



ČVUT

FSv



**sborník 6. studentské  
vědecké konference**

**Zapálení2023**

Fakulta stavební | 8.–9. 6. 2023  
ČVUT v Praze | [pozar.fsv.cvut.cz](http://pozar.fsv.cvut.cz)

## 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



Na Fakultě stavební ČVUT v Praze lze zaměřit své bakalářské, magisterské a doktorské studium na požární ochranu budov. Naši absolventi se každým rokem stávají žádanými odborníky v oblastech stavebního, požárního 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 (PBR)
- 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 6. studentské  
vědecké konference**

**Zapálení2023**

Fakulta stavební | 8.–9. 6. 2023  
ČVUT v Praze | [pozar.fsv.cvut.cz](http://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., Najmanová, H., Wald, F., Štefan, R., Pechová, P.,  
Koubková I., Cábová, K., Sokol, Z., Velebil, L., Benýšek, M., Chylík, R., Novák, J., 2023**

**ISBN 978-80-01-07161-8**

## **PŘEDMLUVA**

Šestý ročník konference Zapálení2023 pořádaný dne 8. a 9. června 2023 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) Integrovaná 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 Zapálení2023 vznikla za podpory interního projektu SVK č. 03/23/F1 na ČVUT v Praze pro rok 2023. Zapálení tímto srdečně děkuje!

**kolektiv vedoucích předdiplomních prací**



## OBSAH

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

### SEKCE A | POŽÁRNÍ BEZPEČNOST STAVEB

VELECHOVÁ K.   Analýza evakuace osob z prostorů s řadami sedadel.....	9
ŠTECHER J.   Požární hledisko dvojitého zateplování pomocí ETICS.....	13
KOBILÍK V.   Analýza okrajových podmínek pro velkorozměrovou požární zkoušku fasádních systémů .....	17
ČERNÁ K.   Požární riziko hořlavých předmětů ponechaných na únikových cestách.....	21
ANDRLÍK M.   Posuzování požárem namáhaných konstrukcí.....	25
PITTERMANOVÁ L.   Stanovení parametrů požáru zařízení budov .....	29

### SEKCE B | NAVRHOVÁNÍ KONSTRUKCÍ ZA POŽÁRU

KOPPOVÁ J.   Dřevo-betonový spřažený nosník za požáru .....	35
KAČÍREK J.   Vliv zvýšené teploty na vlastnosti různých druhů lepidel pro dřevěné konstrukce .....	39
ŠTRAUS D.   Zuhelnatělá vrstva dřevěných masivních prvků pomocí pravděpodobnostních postupů .....	43
PRŮŠOVÁ K.   Vývoj trhliny v zuhelnatělé vrstvě deskových materiálů ze dřeva při termomechanickém namáhání – pravděpodobnostní přístup .....	47
DEMĀAN R.   Chování skla v konstrukci za požáru .....	51
HEJDUK P.   Systémy pro zesilování betonových konstrukcí se zvýšenou požární odolností .....	55
HNYK M.   Materiálové řešení betonových tunelových ostění s ohledem na požární odolnost .....	59
WEISEROVÁ H.   Modelování požáru hořlavých kapalin se zaměřením na kapalná paliva.....	63
HLAVÁČEK M.   Modelování požáru v tunelech pomocí zjednodušených a zpřesněných modelů požáru .....	67

### SEKCE C | AKTIVNÍ POŽÁRNÍ OCHRANA

KOMÍNKOVÁ V.   Ověření výstřikové charakteristiky sprinklerové hlavice .....	73
HAJM J.   Přetlakové větrání chráněné únikové cesty .....	77
BĚL M.   Testování nejmenšího hasicího zařízení na světě .....	81
ANDRÝSOVÁ N.   Porovnání účinnosti hašení různými typy sprinklerových hlavíc v administrativní budově.....	85
LUTOVSKÝ J.   Sprinklerová stabilní hasící zařízení ve skladovacích halách se zaměřením na porovnání různých druhů sprinklerových hlavíc v závislosti na výšce uskladnění.....	89

## TABLE OF CONTENTS

### SECTION A | FIRE SAFETY OF BUILDINGS

VELECHOVÁ K.   Analysis of Evacuation in Narrow Seat Aisles .....	9
ŠTECHER J.   The Fire Aspect of Double Insulation Using ETICS .....	13
KOBILÍK V.   Analysis of Boundary Conditions for Large-Scale Fire Testing of Façade Systems .....	17
ČERNÁ K.   Fire Risk of Combustible Objects Left on Escape Routes .....	21
ANDRLÍK M.   Assessment of Thermally Stressed Structures .....	25
PITTERMANOVÁ L.   Determination of Fire Parameters of Furnishing Items .....	29

### SECTION B | STRUCTURAL DESIGN IN FIRE

KOPPOVÁ J.   Timber-Concrete Coupled Beam under Fire.....	35
KAČÍREK J.   The Effect of Elevated Temperature on the Properties of Different Types of Adhesives for Wooden Structures .....	39
ŠTRAUS D.   Charred Layer of Massive Timber Members Using Probabilistic Approaches .....	43
PRŮŠOVÁ K.   Development of Cracks in the Charred Layer of Timber Board Materials under Thermomechanical Stress Solved – Probabilistic Approach .....	47
DEMJAN R.   Behavior of Glass in a Structure under Fire.....	51
HEJDUK P.   Reinforcement Systems for Concrete Structures wWith Increased Fire Resistance .....	55
HNYK M.   Material Solution of Concrete Tunnel Lining with Regard to Fire Resistance.....	59
WEISEROVÁ H.   Fire Modelling of Flammable Liquids with a Focus on Liquid Fuels .....	63
HLAVÁČEK M.   Modelling Fire in Tunnels Using Simplified and Advanced Fire Models.....	67

### SECTION C | ACTIVE FIRE PROTECTION

KOMÍNKOVÁ V.   Verification of Spray Characteristics of a Sprinkler .....	73
HAJM J.   Overpressure Ventilation of Protected Escape Route.....	77
BĚL M.   Testing the World's Smallest Fire Extinguisher .....	81
ANDRÝSOVÁ N.   Comparison of Extinguishing Efficiency of Different Types of Sprinkler Heads in an Office Building .....	85
LUTOVSKÝ J.   Sprinkler Fixed Extinguishing Systems in Storage Halls With a Focus on the Comparison of Different Types of Sprinkler Heads Depending on the Storage Height .....	89







## ANALÝZA EVAKUACE OSOB Z PROSTORŮ S ŘADAMI SEDADEL

### ANALYSIS OF EVACUATION IN NARROW SEAT AISLES

**Bc. Klára Velechová**

#### **Abstract**

*This article focuses on the problem of evacuating people from a space with rows of seats. The theoretical part of the article deals with previous experiments and knowledge available in the existing literature. The practical part describes a planned evacuation exercise, including information on the age heterogeneity of the participants and a brief schedule of the experiment. The output data from this exercise will be further used for validation purposes of a computer evacuation model.*

**Key words:** Fire safety; Evacuation; Experiment; Seat aisle; Pedestrian.

#### **ÚVOD**

Požáry mohou způsobit velké škody na majetku a ohrozit životy osob, které se v dané budově nacházejí. Správná požární ochrana a prevence může minimalizovat rizika požáru a snížit následné škody. Evakuace z úzkých uliček může být velmi složitá, protože prostor je omezený a může bránit pohybu osob. Pokud se v uličce nachází velké množství osob, může být situace mnohem komplikovanější. Proto je důležité, aby byl prostor předem správně navržen a věnovalo se této problematice dostatečná pozornost.

Návrh budovy z hlediska požární ochrany lze ověřit pomocí různých metod a nástrojů. Jedním z těchto nástrojů jsou například počítačové modely, kterými lze simulovat scénáře požáru i evakuace osob. Tyto programy umožňují otestovat různé návrhy a optimalizovat požární ochranu budov. Dalším způsobem ověření návrhu jsou fyzické experimenty, které mohou poskytnout užitečné informace o chování osob či účinnosti různých požárních ochranných opatření.

