on the design of sprinkler fire extinguishing system, categorization into hazard classes and subsequent determination of water supply intensity. The second part is focused on sprinkler deflector in relation to the spray characteristics.

Key words: *fire sprinkler; ESFR; sprinkler deflector; spray formation; warehouse*

ÚVOD

SHZ neboli stabilní hasící zařízení se zařazuje dle vyhlášky č. 246/2001 Sb. mezi vyhrazená požární zařízení, které jsou trvale zřízené v potřebné budově. Toto zařízení se řadí taktéž mezi prvky aktivní požární ochrany zajišťující ochranu zdraví osob a majetku, zlepšení možnosti evakuace a protipožárního zásahu při požáru. Systémy SHZ fungují automaticky, koordinovaně s detekčními prvky požáru. Jako nejčastější hasící médium se využívá voda. Právě voda se používá u většiny systému z důvodu dobrého hasícího účinku a finanční úspory oproti ostatním médiím, avšak není vždy vhodná a použitelná. Nejčastější aplikační oblast SHZ systému jsou např: výrobní objekty, skladové objekty, administrativní budovy, zdravotnické zařízení a obchodní centra [1].

URČENÍ SKLADOVACÍHO PROSTORU

Podle normy ČSN 73 0845 se za skladovací prostor, považuje prostor s půdorysnou plochou požárního úseku:

a) 150 m2 v podzemních podlažích, v případě objektů s maximálně jedním nadzemním podlažím smí být plocha dvojnásobná,
b) 300 m2 v nadzemních podlažích s více jak jedním nadzemním podlažím,
c) 600 m2 v jednopodlažním objektu, který smí sloužit zároveň i jako jiný provoz,
d) 1000 m2 v jednopodlažním objektu [2].

POVINNOST INSTALACE SHZ VE SKLADOVACÍCH PROSTORECH

Samočinné stabilní hasící zařízení musí být instalováno podle normy ČSN 73 0845 v každém požárním úseku ve skladovacích prostorech vždy pokud:

- ve skladech podle bodu předchozí kapitoly a) nebo b) je půdorysná plocha více než čtyřnásobek a $\tau_e \geq 150$ min
- ve skladech podle bodu předchozí kapitoly c) nebo d) půdorysná plocha větší než:
  a) čtyřnásobek se skupinou provozu skladu III nebo IV,
  b) dvojnásobek se skupinou provozu skladu V nebo VI,
  c) jednonásobek se skupinou provozu skladu VII [2].

TŘÍDY NEBEZPEČÍ

Před začátkem návrhu sprinklerového zařízení se musí danému prostoru přiřadit třída nebezpečí podle ČSN EN 12 845. Určení třídy nebezpečí závisí na požárním zatížení a typu skladování nebo

výroby. Pokud vznikne hranice mezi dvěma třídami nebezpečí zhotoví se alespoň 2 řady sprinklerů v místě s nižší třídou podle požadavků vyšší z hraničních tříd nebezpečí. Dle třídy nebezpečí se stanoví i požadovaná a nepřetržitá doba dodávky hasícího média.

MALÉ NEBEZPEČÍ – LH – 30 MIN

Do malé třídy nebezpečí se zatřizují prostory menší než 126 m^2 s požární odolností minimálně 30 minut. Tyto prostory mají malé požární riziko a nižší hořlavost materiálů. Možné příklady zatřízení uvádí norma ČSN EN 12 845 v příloze A [3].

STŘEDNÍ NEBEZPEČÍ – OH – 60 MIN

Mezi střední nebezpečí se řadí prostory se středním požárním rizikem a střední hořlavostí, kde dochází k výrobě nebo úpravě hořlavých látek. Opět zatřízení příkladů je zapracováno v normě ČSN EN 12 845 v příloze A. Tato třída se dále rozděluje do 4 následujících skupin:

- OH1 – střední nebezpečí – nemocnice, restaurace, kanceláře;
- OH2 – střední nebezpečí – muzea, garáže, laboratoře;
- OH3 – střední nebezpečí – obchodní domy, zemědělské budovy, sklárny;
- OH4 – střední nebezpečí – lihovary, divadla, výstaviště [3].

VYSOKÉ NEBEZPEČÍ – HHP – 90 MIN

Do této třídy nebezpečí pro výrobní provozy se zatřiďují prostory s výskytem materiálů s vysokým požárním zatížením a vysokou hořlavostí. Tyto materiály vysoce přispívají k intenzitě a šíření požáru. Tato třída je taktéž rozdělena do následujících skupin:

- HHP1 – vysoké nebezpečí – lakovny, výroba pryžových výrobků, výroba podlah;
- HHP2 – vysoké nebezpečí – výroba podpalovačů, výroba koberců, destilace dehtů;
- HHP3 – vysoké nebezpečí – výroba nitrocelulózy, výroba pneumatik;
- HHP4 – vysoké nebezpečí – výroba pyrotechniky [3].

VYSOKÉ NEBEZPEČÍ – HHS – 90 MIN

Do této třídy nebezpečí pro skladování se zatřiďují prostory s výskytem materiálů s vysokým požárním zatížením, vysokou hořlavostí a prostory, kde skladovací výšky překračují hodnoty uvedené v normě ČSN EN 12 845. Opět je tato třída rozdělena do 4 následujících kategorií v závislosti na materiálovým koeficientu a skladovým uspořádáním:

- HHS1 – kategorie I – pevné materiály v blocích;
- HHS2 – kategorie II – otevřené struktury;
- HHS3 – kategorie III – vnější povrch z nenapěněného plastu;
- HHS4 – kategorie IV – vnější povrch z napěněného plastu [3].