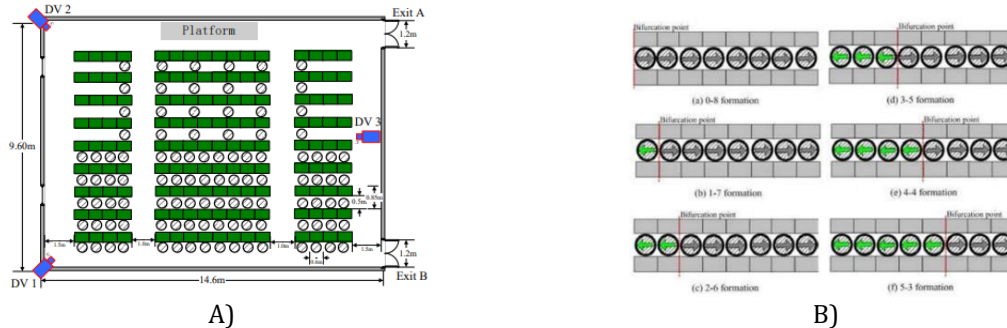
Předmětem tohoto výzkumu je získání nových poznatků a experimentálních dat v oblasti dynamiky a evakuace osob v limitovaných prostorech s řadami sedadel. Hlavním cílem výzkumu je pak uskutečnění a vyhodnocení řízeného pohybového (evakuačního) experimentu, v rámci kterého budou participující účastníci při různém rozsazení osob opouštět prostor posluchárny. Během experimentu budou pozorovány zejména následující parametry popisující pohyb a evakuaci osob: celková doba evakuace, dílčí průchozí časy, trajektorie a chování osob. Tento experimentální soubor dat představuje cenný podklad pro matematické modelování pohybu osob ve stísněných podmínkách prostorů s řadami sedadel.

#### **EXPERIMENTÁLNÍ VÝZKUM EVAKUACE OSOB Z PROSTORŮ S ŘADAMI SEDADEL**

Vzhledem k náročnému plánování evakuačních experimentů je vhodné mezi prvními kroky provést analýzu předchozích podobných experimentů na základě, které lze zefektivnit experimentální plán i optimalizovat požadované výstupy.

V roce 2016 proběhla v Číně série experimentů, ve kterých vědci prozkoumali typické chování chodců při evakuaci posluchárny a navazujících částí budovy s účastí univerzitních studentů [1]. Schéma posluchárny je zobrazeno na obr. 1 A). Chování účastníků při výstupu z řad sedadel bylo zkoumáno v prostředním sektoru s osmi sedadly v každé řadě. Na začátku evakuace museli účastníci nejprve zvolit směr, jakým opustili řadu sedadel. Jejich volba byla v zásadě omezena směrem pohybu dvou sousedních osob, neboť pokud se levý i pravý soused pohybovali jedním směrem, musel jedinec zvolit stejný směr. Chodci se vzájemně koordinovali a spolupracovali tím, že upravovali směr pohybu, aby vyhovoval okolním chodcům. Ideální situací je, aby bod bifurkace tvořil symetrickou formaci (formace 4-4). Avšak výzkumníci zjistili, že poloha bodu rozvětvení, kterou můžete vidět na obr. 1 B), byla více posunuta na stranu dále od východů z místnosti, což

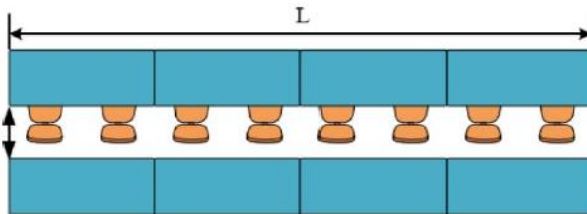
mohlo být ovlivněno dvěma faktory: informací o cíli a prostředím pohybu (včetně vzdálenosti a obtížnosti pohybu). U jedinců blíže k uličce s východem z učebny znamenal výběr levého směru zátěžovou okliku, zatímco výběr pravého směru znamenal náročnost pohybu mezi dvěma řadami sedadel. Údaje naznačují, že zúčastnění studenti preferovali náročnější pohyb mezi sedadly před přesunem oklikou.



Obr. 1 Schéma rozmístění osob v evakuační studii [1]; A) Schématické znázornění posluchárny; B) Schématické zobrazení formací při opouštění řad sedadel

Fig. 1 Diagram of the distribution of people in the evacuation study [1]; A) Schematic representation of the auditorium; B) Schematic representation of formations when leaving rows of seats

V roce 2022 proběhl evakuační experiment, při kterém se hodnotila evakuace chodců v úzkých prostorách pro sezení [2]. Cílem tohoto experimentu bylo prozkoumání vlivu šířky uličky a uspořádání sedadel na dynamiku pohybu jednotlivců a skupin osob. Prostor k experimentu byl proveden pomocí dvou řad stolů (obr. 2), mezi které byly umístěny pohyblivé židle (obr. 3). Šířka experimentální uličky byla měněna dle šesti hodnot po intervalu 0,1 m (0,35 m – 0,85 m). Výstup z uličky byl předem určen z pravé strany, tudíž účastníci procházeli uličkou zleva doprava. Vědci díky experimentu zjistili, že se zvyšující se šířkou uličky doba výstupu klesá. Když je ulička širší než 0,7 m, různé rozmístění sedadel nehraje velkou roli. Také bylo patrné, že čas potřebný k individuální evakuaci při skupinovém experimentu se zvyšuje přibližně lineárně s rostoucí vzdáleností od evakuačního východu. S rostoucí evakuační vzdáleností se zvyšuje i čas, který jednotlivci potřebují k evakuaci.



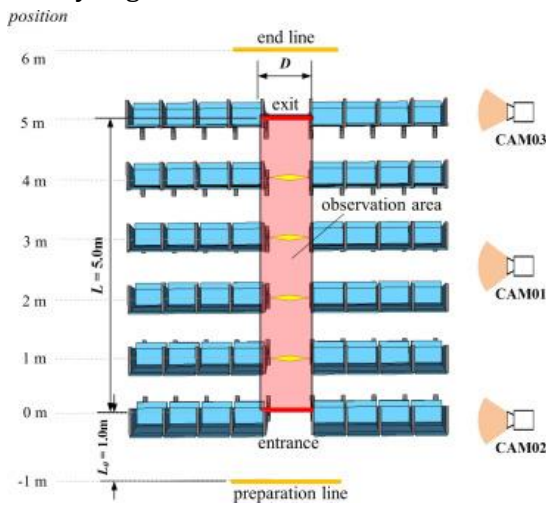
Obr. 2 Schématické uspořádání experimentální uličky [2]  
Fig. 2 Schematic layout of the experimental aisle [2]



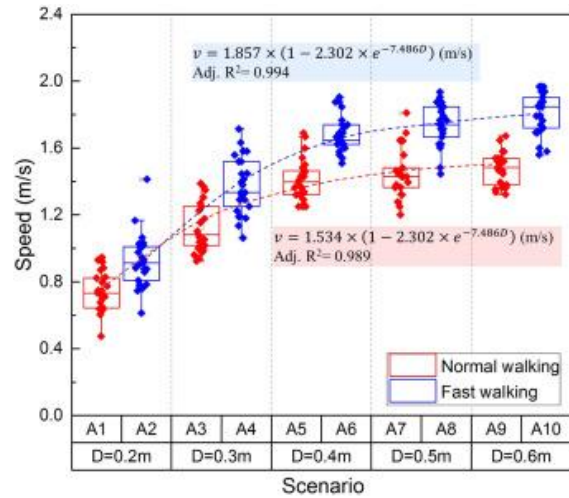
Obr. 3 Schéma pohyblivé židle [2]  
Fig. 3 Diagram of the moving chair [2]

V roce 2018 byl proveden evakuační experiment, který zkoumal dynamiku pohybu osob v uličkách typických pro dopravní prostředky jako jsou vlaky, autobusy nebo letadla [3]. Experimentální prostor byl vymezen sedadly, která byla rozmístěna do šesti řad po osmi místech k sezení, uprostřed byla vytvořena ulička, která je znázorněna na obr. 4. Hlavním zkoumaným prostorem byla právě středová ulička. Experimentálně bylo dokázáno, že při šířce uličky 0,2 m, která je pro plynulý průchod příliš úzká, se mohli chodci pohybovat velmi nízkou rychlostí (0,15 m/s – 0,2 m/s). Při zvětšení uličky na 0,4 m se rychlost chodců rapidně zvyšovala. Jestliže byla ulička dostatečně široká (0,4 m) a chodec mohl plynule projít, pak se růst rychlosti chůze postupně zpomaloval. Při zvyšování šířky uličky (> 0,4 m) se rychlost chůze přibližovala

k rychlosti chůze v otevřeném prostoru. Na obr. 5 můžete tyto zkoumané hodnoty vidět pomocí krabicových grafů.



Obr. 4 Ilustrace experimentálního uspořádání [3]  
Fig. 4 Illustration of experimental arrangement [3]



Obr. 5 Krabicový graf rychlostí chodců [3]  
Fig. 5 Box plot of pedestrian speeds [3]

## PŘIPRAVOVANÝ EXPERIMENT

Záměrem výzkumu je uskutečnění sady evakuačních cvičení v prostoru posluchárny C-219 v budově C FSv ČVUT v Praze. Celý experiment proběhne 5.6.2023 v odpoledních hodinách a předpokládá se účast přibližně 80 osob (částečně mimo akademickou obec ČVUT v Praze). Hlavním cílem je získání souboru experimentálních dat souvisejících s dynamikou pohybu osob v limitovaném prostoru s řadami sedadel. Při experimentu budou sledovány trajektorie chodců, dílčí průchozí časy, celková doba evakuace, chování a vliv sociálních vazeb. Technické zabezpečení experimentu bude zajišťovat Laboratoř zpracování obrazu (ImproLab) FIT ČVUT v Praze.

Důležitým faktorem pro uskutečnění experimentu je vhodný výběr figurantů. Cílem je zajištění účasti osob všech věkových kategorií a vytvoření tzn. heterogenního davu. Předpokládané složení osob a jejich charakteristika jsou uvedeny v tab. 1.

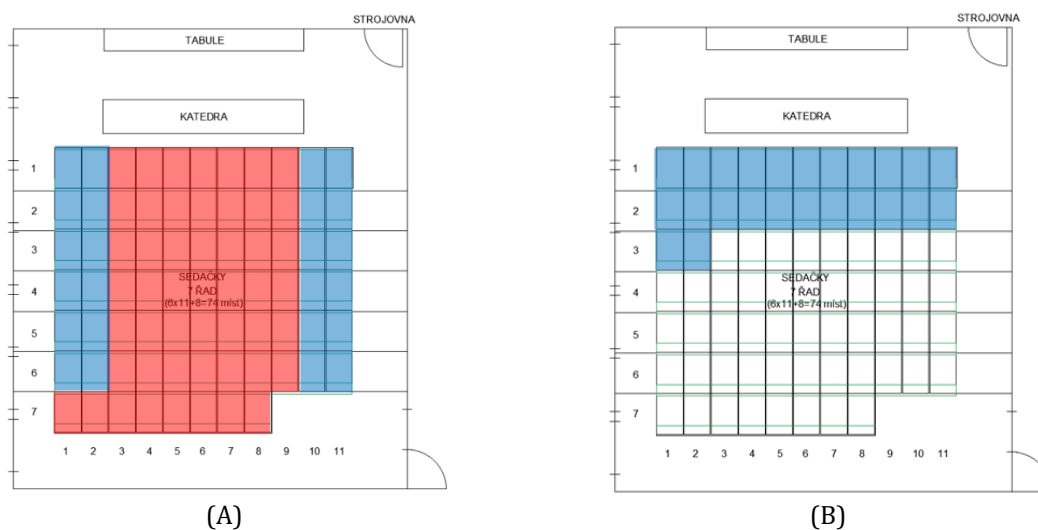
Tab. 1 Počet účastníků při experimentu

Tab. 1 Number of participants in the experiment

Typ účastníků	Charakter účastníků	Počet účastníků	Značení
Běžná populace	Osoby ve věku 16-60 let (zejména studenti ČVUT v Praze)	50 osob	Červená
Senioři	Osoby ve věku 65 let a více	5 osob	Modrá
Těhotná žena	Mladá žena ve věku 20-40 let	1 osoba	Modrá
Matka s dítětem v šátku	Mladá žena ve věku 20-40 let s miminkem	1 osoba	Modrá
Handicapovaní	Osoby ve věku 16-60 let se simulovaným pohybovým omezením	2 osoby	Modrá
Děti s rodiči	Rodiče s dětmi ve věku 3-6 let	4 + 4 osoby	Modrá
Děti	Děti ve věku 6-10 let	3 osoby	Modrá
Děti	Děti ve věku 10-16 let	4 osoby	Modrá

Opuštění místnosti bude zkoumáno v sektorovém rozsazení osob. Účastníci budou rozmístěni do tzv. sektorů určených pro osoby s omezenou schopností pohybu. Toto sektorové rozmístění znázorňuje obr. 6 A) a bude použito v I. a II. bloku v 8 bězích celkem. III. blok proběhne způsobem měření jednotlivých účastníků. Konkrétně se u jednotlivců bude zapisovat jejich běžná rychlost chůze a také jejich půdorysný průmět. Tento blok bude současně využit pro referenční běhy, při

kterých se bude evakuovat každá skupina zvlášť. Ukázkou takového rozsazení osob můžete vidět na obr. 6 B).



Obr. 6 Schéma rozmístění osob; (A) Sektorové rozmístění osob;  
(B) Rozmístění osob pro referenční běh

Fig. 6 Schematic distribution of participants in the experiment; (A) Sectoral distribution of participants; (B) Distribution of participants in a reference run

## ZÁVĚR

Závěrem lze shrnout, že evakuovat prostory s řadami sedadel je považováno za obtížné kvůli, a to omezené možnosti úniku způsobené limitovanou šířkou únikových cest. Je důležité se touto problematikou zabývat a shromáždit dostatek dat, abychom mohli tyto prostory, jako jsou např. přednáškové místnosti, ale i dopravní prostředky s řadami sedadel, správně navrhovat. Výsledky představeného experimentu budou následně využity pro účely matematického modelování a validaci evakuačního modelu Pathfinder.

## LITERATURA

- [1] ZHU, Kong-jin a Qin SHI. Experimental Study on Choice Behavior of Pedestrians During Building Evacuation. *Procedia Engineering* [online]. 2016, 135, 207–216. ISSN 18777058. Dostupné z: doi:10.1016/j.proeng.2016.01.110
- [2] ZHU, Kongjin, Zongcai ZHOU, Feifei CHEN, Ning GUO a Xiang LING. Assessing evacuation performance of pedestrians within narrow seated spaces. *Safety Science* [online]. 2023, 160, 106046. ISSN 09257535. Dostupné z: doi:10.1016/j.ssci.2022.106046
- [3] HUANG, Shenshi, Teng ZHANG, Siuming LO, Shouxiang LU a Changhai LI. Experimental study of individual and single-file pedestrian movement in narrow seat aisle. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* [online]. 2018, 509, 1023–1033. ISSN 03784371. Dostupné z: doi:10.1016/j.physa.2018.06.079

## POŽÁRNÍ HLEDISKO DVOJITÉHO ZATEPLOVÁNÍ POMOCÍ ETICS

### THE FIRE ASPECT OF DOUBLE INSULATION USING ETICS

Bc. Jan Štecher

#### Abstract

Nowadays, the ever-increasing demands on the heat loss reduction have resulted in an increase in the optimum thickness of the thermal insulation. This issue is also resolved by buildings that are already insulated, but the thickness of the thermal insulation does not reflect today's standards. If the existing ETICS (External Thermal Insulation Composite System) is in good condition, dismantling may not be economically viable. Therefore, another layer of thermal insulation is installed directly on top of the existing layer. This principle of double insulation introduces considerable uncertainties in design and implementation. The insulation of the building from the point of view of fire safety is enshrined in the Czech technical standard. These requirements are strict and clear. Questions arise precisely with regard to double insulation. If different types of thermal insulants are used, the spread of fire over the surface or inside the insulation system is unclear and the expenses rise.

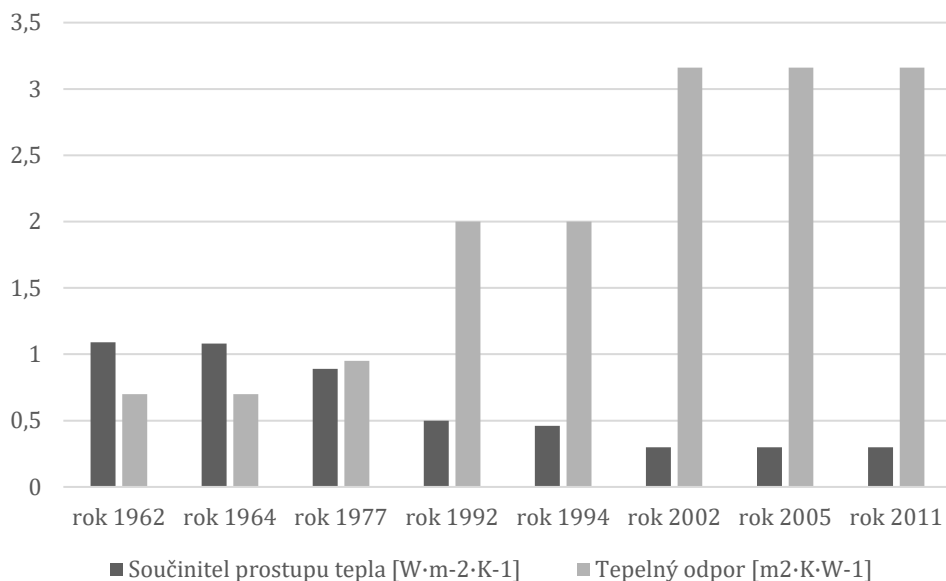
**Key words:** *façade; ETICS; double ETICS; additional insulation; double insulation*

#### ÚVOD

Tepelná ztráta a energetická náročnost je důležitým aspektem jak novostaveb, tak stávajících objektů. Využití dvojitého zateplení může nastat v těchto případech:

- zvyšující se požadavek na součinitel prostupu tepla,
- nevyhovující provedení stávajícího zateplení.