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Řešeným příkladem této seminární práce je průzkum deflektorů požárních sprinklerů a jejich vliv na výstřikovou charakteristiku. Jednou z výrazně ovlivňujících vlastností na samotný výstřikový profil je právě geometrie sprinklerového deflektoru. Vzor výstřikového profilu ovlivňují i okolní podmínky prostředí a samotná atomizace výstřiku.

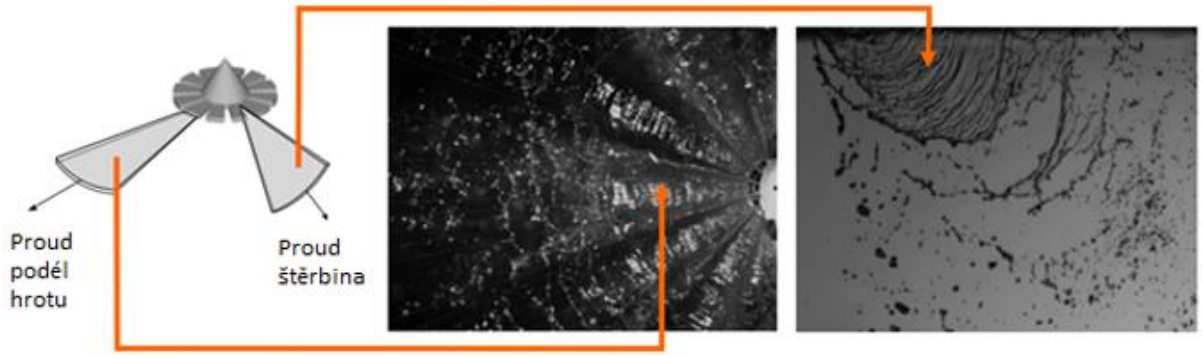
VLIV DEFLEKTORU NA ROZSTŘIK

Výstřikovou charakteristiku obecně nejvíce ovlivňuje velikost otvoru trysky a geometrie tříštiče neboli deflektoru. Zatímco, některé sprinklerové hlavice vypadají podobně, můžou mít kvůli malým změnám v geometrii deflektoru dosti odlišný výstřik. Parametr průměru trysky určuje charakteristickou velikost kapky a K – faktor. Úhel štěrbiny a úhel hrotu mají naopak větší vliv na výstřikový vzor vodního proudu.

Deflektor sprinklerů přemění vodní proud na složitou nestabilní deskovou strukturu. U závěsných sprinklerů je tento trojrozměrný list aproximován dvěma samostatnými proudy. Proud procházející skrz štěrbinu a proud vzniklý odkláněním podle hrotů. Fotografie krátkodobé expozice proudu hrotů na obr.1b a fotografie stínové grafiky na obr.1c poukazují, že proudy z hrotů i štěrbin se rozpadly v důsledků mechanismů růstu aerodynamických vln [4].

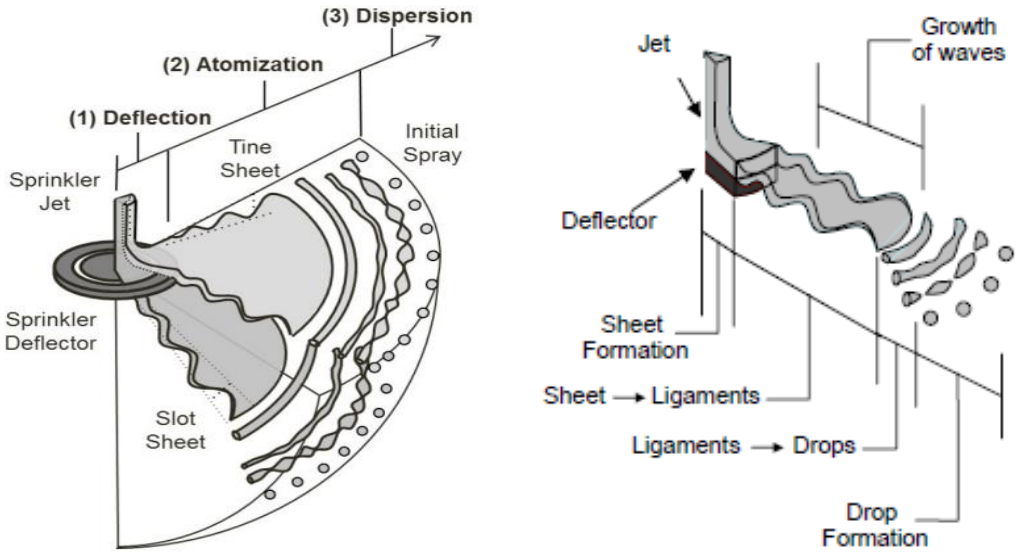
TEORIE ATOMIZACE

Obecně platí, že atomizační mechanismus související se sprinklerovým deflektorem lze kategorizovat jako mechanismus nestability vodní vrstvy. Přiváděná voda do sprinklerové hlavice ve formě kontinuálního proudu narazí na deflektor a vytvoří expandující kapalinovou vrstvu. Vzniklá vodní vrstva má trojrozměrnou strukturu. Horizontální souvislá vrstva se vytvoří podél hrotů deflektoru, zatímco podél štěrbin (perforovaná část deflektoru) se vytvoří vertikální souvislá vrstva vody viz Obr. 1.



Obr. 1: Rozdělení proudu deflektorem; (A) model proudů, (B) vrchní pohled, (C) boční pohled [4].
Fig. 1: Flow distribution by deflector; (A) flow model, (B) top view, (C) side view [4].