Vzhledem k historickému vývoji součinitele prostupu tepla a tepelnému odporu, který je patrný z obr. 1, jsou objekty zateplené v minulém století z tohoto hlediska nevyhovující. Pro splnění platných požadavků je potřeba přidání větší tloušťky tepelného izolantu. V některých případech je odstranění stávajícího ETICS ekonomicky nevýhodné, a dochází proto k přidání druhé vrstvy tepelného izolantu a využití dvojitého zateplení.



Obr. 1 Vývoj požadavků na součinitel prostupu tepla a tepelného odporu vnějších stěn [1]

Fig. 1 Development of requirements for the heat transfer coefficient and thermal resistance of external walls [1]

Další možnou variantou může být nevyhovující provedení stávajícího ETICS. Zdvojené zateplení tak může být použito pro eliminaci původních chyb ETICS a zvýšení tepelného odporu souvrství.

## POŽADAVKY V ČESKÉ REPUBLICĚ

Požadavky pro kontaktní zateplení budov pro požární bezpečnost se řídí normou ČSN 73 0810, čl. 3.1.3.2. Tento článek přesně definuje, jaké materiály a povrchové úpravy mohou být pro kontaktní zateplení použity. Konkrétně se jedná o tyto požadavky:

- ucelená soustava vnějšího zateplení musí vykazovat třídu reakce na oheň alespoň B;
- tepelněizolační materiál sestavy (samostatně) musí vykazovat třídu reakce na oheň alespoň E. Pokud je založení vnějšího zateplení nad terénem, je nutné v úrovni založení aplikovat požadavky článku 3.1.3.3 (tj. body a1 nebo bod b) této normy s výjimkou objektů OB1 podle ČSN 73 0833.
- ucelená soustava vnějšího zateplení musí vykazovat index šíření plamene po povrchu stavební konstrukce  $i_s = 0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ;
- ucelená sestava vnějšího zateplení musí být kontaktně spojena se zateplovanou konstrukcí. Pokud není splněna tato podmínka, je nutné vnější zateplení navrhnout a realizovat podle článku 3.1.3.4 této normy. [2]

Článek 3.1.3.6 stanovuje požadavky na dvojitě zateplení, a to konkrétně:

- nová sestava musí být mechanicky kotvena do původních obvodových konstrukcí,
- části zateplení vyžadující třídu reakce na oheň A1 nebo A2 musí být v celé tloušťce přidávaného i stávajícího zateplení. [2]

Druhá odrážka reflektuje požadavky například pro zřízení požárních bariér. Pro splnění požadavku dojde k vyříznutí stávajícího ETICS v místě potřeby požární bariéry. Tento proces s sebou nese i značné nedostatky při odřezávání stávajících tepelných materiálů.

Dále norma umožňuje alternativní způsob pro objekty s požární výškou do 22,5 m. Realizace kontaktně spojené ucelené sestavy vnějšího zateplení třídy reakce na oheň B s krycí vrstvou A1 nebo A2 tloušťky minimálně 25 mm, přičemž tato sestava musí vyhovět:

- zkoušce dle ČSN ISO 13785-1 a současně,
- zkoušce dle ISO 13785-2,

V rámci středněrozměrové zkoušky – ČSN ISO 13785-1, nesmí při výkonu 100 kW po dobu 30 minut dojít k rozšíření plamene po povrchu, nebo po tepelné izolaci přes úroveň 0,5 m. Zároveň tato sestava musí vyhovět kde je výkon 3 MW po dobu 30 minut. Požadavky pro velkorozměrovou zkoušku, ISO 13785-2, nesmí dojít při výkonu 100 kW po dobu 30 minut k rozšíření plamene po povrchu, nebo po tepelné izolaci přes úroveň 0,5 m. [2]

Žádné další požadavky vzhledem k požární bezpečnosti dvojitě zateplování, kromě článku 3.1.3.6 v ČSN 73 0810, nejsou stanoveny.

## POŽADAVKY V NĚMECKU

Dle materiálu tepelného izolantu stávajícího a dodatečného zateplení se celý systém klasifikuje jako normálně hořlavý, obtížně hořlavý nebo nehořlavý. Klasifikuje se celý zateplovací systém. Jako nehořlavý se uvažuje systém s minerální vatou. Do obtížně hořlavého můžeme zatřídit tuhou fenolickou pěnu. Jako normálně hořlavý se klasifikuje EPS, který má dle německé klasifikace třídu stavebního materiálu B2. Podle této klasifikace se odvíjejí další požadavky na provádění. Pro stavby do požární výšky 7 m je povolen hořlavý systém. Pro požární výšku od 7 do 22 m je potřeba instalovat obtížně hořlavý systém. Pro výškové stavby s požární výškou větší než 22 m je vyžadován nehořlavý zateplovací systém.



Dalším požadavkem je celková maximální tloušťka systému v závislosti na materiálu tepelné izolace. Pokud se jedná o systémy z desek EPS, je limitní celková tloušťka 400 mm. Ostatní kombinace materiálu jsou limitovány tloušťkou 200 mm.

Aby se zabránilo šíření požáru po fasádě, zřizují se pro vícepodlažní budovy požární bariéry. Požární bariéry musí splňovat tyto požadavky:

- výška větší než 200 mm,
- nehořlavé a rozměrově stálé do 1 000 °C,
- lepené po celé ploše a dostatečně kotvené schválenými kotvami. [3]

Požární bariéry musí být zřízeny jak v novém, tak i ve starém zateplovacím systému. To znamená odstranění starého zateplovacího systému v místě požární bariéry a kotvení do nosné stěny.

Při zateplení budovy EPS se požadavky na provádění řídí celkovou tloušťkou systému. Hraniční hodnota je 300 mm. Pokud je ETICS do celkové tloušťky 300 mm, musí být provedeny následující opatření:

- požární bariéra při spodní hraně ETICS, případně maximálně 900 mm nad horní hranou terénu nebo přilehlé vodorovné konstrukce,
- požární bariéra v úrovni stropu 1. NP, přičemž osová vzdálenost k níže provedené požární bariéře nesmí být větší než 3 m. Pokud je tato vzdálenost větší, musí se provést další požární bariéra,
- požární bariéra v úrovni stropu 3.NP, avšak osová vzdálenost k níže umístěné požární bariéře nesmí být větší než 8 m,
- požární bariéra v místech např. průjezdů, podloubí, průchodů apod. které se nachází v oblasti 1. – 3. NP vystavené vnějšímu požáru. [3]

V případě celkové tloušťky od 300 do 400 mm jsou požadavky stejné, jen jsou doplněny. Do výšky stropu nad 2.NP, minimálně však do 6 m, musí být použit nehořlavý ETICS.

## POŽADAVKY V POLSKU

Kritéria, které je nutné splnit, se odvíjejí od kategorie stavby ZL – stavby pro bydlení, a výšce objektu. Pro různé kombinace staveb ZL a výšky stavby se udávají materiály, respektive třída požární bezpečnosti, která lze pro daný objekt použít.

Požadavky na sekundární zateplení jsou stejné, jako požadavky pro prvotní zateplení. Veliký důraz je kladen na kotvení, které musí být přes všechny vrstvy tepelné izolace až do nosné konstrukce.

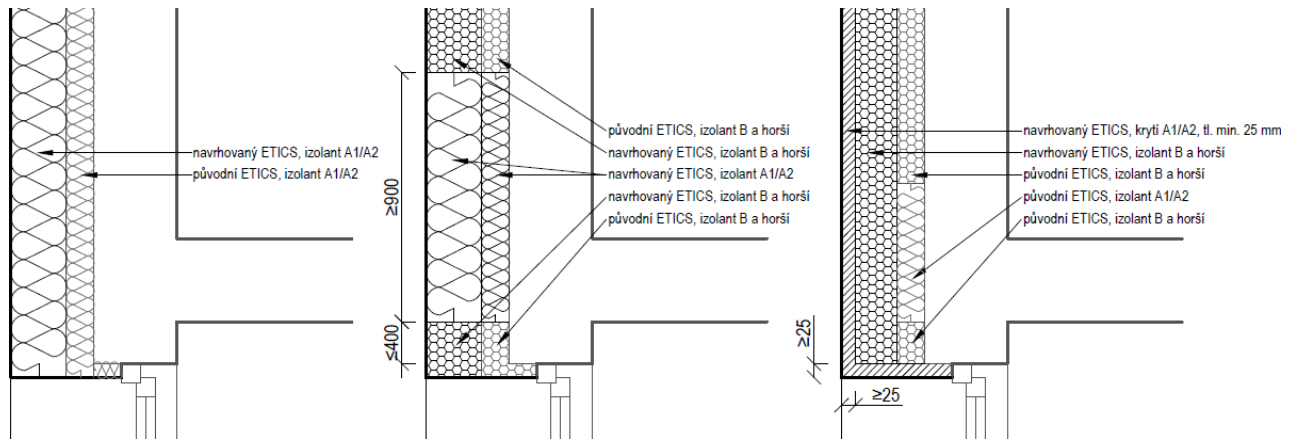
U objektů ve výšce nad 25 m od úrovně terénu má být fasádní obklad, mechanické kotvení, a i tepelný izolant vyroben z nehořlavých materiálů. [4]

## SPECIFICKÉ DETAILY

V případě požáru je nutné zamezit jeho šíření po povrchu ETICS. Proto vyvstává požadavek, aby zateplovací systém ETICS splňoval požadavek na index šíření plamene po povrchu. Tento index značí rychlost v milimetrech za hodinu, jakou se plameny šíří po povrchu konstrukce. Aby nedocházelo k šíření požáru po vnějších konstrukcích, je požadavek na ETICS, aby splňoval nulovou rychlost šíření plamene po povrchu konstrukce.

Stejně důležité, jako je zamezení šíření plamene po povrchu, je nezbytně nutné zamezit šíření přes tepelný izolant. Nejčastěji používaný tepelný izolant je expandovaný polystyren – EPS, který je hořlavý. Navíc při požáru dochází k odkapávání plameně hořících kapek, které jsou potenciálním rizikem dalšího šíření požáru. V ploše fasády se používá spolu s fasádní omítkou armovací výztuž, která do jisté míry brání proniknutí požáru do systému ETICS. Rizikovým místem, kde požár pronikne do systému ETICS je převážně ve specifických detailech, které jsou popsány níže.

Mezi detaily, kterými může dojít k šíření požáru skrz tepelný izolant, patří nadpraží viz obr. 2, či ostění otvorů nebo založení ETICS.



Obr. 2 Řešení specifického detailu nadpraží oken při zdvojeném zateplení [5]  
 Fig. 2 Solution for the specific detail of the window lintel in double insulation [5]

## ZÁVĚR

Princip využití dvojitého zateplení je nový. Aktivní přístup k řešení této problematiky zaujalo pouze několik zemí, proto informací o způsobu provádění a návrhu požární bezpečnosti není mnoho. V současné době se projektování dvojitého zateplení provádění podle podmínek pro jednoduché zateplení pomocí ETICS. Tyto požadavky stanovují vlastnosti, které musí zateplovací systém splnit. Důležitou součástí, která je v tuto chvíli upozadována, je řešení specifických detailů zateplovacího systému. Jedná se především o nadpraží otvorů, založení ETICS nebo rozhraní dvou objektů. Základním pilířem řešení požární bezpečnosti při provádění dvojitého zateplení v Německu jsou požární bariéry. Tyto bariéry musí být z nehořlavých materiálů a široké minimálně 200 mm. Požadavek na umístění požárních bariér se liší podle celkové tloušťky ETICS. Největší celková tloušťka je omezena na 400 mm. Požadavky na dvojitě zateplení v Polsku vyplývají podle zatřídění objektu dle využití a požární výšce. Pro jednotlivé budovy se striktně definují materiály, které mohou být použity. Společným jmenovatel všech požadavků na dvojitě zateplení, je dostatečné kotvení. Kotvy musí být kotveny skrz původní tepelný izolant až do nosné obvodové konstrukce.

## LITERATURA

- [1] DEK A.S. *DEKTIME časopis společnosti DEK pro projektanty a architekty*. 2007. 2007, 01.
- [2] ČSN 73 0810 *Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení (2016)*. B.m.: Praha: ÚNMZ
- [3] DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK. *Wärmedämm-Verbundsysteme mit angedübelten und angeklebten Wärmedämmstoffen*, Z-33.43-61. 23. květen 2022
- [4] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* [online]. 2002. Dostupné z: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20020750690/O/D20020690.pdf>
- [5] POKORNÝ MAREK a PETR HEJTMÁNEK. *Požární hledisko kontaktních zateplovacích systémů dle ČSN 73 0810:2016* [online]. 2016 [vid. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/14515-pozarni-hledisko-kontaktnich-zateplovacich-systemu-dle-csn-73-0810-2016>

## **ANALÝZA OKRAJOVÝCH PODMÍNEK PRO VELKOROZMĚROVOU POŽÁRNÍ ZKOUŠKU FASÁDNÍCH SYSTÉMŮ**

### **ANALYSIS OF BOUNDARY CONDITIONS FOR LARGE-SCALE FIRE TESTING OF FAÇADE SYSTEMS**

**Bc. Václav Kobilík**

#### **Abstract**

*A new European approach is currently under development to assess the fire performance of façade systems. One of the proposed tests will involve conducting a large-scale fire test based on the British Standard BS 8414. The objective of this research is to examine the impact of boundary conditions that can influence the test outcomes. In this case study, the thesis will explore the influence of surrounding structures on the tested façade, specifically considering the effect of back radiation. The desired outcome is a comparative analysis of two models: one with a surrounding structure positioned in front of the fire source, and the other without. Both models will have identical parameters for the fire source and the test rig. The FDS program will be utilized for modeling purposes.*

**Key words:** *façade; radiation; FDS; emissivity; fire test*

#### **ÚVOD**

Obvodové pláště budov jsou nedílnou součástí moderní architektury a stavebnictví. Se zvyšujícími se nároky na tepelnou izolaci objektu a také s přísnějšími požadavky na energetickou náročnost jsou fasádní systémy důležitým článkem při návrhu všech typů budov. Jedná se o konstrukční prvky, které zajišťují nejen estetický vzhled budov, ale také funkčnost a tepelnou izolaci objektu. Při návrhu fasádního systému je nutné zohlednit také požadavky na požární bezpečnost, protože se na obvodových konstrukcích mohou vyskytovat různé hořlavé materiály a jejich kombinace. Každý výrobek musí být požárně odzkoušen a následně zatříděn podle toho, jak přispívá k rozvoji a intenzitě vznikajícího požáru. V současnosti rozeznáváme malorozměrové, středněrozměrové a velkorozměrové požární zkoušky. Pro velkorozměrové požární zkoušky dnes ovšem neexistuje jednotná evropská zkušební metoda a jednotlivé členské státy EU využívají rozdílných postupů pro provádění velkorozměrových požárních zkoušek. V ČR se postupuje dle ISO 13785-2.

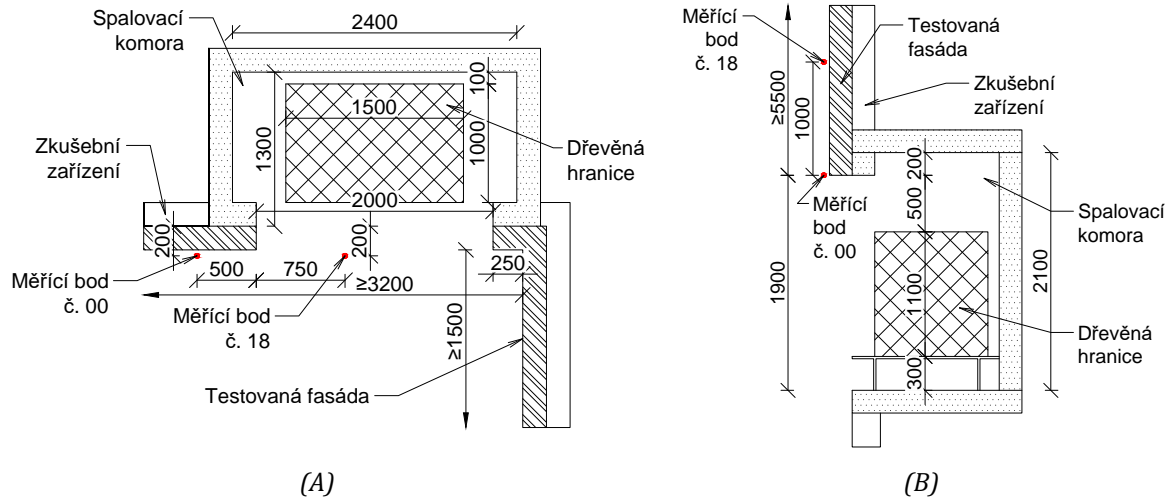
#### **VELKOROZMĚROVÁ POŽÁRNÍ ZKOUŠKA DLE NOVÉ EVROPSKÉ METODIKY**

V EU se momentálně vyvíjí nová metodika pro velkorozměrové zkoušení požárních vlastností fasádních systémů. Cílem je sjednotit postup zkoušení v celé EU. Vedoucím projektu je švédský státní výzkumný ústav RISE. Nová metodika by měla nabízet dvě varianty zkoušení. První vychází z německého standardu DIN 4102-20 a nabízí velkorozměrovou požární zkoušku se středním účinkem požáru. Druhá varianta vychází z britského standardu BS 8414 a nabízí velkorozměrovou požární zkoušku s velkým účinkem požáru.