Klíčovým bodem k pochopení procesu atomizace je, že proces tvorby kapek se řídí již výše zmíněným mechanismem nestability vodní vrstvy viz *Obr. 2*. Obvykle se jedná o nestabilitu Kelvin-Helmlhotzova typu, kde je rozdíl rychlostí na rozhraní mezi dvěma tekutinami. Vzhledem k rychlosti procesu atomizace lze ve studiích tohoto jevu zanedbat gravitační sílu. Nejvýznamnější fyzikální veličiny v tomto procesu jsou tlakové síly a povrchové napětí. V amerických studiích se předpokládá, že souvislá vodní vrstva bude ve formě sinusové vlny až do bodu kritické amplitudy. V bodě, kdy amplituda dosáhne své kritické hodnoty se souvislá vodní vrstva rozdělí na provazce a následně na jednotlivé kapky. V aplikaci sprinklerových hlavic je rychlost výstřiku na úrovni deflektoru řádově kolem 10 m/s a tloušťka souvislé vodní vrstvy kolem 1 mm [5].



Obr. 2:Popis procesu atomizace [5].
Fig. 2: Description of the atomization process [5].

ZÁVĚR

Tento odborný článek shrnuje základní problematiku ohledně SHZ ve skladovacích prostorech v závislosti na legislativních požadavcích. Dále se v článku popisuje vliv geometrie deflektoru sprinkleru na samotný rozstřik hasícího média. Fyzikální chování rozstřiku je založeno na procesu atomizace. Tento proces atomizace je založen na mechanismu nestabilní vodní vrstvy a jeho vysvětlení je součástí článku.

LITERATURA

[1] RYBÁŘ, Pavel. *Sprinklerová stabilní hasící zařízení* [online]. B.m.: TZB info, 2016. 1. díl. Dostupné z: https://voda.tzb-info.cz/pozarni-vodovod/13971-sprinklerova-zarizeni-i-dil

[2] ČSN 73 0845 - *Požární bezpečnost staveb - Sklady*. B.m.: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2012

[3] ČSN EN 12 845 - *Stabilní hasící zařízení - Sprinklerová zařízení - Navrhování, instalace a údržba*. B.m.: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2020

[4] MARSHALL, W. André. Unreveling Fire Suppression Sprays. *Fire Safety Science* [online]. nedatováno, 2011. Dostupné z: doi:10.3801/IAFFS.FSS.10-61

[5] REN, Ning. *Advances in characterizing fire sprays*. B.m., 2010. Fakulty of the Graduate. University of Maryland, College Park.

PŘETLAKOVÉ VĚTRÁNÍ CHRÁNĚNÝCH ÚNIKOVÝCH CEST

PRESSURE VENTILATION OF PROTECTED ESCAPE ROUTES

Bc. Lukáš Jordán

Abstract
The content of this article is to verify the functionality of fire ventilation and smoke tests in the selected building. Due to the selected object, the work deals mainly with overpressure ventilation of protected escape routes. The solved example deals with the measurement and physical verification of the functionality of the fire ventilation of the protected escape route using physical quantities. The next part of the solved example deals with the implementation of additional smoke tests of a smoke generator producing non-toxic smoke. The chosen protected escape route was an overpressure-ventilated protected escape route type B at the Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University in Prague. The purpose of the test results is to evaluate the functionality of fire ventilation and verify the possibility of safe evacuation of people along this protected escape route.

Key words: *Fire ventilation; protected escape route; functional test; smoke generator; overpressure ventilation; pressurization systems*

ÚVOD

Lidský život by měl mít nejvyšší prioritu při volbě správného návrhu požárního větrání chráněné únikové cesty (CHÚC) v oblasti požární bezpečnosti staveb (PBS), avšak v ČR i ve světě můžeme nalézt mnoho staveb, které jsou řešeny nesprávným způsobem. Zplodiny hoření vznikající v uzavřených prostorách patří tedy nezpochybnitelně mezi prioritní vlivy, které zásadním způsobem ovlivňují bezpečnost osob a zapříčiňují téměř 50 % všech obětí při požárech a více než 1/3 ohroženým způsobují smrt [1]. Dle statistické ročenky Hasičského záchranného sboru České republiky [2] došlo v roce 2021 celkem k 16 162 požárům. Z tohoto počtu nejvyšší podíl (33 %) tvořily požáry domácností, celkem se jednalo 5 279 požárů a celkový počet usmrcených osob v přímé souvislosti činil 67 usmrcených osob. Z výše uvedených poznatků je zřejmé, že požární větrání CHÚC hraje důležitou roli v oblasti PBS.

OVĚŘOVÁNÍ FUNKČNOSTI PŘETLAKOVÉHO VĚTRÁNÍ CHÚC

Přetlakové větrání je nejúčinnější způsob požárního větrání, při kterém je, po určitou dobu, zcela zamezeno průniku zplodin kouře a hoření do prostoru CHÚC. Tímto způsobem větrání se tato CHÚC stává pro unikající osoby o mnoho bezpečnější, než při jiných způsobech požárního větrání. Kontroly požárně bezpečnostních zařízení se provádí v rozsahu stanoveném právními předpisy. Při ověření funkčnosti přetlakového větrání, jde především o ověření a průkazné doložení výkonových parametrů, které byly stanoveny v projektové dokumentaci. Při těchto ověřovacích měření musí být dodrženy veškeré zásady měření. Mezi hlavní měřené fyzikální veličiny patří: měření rychlosti proudění vzduchu (m/s), měření rozdílu tlaků (Pa) a měření síly potřebné k otevření dveří do CHÚC (N) [3].

NETOXICKÁ KOUŘOVÁ ZKOUŠKA

Netoxická kouřová zkouška slouží jako doplněk při ověřování funkčnosti požárního větrání. V praxi se uplatňuje provedení kouřové zkoušky pouze na základě ustanovení článku 7.2.6, ČSN 73 0804 [4]. Při provádění netoxické kouřové zkoušky je kouř generován pomocí kouřových generátorů (vyvíječů kouře). Kouřové generátory mají praktické využití v řadě odvětví. Z hlediska požární problematiky mají nejčastější využití pro výcvik a odbornou přípravu jednotek požární ochrany nebo právě při provádění funkčních zkoušek požárního větrání.