Tyto zkoušky by měly být aplikovatelné na různé druhy vnějšího opláštění budov. Jedná se například o kontaktní zateplovací systémy (ETICS), větrané fasády, lehké obvodové pláště, sendvičové panely nebo dřevěné fasády.

Pro velkorozměrovou požární zkoušku s velkým účinkem požáru byly definovány jednotlivé parametry, které by měly být měněny jen omezeně. Návrh této zkoušky je založený na principu požáru po dosažení flashover efektu, tedy plně rozvinutého požáru. Zkušební zařízení sestává z hlavního a bočního křídla, kde křídla jsou navzájem napojena v pravém úhlu. Rozměry křídel musí být provedeny tak, aby se mohl testovat fasádní systém o minimální šířce 3 200 mm, resp. 1 500 mm na bočním křídle. Výška nad horním okrajem spalovací komory musí dosahovat minimálně 5 500 mm.

Spalovací komora, jež je umístěna na hlavním křídle, musí být provedena z nehořlavého materiálu. Rozměry spalovací komory jsou 1 300 mm × 2 400 mm × 2 100 mm (hloubka × šířka × výška). Dřevěná hranice o rozměrech 1 500 mm × 1 000 mm × 1 100 mm (délka × šířka × výška), která je zdrojem požáru, musí být provedena ze smrkových latí. Na obr. 1 je schematicky znázorněna velkorozměrová požární zkouška. Celková hmotnost této hranice musí činit 350 kg ± 20 kg [1].



Obr. 1 Velkorozměrová zkouška s velkým účinkem požáru (A) Půdorys (B) Řez [1]  
Fig. 1 Large scale fire test with large fire exposure (A) Floorplan (B) Section [1]

## OKRAJOVÉ PODMÍNKY VELKOROZMĚROVÝCH POŽÁRNÍCH ZKOUŠEK

Vytvoření správného prostředí během požárních zkoušek fasádních systémů je klíčové pro získání spolehlivých a opakovatelných výsledků. Velkorozměrové požární zkoušky se provádějí zejména ve vnitřním prostředí (zkušební haly), tudíž je zde nutné zohlednit různé aspekty, které by mohly ovlivnit průběh samotné zkoušky. Na průběh požární zkoušky může mít vliv:

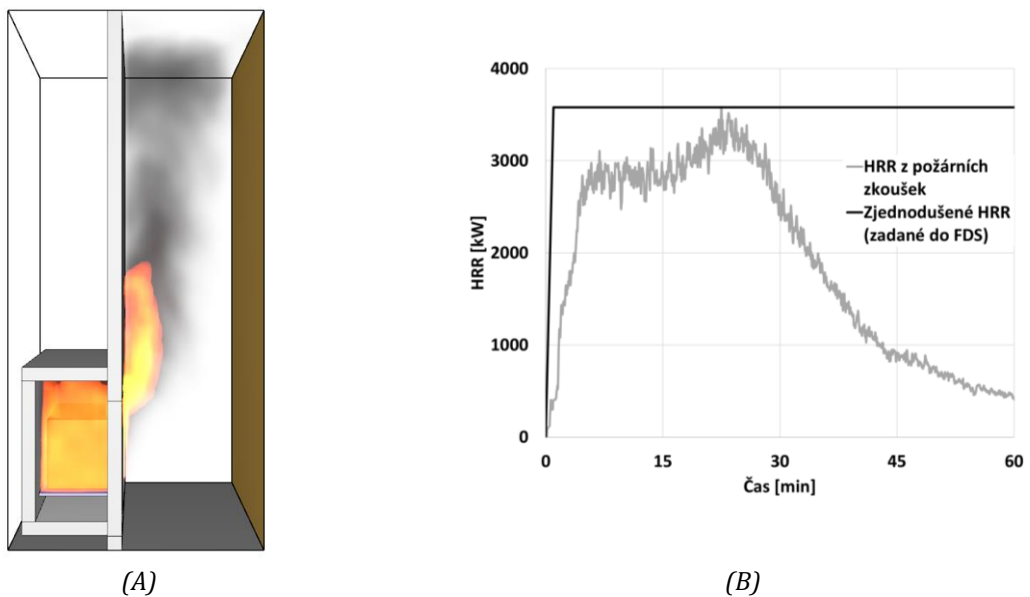
- Teplota okolí
- Vlhkost vzduchu
- Povětrnostní podmínky
- Přístup kyslíku
- Okolní blízké konstrukce

Řešený příklad se dále zabývá vlivem okolních konstrukcí na průběh vnitřní velkorozměrové požární zkoušky. Odrazivé stěny musí být provedeny z nehořlavého materiálu, ale jejich další specifikace není ve zkušební metodice uvedena. Tepelný tok šířící se od zdroje požáru, ohřívá okolní stěny, od kterých následně vlivem zpětné radiace odráží. Tímto může docházet k většímu tepelnému namáhání zkušební vzorku, což může mít za následek ovlivnění samotné zkoušky. Intenzita zpětné radiace od odrazivé stěny je ovlivněna několika faktory. Zejména se jedná o materiálové charakteristiky konstrukcí samotných, vzdálenost těchto od zdroje požáru, úhel dopadu tepelného toku apod. Vedle obvyklých materiálových vlastností (měrná tepelná kapacita, objemová hmotnost a součinitel tepelné vodivosti) je nutné při tepelně technických výpočtech zohlednit také vliv povrchu konstrukce. Důležitou veličinou je emisivita, které je definována jako poměr vyzařovaného výkonu reálného tělesa k výkonu vyzařovaném černým tělesem. Emisivita dosahuje u stavebních materiálů různých hodnot, například beton má emisivitu cca 0,9, zatímco ocel disponuje emisivitou cca 0,3. Hodnota emisivity závisí na teplotě, úhlu dopadu a barvě či struktuře povrchu [3].

## ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Pro zkoumání vlivu odrazivé stěny při velkorozměrové požární zkoušce s velkým účinkem požáru byly vytvořeny dva jednoduché matematické modely v programu FDS (Fire Dynamics Simulator) verze 6.8.0. Pro tvorbu modelu a pro grafické zobrazení výsledných dat byl také využit aplikační software Pyrosim, který plní funkci pre-processoru a post-processoru. Program FDS využívá výpočetního modelu CFD (Computational Fluid Dynamics). Základní geometrie včetně zdroje požáru vychází z publikovaných dat a informací z aktuálně vyvíjené metodiky. Modely byly ovšem v několika parametrech zjednodušeny. Zkušební zařízení bylo vymodelováno bez bočního křídla, bez zkušební vzorku a bez sekundárního otvoru na hlavním křídle. Průběh rychlosti uvolňování tepla (HRR) dřevěné hořící hranice, který je zobrazen na obr. 2, je stanoven zjednodušeně pro nejvyšší hodnotu (3600 kW), jež vychází z reálné zkoušky dřevěné hranice uskutečněné v rámci aktuálně probíhající metodiky [1][2].

První model (referenční) je bez ohraničující konstrukce, druhý model má ve vzdálenosti 2 m před hlavním křídlem ohraničující konstrukci (odrazivou stěnu) pro sledování účinku zpětné radiace.



Obr. 2 (A) Grafický výstup z programu Pyrosim (model s odrazivou stěnou); (B) Použitý graf rychlosti uvolňování tepla

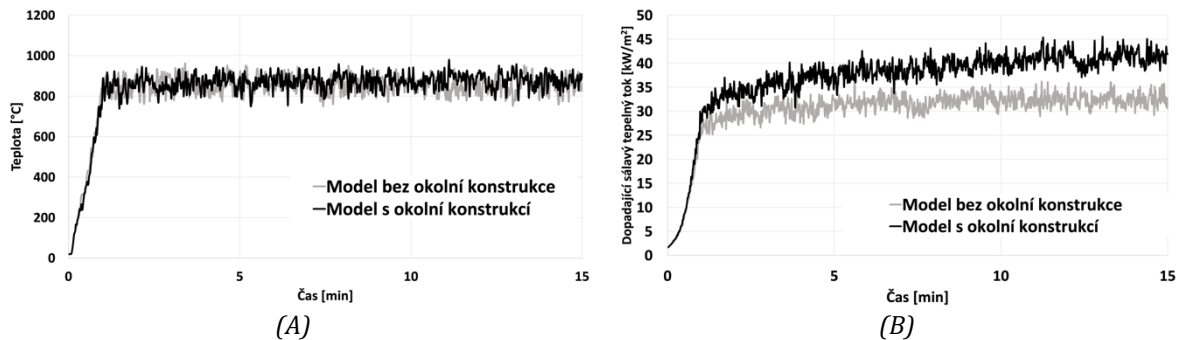
Fig. 2 (A) Graphic output from Pyrosim program (model with reflective wall); (B) Used graph of the heat release rate

Vytvořený model odpovídá rozměrům uvedených na obr. 1. Konstrukce zkušebního zařízení včetně spalovací komory je vymodelována z pórobetonových tvárnic. Odrazivá stěna byla v programu definována jako cementem pojená deska z lehčeného betonu, vyztužená skelnými vlákny. Základními veličinami, které slouží pro porovnání obou modelů, jsou teplota a množství energie dopadající na jednotkovou plochu (tzv. integrated intensity). Do modelu byly nadefinovány termočlánky a radiometry, které plní funkci měřících bodů. Umístění měřících bodů je patrné z obr. 1. Výpočetní síť v modelu má velikost kontrolního objemu  $0,1 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} \times 0,1 \text{ m}$ . Výpočetní čas byl také zkrácen na 15 minut [2].

## SROVNÁNÍ VÝSLEDNÝCH HODNOT OBOU MODELŮ

Pro porovnání teplot v obou modelech byl zvolen termočlánek č.18 (viz obr. 1). Z výsledných grafů je zřejmé, že průběhy teplot v tomto termočlátku dosahují velmi podobných hodnot v obou modelech. Nejvyšší hodnoty atakují hranici  $970 \text{ }^\circ\text{C}$  v 11. minutě, přičemž v obou modelech se průběhy

teploty pohybují okolo 830 °C. V modelu, ve kterém je umístěna odrazivá stěna, jsou hodnoty teploty mírně vyšší. Oba průběhy, které jsou zobrazeny na obr. 3 (A), korespondují s průběhem HRR. Druhým měřeným parametrem je množství sálavé tepelné energie dopadající na plochu (tzv. integrated intensity). Pomocí radiometru č. 00, jehož umístění je patrné z obr. 1, byly porovnány hodnoty sálavého tepelného toku. Z obr. 3 (B) je zřejmé, že v modelu s odrazivou stěnou jsou hodnoty vyšší než v druhém modelu bez této konstrukce. Průměrný rozdíl činí  $\pm 10 \text{ kW/m}^2$ , kdy hodnoty kolem 13. minuty dosahují u modelu s odrazivou stěnou 45  $\text{kW/m}^2$ . Tento rozdíl je patrný i u dalších radiometrů umístěných vždy o 0,5 m výše než radiometr předchozí. Z tohoto průběhu lze vyčíst, že množství dopadajícího sálavého toku je ovlivněno odrazivou konstrukcí.



Obr. 3 Srovnání průběhů sledovaných parametrů: (A) teplota; (B) dopadající sálavý tepelný tok  
Fig. 3 Comparison of monitored parameters: (A) temperature; (B) integrated intensity

## ZÁVĚR

V současné době se vyvíjí nová evropská metodika pro velkorozměrové požární zkoušky fasád. Pro tyto požární zkoušky, pokud se budou provádět ve vnitřním prostředí, je nutné zohlednit několik faktorů, které by potenciálně mohly ovlivnit průběh samotné zkoušky. Tento článek se věnoval možnému vlivu okolních konstrukcí z důvodu zpětné radiace, která by měla za následek větší tepelné namáhání zkoušené fasády. Je nutné zmínit, že se jednalo pouze o počáteční a zjednodušený náhled do této problematiky a další CFD modely budou následovat. Do budoucna bude důležité provést další výpočty, ve kterých bude doplněno boční křídlo se zkoušenou fasádou a dále budou upraveny charakteristiky zdroje požáru a okolních konstrukcí.

## LITERATURA

- [1] European approach to assess the fire performance of facades | RISE. [online]. Dostupné z: <https://www.ri.se/en/what-we-do/projects/european-approach-to-assess-the-fire-performance-of-facades>
- [2] MCGRATTAN, Kevin B a Glenn P FORNEY. *Fire dynamics simulator (version 4) :: user's guide* [online]. 0 vyd. NIST SP 1019. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology. 2004. Dostupné z: doi:10.6028/NIST.SP.1019
- [3] KADLEC, Karel. Teoretické základy bezdotykového měření teploty. *Automa: odborný časopis pro automatizační techniku*. Praha. Roč. 20 (2014), č. 2, s. 13-15. Dostupné z: [https://automa.cz/cz/casopis-cislo/automa-2014\\_02/](https://automa.cz/cz/casopis-cislo/automa-2014_02/)

## POŽÁRNÍ RIZIKO HOŘLAVÝCH PŘEDMĚTŮ PONECHANÝCH NA ÚNIKOVÝCH CESTÁCH

### FIRE RISK OF COMBUSTIBLE OBJECTS LEFT ON ESCAPE ROUTES

Bc. Kateřina Černá

#### **Abstract**

*The article describes the issue of objects left on escape routes. It introduces the complications that objects on escape routes can cause during a fire. It presents the most common objects left behind, where they can be typically found and what causes them to catch fire on escape routes. There are also presented the requirements for escape routes in relation to the potential fire load for selected countries. The next step is the introduction of the chosen pram, and its weight quantification of the different materials used in it. In the last chapter, the article presents the fire experiment of which the prams will be subjected and which fire technical characteristics will be investigated.*

**Key words:** communal areas; corridor; escape routes; fire; residential house

#### ÚVOD

Únikové cesty, jak uvádí ČSN 73 0802[1], musí umožnit bezpečnou a včasnou evakuaci osob z požárem ohroženého objektu nebo jeho části na volné prostranství a přístup požárních jednotek do prostorů napadených požárem. Co se ale stane v případě výskytu hořlavých předmětů na únikových cestách představující požární riziko, které nebylo při návrhu uvažováno?

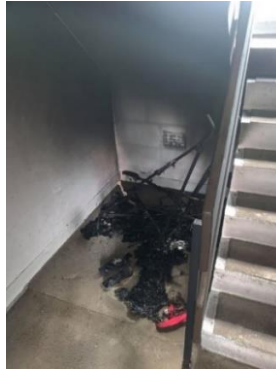
Není výjimkou, že na únikových cestách lze objevit nejrůznější předměty, které se mohou stát dostupným terčem žhářů nebo palivem pro požár vzniklý mimo únikové cesty či přímo na nich. Ve všech zmíněných případech podporují šíření požáru a ztěžují nejen protipožární zásah, ale i případnou evakuaci ze zasaženého objektu či jeho části. Výskyt těchto předmětů způsobuje mnoho komplikací, mezi které patří zúžení (popř. zablokování) únikové cesty, ohrožení osob sálavým tokem, zakouření prostoru nebo snížení viditelnosti.

#### POŽÁRY NA ÚNIKOVÝCH CESTÁCH V BYTOVÝCH DOMECH

Ze zpracovaného přehledu požárů, které se odehrály v 16 případech v České republice a ve zbylých případech v zahraničí, vychází následující fakta. Mezi místa, která bývají požárem zasažena, patří chodby, schodiště, společné prostory, bezprostřední okolí východu z objektu či výtah. Co se týče příčin požáru, opakují se 3 varianty: žhářství, elektrická závada a nedbalost při zacházení s otevřeným ohněm. Zmíněné příčiny korespondují s informacemi ze Statistické ročenky HZS ČR 2022 [2], kde se mezi nejčastější příčiny všech požárů řadí nedbalost, neprokázané zavinění, technické závady, komíny nebo úmyslné zapálení. Příklady požárů na únikových cestách viz Obr. 1. Mezi prvotně zasaženými předměty požárem se vyskytovaly kočárek, nábytek, skútr, motocykl, odpad, matrace a elektrokolo. Evakuace obyvatel objektu probíhala v 15 případech s asistencí HZS, která u několika z těchto zásahů musela rezidentům nasadit vyváděcí masky. Požáry si vyžádaly oběti u 3 případů. Nejtragičtějším z nich je požár v Pekingu, který byl způsobený elektrickou závadou při nabíjení elektrokola v prostoru schodiště a skončil smrtí 18 osob. U 5 případů evakuace vůbec neproběhla a pro 9 požárů podrobnosti evakuace nejsou známy. Ke zranění osob došlo při 15 požárech, nejčastěji se jednalo o zdravotní potíže způsobené nadýcháním se kouřem.