FYZICKÉ OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI PŘETLAKOVÉHO VĚTRÁNÍ VYBRANÉ CHÚC A PROVEDENÍ NETOXICKÉ KOUŘOVÉ ZKOUŠKY

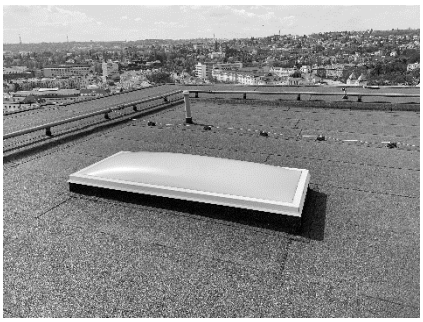
Vybranou CHÚC pro ověřování funkčnosti přetlakového požárního větrání a provedení netoxické kouřové zkoušky byla CHÚC typu B v budově A, Fakulty stavební ČVUT v Praze. Jedná se o jižní CHÚC v budově A, která čítá celkem 13 NP. Ze získané dokumentace této CHÚC vyplývá, že se jedná o CHÚC typu B bez požární předsíně. Přívod vzduchu je zajištěn radiálním ventilátorem umístěným na střeše objektu, který nasává venkovní vzduch nad střechou a svislým potrubím ho dopravuje do CHÚC, kde je vyfukován přes stěnové vyústky, které jsou osazeny ve 2. PP, 3. NP, 6. NP, 10. NP a 13. NP. Odvod vzduchu je zajištěn samočinně otvíravou RWA klapkou, která je umístěna v nejvyšším místě schodiště, a která zajistí přetlak 25-100 Pa při zavřených dveřích. Požadovaná výměna vzduchu v prostorech této CHÚC byla stanovena jako patnáctinásobek objemu CHÚC za hodinu a navržený průtok vzduchu činí 21 600 m^3/h.

Ověření funkčnosti přetlakového větrání a kouřová zkouška proběhla 29.4.2022. Účelem této zkoušky bylo ověření výkonových parametrů, které byly stanoveny v projektové dokumentaci (objemový průtok přívodního vzduchu a rozdíl tlaků) a provedení doplňkové netoxické kouřové zkoušky. Dále byly nad rámec požadavků ověřeny další fyzikální veličiny pro přetlakové větrání CHÚC dle dnešních normativních požadavků (rychlost proudění vzduchu v otevřených dveřích a síla potřebná pro otevření dveří).

Před zahájením zkoušky proběhlo srovnání CHÚC s projektovou dokumentací, uzavření všech okenních a dveřních otvorů, kterými by mohlo docházet k úniku vzduchu a vylepení informativních cedulí na dveře do CHÚC o průběhu zkoušky z toho důvodu, aby se předešlo otevření dveří do CHÚC a úniku vzduchu do chodeb a ovlivnění výsledků měření. V této části byly zjištěny dva zásadní nedostatky. Prvním nedostatkem byly chybějící dveře v 1. PP viz Obr. 1. Z tohoto důvodu bylo nutné utěsnit dveřní otvor před začátkem zkoušky, neboť by výsledky měření byly značně ovlivněny. Druhým nedostatkem byla nesrovnalost odvodního prvku, neboť v projektové dokumentaci byla stanovena samočinně otvíravá RWA klapka zajišťující udržení přetlaku v CHÚC. Ve skutečnosti je však v nejvyšším místě osazen samočinně otvíravý světlík viz Obr. 2, který není schopen udržet stanovený přetlak.



Obr. 1 Utěsnění chybějícího dveřního otvoru
Fig. 1 Sealing the missing door opening



Obr. 2 Samočinně otvíravý světlík na střeše objektu
Fig. 2 Self-opening skylight on the roof of the building



Obr. 3 Měření rychlosti proudění vzduchu v otevřených dveřích
Fig. 3 Measuring the speed of air flow in open doors

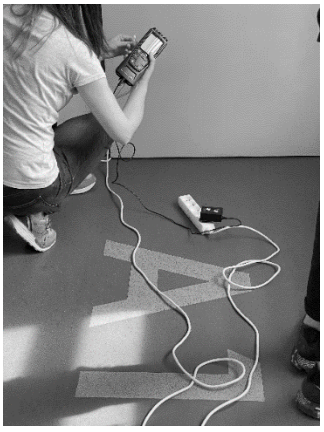
Po spuštění přetlakového větrání CHÚC proběhlo samostatné měření fyzikálních veličin. První měřenou fyzikální veličinou bylo měření rychlosti proudění vzduchu v otevřených dveřích viz Obr 3. Toto měření proběhlo v 1. a 4. NP mezi dveřmi oddělujícími prostor se zvýšeným tlakem a bez zvýšeného tlaku. K měření byla sestavena měřicí síť a měření muselo být provedeno nejméně v osmi stejnoměrně rozmístěných bodech ve dveřním otvoru. K měření byl použit kalibrovaný lopatkový anemometr Testo T400. Výsledkem měření v 1. NP byla stanovena průměrná hodnota rychlosti proudění ve dveřním otvoru 0,86 m/s. V průběhu měření ve 4. NP došlo k narušení zkoušky vlivem otevření dveří v nižším podlaží, pohybu osob po této CHÚC a přerušení zkoušky.

Další fyzikálně měřenou veličinou byla síla potřebná k otevření dveří mezi prostorem se zvýšeným tlakem a bez zvýšeného tlaku viz Obr. 4. K tomuto měření byl použit měřič síly LUTRON FG-100KG a měření probíhalo ve 3. a 4. NP. Ve 3. NP byla neměřena nejvyšší hodnota 44,4 N na levých a 40,6 N na pravých dveří ve směru výstupního ramene schodiště. Ve 4. NP byly naměřeny hodnoty 76,8 N na levých a 50,4 N na pravých dveřích ve směru výstupního ramene schodiště. Následně byl měřen rozdíl tlaků v 1. NP mezi CHÚC a sousedním požárním úsekem viz Obr. 5. Měření probíhalo pomocí kalibrovaného manometru Testo 480, ze kterého byla vyvedena jedna hadička přes netěsnost dveří do sousedního požárního úseku bez zvýšeného tlaku a druhá hadička byla vyvedena do prostoru CHÚC se zvýšeným tlakem. Naměřený rozdíl tlaků při tomto měření byl 0,038-0,057 hPa.

Poslední měření fyzikálních veličin spočívalo v měření rychlosti proudění na koncových distribučních prvcích (mřížkách) za účelem stanovení objemového průtoku vzduchu. Měřena byla rychlost na vyústce mezi 2. a 3. NP pomocí pravoúhlého rozdělení na dílčí plochy o stejné velikosti. Celkem bylo změřeno 12 měřicích bodů pomocí kalibrovaného lopatkového anemometru Testo T400 a z těchto bodů byla stanovená průměrná rychlost 4,2325 m/s. Návrhový objemový průtok na této vyústce byl v projektové dokumentaci stanoven na 4320 m^3/h . Na základě uvažované volné výtokové plochy (A_k = 0,2366 m^2) byl dopočítán objemový průtok vzduchu 3605,07 m^3/h. Nelze s přesností určit skutečný objemový průtok, neboť není znám konkrétní typ stěnové vyústky a při přepočtu měřených hodnot byla uvažována vyústka stejných geometrických rozměrů a vzhledu.



Obr. 4 Měření síly potřebné k otevření dveří
Fig. 4 Measuring the force required to open the door



Obr. 5 Měření rozdílu tlaků
Fig. 5 Differential pressure measurement

Netoxická kouřová zkouška byla provedena dle metodického postupu [3] za účelem sledování pohybu kouře v CHÚC. Kouřový generátor produkující netoxický kouř Hurricane 700 byl postupně umístěn na hlavní podestě v 1.NP a ve 4. NP viz Obr. 7. Před spuštěním požárního větrání produkoval kouř do doby dosažení přijatelné zakouřenosti podlaží (5-6 minut). Následně bylo spuštěno přetlakové požární větrání za účelem sledování pohybu kouře k odvodnímu prvku. V průběhu tohoto sledování byla zkouška monitorována videozáznamem, který znázorňuje pohyb kouře po schodišti a postupné zlepšování viditelnosti na CHÚC viz Obr. 6. a 7. V čase 2 minut a 13 sekund

po spuštění požárního větrání byl kouř zcela úspěšně odveden. Zajímavým pozorování u této kouřové zkoušky byl také fakt, že značné množství kouře bylo vytlačeno z prostoru CHÚC přes velké netěsnosti dveřního otvoru na podlaží, jehož chodba byla díky tomu zakouřena.



Obr. 6 Množství kouře před spuštěním větracího zařízení
Fig. 6 Amount of smoke before starting the ventilation system



Obr. 7 Kouřový generátor
Fig. 7 Smoke generator



Obr. 8 Pohyb kouře směrem k odvodnímu prvku
Fig. 8 Movement of smoke towards the exhaust element

ZÁVĚR

Ověřovaná CHÚC typu B s přetlakovým větráním nesplnila při kontrole návrhové požadavky uvedené v projektové dokumentaci. Objemový průtok vzduchu vzhledem k požadované násobnosti výměny vzduchu byl nedostatečný a požadovaný přetlak byl spíše vedlejším jevem, který můžeme pozorovat např. u nuceného větrání CHÚC. Z toho důvodu hodnotím kladně novou změnu kmenových norem ošetřující způsoby návrhu přetlakového větrání. Jako největší nedostatek hodnotím světlík na střeše objektu a konstrukce kouřotěsných dveří. Dveřmi napříč celou CHÚC docházelo k velkým únikům vzduchu skrze jejich netěsnosti, což se potvrdilo i při kouřové zkoušce. Síly potřebné k otevření dveří byly poměrně vysoké a to i bez působení přetlaku. Tuto skutečnost přičítám chybnému nastavení samozavíračů. Vzhledem k dnešním normativním požadavkům bych toto požární větrání považoval za kombinované s nutností revize veškerých dveřních otvorů a osazení chybějících dveří, bez kterých navržený systém přetlakového větrání není funkční.

LITERATURA

[1] POKORNY, Jiri. Zplodiny hoření, jejich tvorba, vliv na bezpečnost osob a alternativní metoda posuzování. In: Červený kohout 2003 [online]. 2003, s. 16-25. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/274736394_Zplodiny_horeni_jejich_tvorba_vliv_na_bezpecnost_osob_a_alternativni_metoda_posuzovani

[2] STATISTICKÁ ROČENKA 2001–2020 [online]. Praha: Ministerstvo vnitra-generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, 2021 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: https://www.hzscr.cz/soubor/rocenka-2001-2020-pdf.aspx

[3] POKORNÝ, Jiří, Stanislav TOMAN a Ivana NOHOVÁ. *Metodický postup pro ověřování funkčnosti požárního odvětrání* [online]. Praha: Ministerstvo vnitra-generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, 2010 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: https://www.hzscr.cz/soubor/odkazy-pozarni-prevence-metodika-pro-zokt-pdf.aspx

[4] *ČSN 73 0804 ed. 2 - Požární bezpečnost staveb - Výrobní objekty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.

VIDEO DETEKCE POŽÁRU

VIDEO FIRE DETECTION

Bc. Kristýna Malá

Abstract
This paper presents basic principles of video detection systems and its methods. The first mentioned method is video detection of fire in visible spectral range, specifically colour detection, motion detection, flicker analysis detection and dynamics and pattern analysis. The second mentioned method is fire detection in non-visible infrared spectral range. The third mentioned method is usage of convolutional neural network, which is a deep learning framework inspired from the mechanism of visual perception of living creatures.

Key words: *fire safety of buildings; fire alarm and detection system; video fire detection; video smoke detection; computer vision; image processing*

ÚVOD

Požár je jedním z hlavních rizik, která ovlivňují bezpečnost lidí v objektech, ale i mimo objekty. Toto riziko je řešeno požární ochranou, která se svým přístupem dělí na požární prevenci a požární represi. Požární represe řeší již vzniklý požár a jeho likvidaci, naproti tomu požární prevence se snaží předcházet vzniku požáru a redukovat jeho následky. V rámci požární prevence jsou uplatňovány prvky pasivní požární ochrany (jako jsou například konstrukční řešení a únikové cesty) a prvky aktivní požární ochrany, mezi které patří například požárně bezpečnostní zařízení (dále PBZ).

Hlavním úkolem požární ochrany je snížit účinky požáru a snížit dobu působení požáru. Pro oba tyto případy je nejdůležitější včasná detekce a signalizace vzniklého požáru. Jedním z častých řešení je instalace elektrické požární signalizace (dále EPS). EPS patří do skupiny vyhrazených PBZ, na které jsou kladeny specifické požadavky vzhledem k certifikaci výrobků a ke kvalifikaci projektantů. Systém EPS tvoří především ústředna EPS, hlásicí linky, hlásiče a ovládaná a doplňující zařízení. Tento článek je zaměřen na část hlásičů pro video detekci požáru (dále VIFD).

PRINCIP VIDEO DETEKCE

Video detekce je stále relativně nový způsob detekce požáru, který není tak rozšířený jako konvenční systém EPS s bodovými nebo lineárními hlásiči. Nejčastěji používané hlásiče fungují na základě kontaktu produktu požáru s detektorem, kdy například bodový kouřový hlásič detekuje požár poté, co se částicové zplodiny kouře prouděním dostanou do hlásiče na stropě. Stejně tak u lineárních hlásičů je nutné, aby se zplodiny dostaly do střežené výšky. U teplotních hlásičů funguje stejný princip, kdy je potřeba, aby se ohřátý vzduch dostal do hlásiče. U VIFD tato prodleva od započnutí požáru po detekci sledované veličiny v detektoru zaniká, jelikož VIFD snímá celý prostor bez ohledu na vzdálenost a není potřeba žádného přenosu hmoty mezi detektorem a místem požáru.

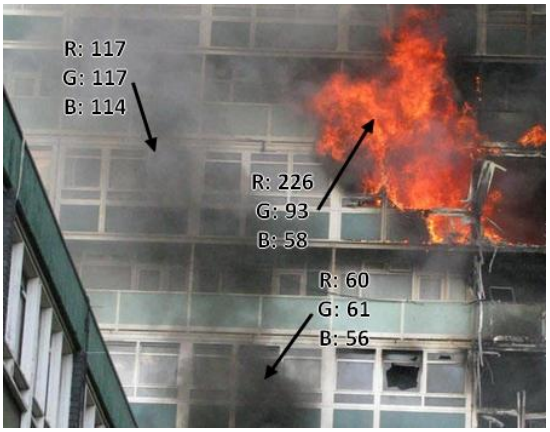
Video detekce požáru ke své funkci využívá videokamer, které snímají chráněný prostor, a následně je snímaný obraz vyhodnocován softwarem pro detekci požáru. Vyhodnocení probíhá na základě charakteristik požáru, jako je například barva plamene, barva kouře, specifický pohyb plamene a kouře, zjemňování hran kolem požáru důsledkem kouře, textura, nebo teplota u termokamer. Dříve se v rámci VIFD využívalo převážně rozpoznávání plamene, nyní se využívá i rozpoznávání kouře, který se šíří rychleji než plamen, a v některých případech může plamen i zaclonit.

Na rozdíl od konvenčních bodových hlásičů je VIFD rychlejší a také poskytuje více informací o požáru. Konvenční hlásiče podají pouze informaci, že zaznamenaly požár, kdežto VIFD dokáže díky možnostem zpracování obrazu informovat o velikosti požáru, jeho směru rozšiřování, přesné lokaci a rychlosti rozšiřování. Další výhodou VIFD je možnost umístění videokamer i v exteriéru, například na letištích nebo parkovištích, a mohou být také umístěny daleko od ohniska požáru, aniž by se prodloužil čas detekce.

DETEKCE POŽÁRU VE VIDITELNÉM SPEKTRU PODLE BARVY

Jedním ze způsobů detekce požáru je detekce ve viditelném spektru dle barvy. Protože má plamen specifickou barvu a pohybuje se v červeno-žlutém rozsahu, dá se v modelu barev RGB použít podmínka R > G > B. [1]

Tato podmínka značí, že složka červené barvy bude mít vyšší hodnotu než zelená, a ta bude vyšší než hodnota modré složky. Stejně tak je možné podle barvy detekovat kouř, u kterého se hodnoty složek R, G a B pohybují velmi blízko u sebe. RGB hodnoty kouře a plamene jsou vyobrazeny na Obr. 1.



Obr. 1: RGB hodnoty kouře a plamene, upraveno [2]
Fig. 1: RGB values of smoke and flame, edited [2]

DETEKCE POŽÁRU VE VIDITELNÉM SPEKTRU PODLE POHYBU

Protože je plamen a kouř při požáru pohybující se hmotou, jedním z dalších způsobů detekce požáru je detekce pohybu. Stejně jako u detekce podle barvy není možné tento způsob použít samostatně, jelikož nevyhodnotí pouze požár, ale i další pohybující se objekty. Pro zpřesnění, zda se jedná o pohyb obyčejného předmětu anebo o pohyb plamene či kouře, je nutné použít další analýzy.

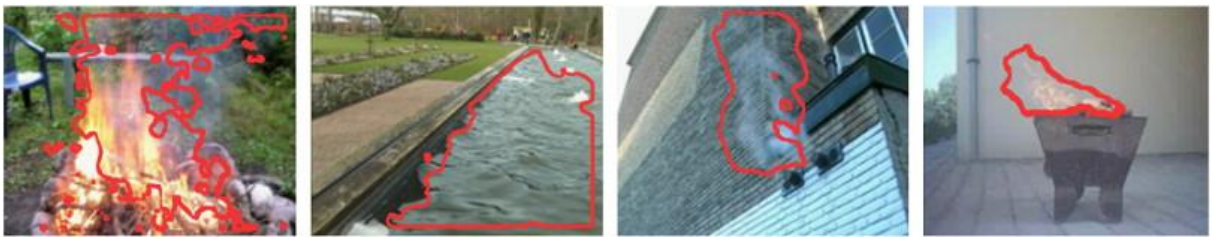
DETEKCE POŽÁRU VE VIDITELNÉM SPEKTRU PODLE MIHOTÁNÍ

Charakteristickým pohybem plamene je mihotání, a proto se pro rozpoznání požáru od běžných pohybujících se objektů může využít detekce mihotání. Tento způsob je založen na principu dočasného chování plamene a kouře, kdy se barva pixelů na okraji požáru mění s velkou rychlostí na barvy plamene a kouře a zpět na původní barvy v pozadí.

V souvislosti s důsledkem pohybu kouře, kdy dochází i ke zjemňování hran na snímku, bylo nalezeno kolísání energie mezi pozadím a zakouřeným prostorem. Pro tento způsob je využívána diskrétní vlnková transformace (DWT). [1]

DETEKCE POŽÁRU VE VIDITELNÉM SPEKTRU PODLE STRUKTURY A TVARU

Požár s plameny a kouřem tvoří v obrazu specifickou strukturu, která se dá definovat jako prostorově a časově proměnný vzor, který vytváří sekvenci snímků s danou časovou stálostí. Na podobném principu tvoří vzory ve snímcích také například voda. Příklady detekce struktur je možné vidět na Obr. 2. [2]



Obr. 2:Detekce struktur, [3]

Fig. 2: Texture detection, [3]

Tyto struktury je sice jednoduché rozpoznat lidským okem, ale je obtížnější je detekovat pomocí počítačového vidění. Pro detekci těchto dynamických struktur a tvarů se využívá mnoho geometrických, statistických a pohybových metod.

DETEKCE POŽÁRU V INFRAČERVENÉM SPEKTRU

Detekce v infračerveném spektru se využívá v případě, že je v chráněném prostoru nedostatek světla, anebo chráněný prostor sám o sobě vykazuje podobné viditelné vlastnosti jako požár, a tím by bylo obtížné odlišit skutečný požár od planého poplachu.

Infračervené kamery snímají daný prostor na základě vlnových délek elektromagnetického záření v rozmezí od 760 nm do 1 mm, které objekty v prostoru vyzařují. Hodnota vlnové délky je závislá na teplotě snímaného objektu a tím je možné rozlišit objekty běžné teploty a objekty zasažené požárem. Infračervené záření je lidským okem neviditelné, avšak právě díky infračerveným kamerám, které každé vlnové délce přiřadí určitou barvu z viditelného spektra, je možné ho vizualizovat, jak je vidět na Obr. 3. [4]



Obr. 3: Zobrazení snímku ve viditelném a infračerveném spektru, [4]

Fig. 3: Image in the visible and infrared spectrum, [4]

DETEKCE POŽÁRU S VYUŽITÍM KONVOLUČNÍCH NEURONOVÝCH SÍTÍ

Konvoluční neuronové sítě (CNN) jsou modelem umělé inteligence, který je inspirován lidským vizuálním vnímáním. Využívá se v oblastech pro rozpoznávání akcí, odhad postoje, klasifikaci snímků, sledování objektů, segmentaci obrazu nebo lokalizaci objektů. [5]

Tyto pokročilé přístupy fungují na principu učení, kdy je předložen vzor, který CNN vyhodnotí, následně se porovná s požadovaným výsledkem a určí se chyba. Tento postup se opakuje až s několika tisíci různými vzory.

ZÁVĚR

Video detekce požáru jako jeden ze způsobů detekce v rámci EPS má za cíl nahrazení lidského zásahu do detekce požáru při ponechání jeho výhod za pomoci umělé inteligence. Především jde o rychlost a věrohodnost detekce, jelikož pokud člověk požár vidí, je zde stoprocentní jistota, že se nejedná o falešný poplach. I proto se VIFD rozvíjí společně s umělou inteligencí, která může lidskou složku nahradit.

LITERATURA

[1] ÇETIN, A. Enis, Kosmas DIMITROPOULOS, Benedict GOUVERNEUR, Nikos GRAMMALIDIS, Osman GÜNAY, Y. Hakan HABIBOĞLU, B. Uğur TÖREYIN a Steven VERSTOCKT. Video fire detection – Review. *Digital Signal Processing* [online]. 2013, **23**(6), 1827–1843. ISSN 10512004. Dostupné z: doi:10.1016/j.dsp.2013.07.003Lakanal House fire. [obrázek].

[2] Lakanal House fire. [obrázek]. In. *www.bbc.com*. BBC News [online]. Dostupné z: https://ichef.bbci.co.uk/news/976/cpsprodpb/1923/production/_104453460_5cd8ef63-0b8e-4949-ac19-10f23ecd516b.jpg

[3] PÉTERI, Renaud, Sándor FAZEKAS a Mark J. HUISKES. DynTex: A comprehensive database of dynamic textures. *Pattern Recognition Letters* [online]. 2010, **31**(12), 1627–1632. ISSN 01678655. Dostupné z: doi:10.1016/j.patrec.2010.05.009

[4] KOPECKÝ, Stanislav, Jaroslav ŘEPÍK a Jakub ŠKODA. Využití termokamery k zjišťování příčiny vzniku požárů. *TZB-info* [online]. Dostupné z: https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/20961-vyuziti-termokamery-k-zjistovani-priciny-vzniku-pozaru

[5] MUHAMMAD, Khan, Jamil AHMAD, Irfan MEHMOOD, Seungmin RHO a Sung Wook BAIK. Convolutional Neural Networks Based Fire Detection in Surveillance Videos. *IEEE Access* [online]. 2018, **6**, 18174–18183. ISSN 2169-3536. Dostupné z: doi:10.1109/ACCESS.2018.2812835

Zapálení2022
sborník 5. studentské vědecké konference Fakulty stavební ČVUT v Praze

kolektiv vedoucích předdiplomních prací:
Pokorný, Marek, Mózer, Vladimír, Hejtmánek, Petr, Wald, František, Pechová, Pavla, Štefan, Radek, Benýšek, Martin, Koubková Ilona, Cábová, Kamila, Sokol, Zdeněk, Netušil, Michal

Vydalo: České vysoké učení technické v Praze
Zpracovala: Fakulta stavební ČVUT v Praze
Katedra konstrukcí pozemních staveb
Thákurova 7, 166 29, Praha 6 – Dejvice
Tisk: online verze

74 stran | první vydání elektronicky

ISBN 978-80-01-07011-6

červen 2022

vtip z čtyřicet dvojky (jako xx42)

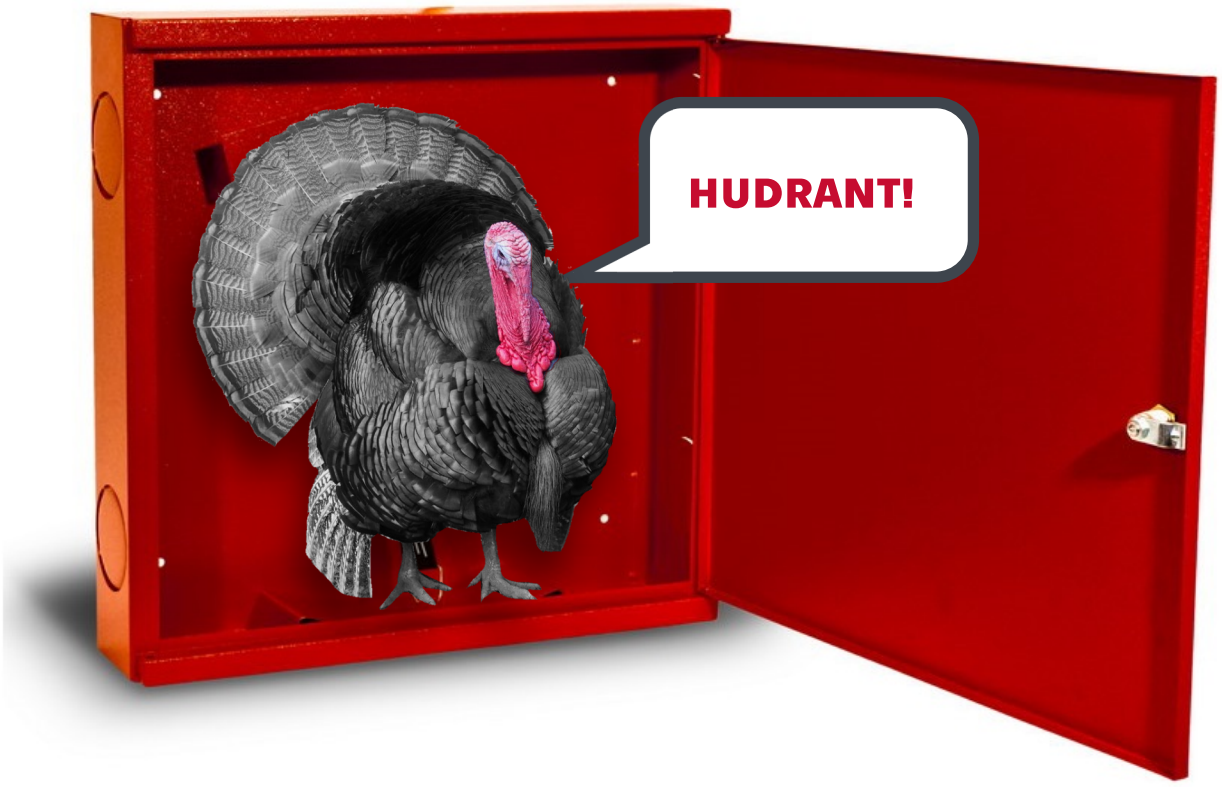
Ťuk ťuk!





Kdo je?

vtip z čtyřicet dvojky (jako xx42)



ISBN 978-80-01-07011-6

Zapálení2022
sborník 5. studentské vědecké konference
Fakulty stavební ČVUT v Praze

Vydalo: České vysoké učení technické v Praze
Zpracovala: Fakulta stavební ČVUT v Praze
Katedra konstrukcí pozemních staveb
Thákurova 7, 166 29, Praha 6
Tisk: on-line verze

74 stran | první vydání
ISBN: 978-80-01-07011-6
Červen 2022