(A)



(B)



(C)

Obr. 1 Škody po požáru na únikových cestách: (A) Požár motocyklu [3];  
(B) Požár kočárku [4]; (C) Požár nábytku [5]

Fig. 1 Fire damage on escape routes: (A) Fire of motorbike; (B) Fire of pram; (C) Fire of furniture

## POŽÁRNÍ ZATÍŽENÍ NA ÚNIKOVÝCH CESTÁCH PRO VYBRANÉ STÁTY

V **České republice** jsou nechráněné únikové cesty limitovány hodnotou nahodilého požárního zatížení  $5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  [6] Pro chráněné únikové cesty by mělo platit, že se na nich nevyskytuje žádné požární zatížení, vyjma konstrukcí oken, dveří (pokud jsou třídy reakce na oheň B až D), podlah (nejméně Cf1 – s1) a kromě požárního zatížení v prostorách například vrátnice či recepce, přičemž nahodilé požární zatížení v těchto prostorech nesmí být větší než  $15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ . Výjimkou jsou předměty definované v Příloze 6 Vyhlášky 23/2008 Sb. [7], kterými jsou například jeden malý závěsný automat na nápoje určený pro tři podlaží, nebo květinová výzdoba z plastů, přičemž průmět plochy výzdoby na stěnu není větší než  $0,5 \text{ m}^2$  a hloubka výzdoby nepřesahuje  $0,1 \text{ m}$ .

Ve **Velké Británii** by se na únikových cestách neměly vyskytovat žádné překážky, které by mohly bránit či omezovat pohyb osob. Povrchové úpravy a podlahové krytiny by na únikových cestách neměly být z materiálů šířících požár a negativně ovlivňující prostředky, které tomuto šíření brání. Prostory ÚC by měly být pravidelně kontrolovány a v případě potřeby by měla být přijata nápravná opatření.[8]

V **Dánsku** jsou na únikové cesty kladeny následující požadavky. Povrchy stěn na těchto cestách nesmí být z hlediska požární bezpečnosti znehodnoceny zavěšením hořlavé zvukové izolace, dekorací či jiného hořlavého materiálu. Dále únikové cesty nesmí sloužit k odkládání jízdních kol, dětských kočárků nebo podobných předmětů. Je však přípustné, aby v prostoru schodiště byly umístěné kovové poštovní schránky omezené velikosti, a to pro každou bytovou jednotku přístupnou schodištěm. Schránky na dopisy musí být umístěny mimo průchod a nesmějí zmenšovat minimální přípustnou šířku únikové cesty.[9]

Na únikových cestách v **Polsku** se nesmí vyskytovat hořlavé materiály a stavební výrobky. Dále zde nesmí být skladované předměty, které by svým umístěním zmenšovaly šířku či výšku určenou pro evakuaci. Pokud je podlaha na únikových cestách zdvojená, nesmí se v ní nacházet otvory určené pro větrání či vytápění.[10]

Únikové cesty v **Rakousku** musí být vždy volně přístupné, bez výskytu předmětů, kterými mohou být kočárky, jízdní kola, nábytek, odpadkové koše nebo květiny. Dále by se zde neměly nacházet předměty, které se mohou snadno převrhnout a tím podmínky úniku ztížit. Podlahy, stěny a stropy by na těchto cestách měly být z nehořlavého materiálu. [11]

## ZKOUMANÝ PŘEDMĚT

Pro požární experiment, který se teprve uskuteční, je vybrán kočárek Valco SNAP 4 ve sportovní variantě. Aby bylo možné později validovat počítačový model požáru, provedla jsem demontáž kočárku viz Obr. 2, která umožnila váhově vyčíslit jednotlivé materiálové zastoupení. Analýza materiálu bude dalším krokem práce. Přehled materiálů a jejich jednotlivé hmotnosti, které obsahuje



vybraný kočárek, jsou zpracované v Tab. 1. Jako nehořlavé materiály uvažují spojovací prvky a nosnou konstrukci kočárku, z čehož vychází hmotnost hořlavých materiálů přibližně 4,65 kg.



(A)

(B)

(C)

Obr. 2 (A) Výplň sedáku; (B) Vyztužení sedáku; (C) Rozebraný kočárek  
Fig. 2 (A) Seat cushion filling; (B) Seat cushion reinforcement; (C) Disassembled pram

Tab. 1 Hmotnostní zastoupení jednotlivých materiálů

Tab. 1 Weight distribution of individual materials

Označení materiálu	Váha [g]	Označení materiálu	Váha [g]
Plášť koleček	457,6	Zip	19,6
Svrchní výplň sedáku	53,1	Koncovky na zipu	4,4
Spodní výplň sedáku	24,1	Výztužné konstrukce v textilní části	96,5
Textil – polyester	830,5	Ochrana konců výztuh	1,9
Pěnová ochrana madel	161,2	Prvky materiálově neoddělené	1480,8
Plastové prvky	1080,1		
Úchyty na popruzích	25,0	Spojovací prvky	526,5
Vyztužení sedáku	419,2	Nosná konstrukce kočárku	2147,6
	<b>CELKEM</b>		<b>7328,1</b>

## ZÁVĚR

Článek jednoznačně potvrzuje negativní dopady výskytu hořlavých předmětů na únikových cestách. Přesto, že se legislativa pro vybrané státy shoduje na tom, aby únikové cesty byly volně přístupné, bez vyskytujících se překážek, skutečný stav těchto cest je mnohdy odlišný.

Požární experimenty, které budou provedeny pro 5 kočárků vybraného typu, by nám měly poskytnout přehled hodnot požárně-technických charakteristik, jako jsou množství uvolněného tepla (HRR), celkové množství uvolněného tepla (THR), množství uvolněného kouře (SPR), ztráta hmotnosti (MLR), toxicita nebo viditelnost. Požární zkouška bude velkorozměrová a proběhne v nábytkovém kalorimetru.

## PODĚKOVÁNÍ

Článek je výsledkem projektu "VJ01010046 – Inovace a rozvoj nástrojů v oblasti zjišťování příčin vzniku požárů", který byl podpořen Ministerstvem vnitra ČR z programu Strategická podpora rozvoje bezpečnostního výzkumu ČR 2019-2025 (IMPAKT 1).

## LITERATURA

- [1] ČSN 73 0802 ed. 2 Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty [online]. B.m.: Česká agentura pro standardizaci. říjen 2020. Dostupné z: <https://csnonlinefirmy.agentura-cas.cz/>
- [2] *Statistická ročenka Hasičského záchranného sboru České republiky 2022* [online]. B.m.: Ministerstvo vnitra-generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/statisticke-rocenky-hasicskeho-zachranneho-sboru-cr.aspx>
- [3] *Požár motocyklu na chodbě panelového domu | POŽÁRY.cz* [online]. 20. srpen 2008 [vid. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://www.pozary.cz/clanek/25645-pozar-motocyklu-na-chodbe-paneloveho-domu/>
- [4] BALL. Evil arsonists set fire to toddler's PRAM in sickening attack. *PlymouthLive* [online]. 11. červen 2019 [vid. 2023-03-06]. Dostupné z: <https://www.cornwalllive.com/news/cornwall-news/evil-arsonists-set-fire-toddlers-2967499>
- [5] HACSÍKOVÁ, Vladimíra. *HZS Olomouckého kraje - Požár společných prostor v panelovém domě v Prostějově - Hasičský záchranný sbor České republiky* [online]. [vid. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/pozar-spolecnych-prostor-v-panelovem-dome-v-prostejove.aspx>
- [6] ČSN 73 0833 Požární bezpečnost staveb - Budovy pro bydlení a ubytování [online]. B.m.: Česká agentura pro standardizaci. září 2010. Dostupné z: <https://csnonlinefirmy.agentura-cas.cz/>
- [7] INFO@AION.CZ, AION CS-. 23/2008 Sb. Vyhláška o technických podmínkách požární ochrany staveb. *Zákony pro lidi* [online]. 8. únor 2003 [vid. 2023-03-08]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-23>
- [8] *Fire safety in the design, management and use of residential buildings: code of practice* [online]. Second edition, revised. London, UK: BSI Standards Limited, 2016. ISBN 978-0-580-96356-8. Dostupné z: [https://assets.grenfelltowerinquiry.org.uk/BSI00000059\\_BS%209991\\_2015%20Fire%20safety%20in%20the%20design%2C%20management%20and%20use%20of%20residential%20buildings%20-%20code%20of%20practice%20%28Incorporating%20Corrigendum%20No.%201%29\\_0.pdf](https://assets.grenfelltowerinquiry.org.uk/BSI00000059_BS%209991_2015%20Fire%20safety%20in%20the%20design%2C%20management%20and%20use%20of%20residential%20buildings%20-%20code%20of%20practice%20%28Incorporating%20Corrigendum%20No.%201%29_0.pdf)
- [9] *Bygningsreglementets vejledning til kapitel 5 - Brand, Kapitel 7: Drift-, kontrol- og vedligehold af brandforhold i og ved bygninger* [online]. B.m.: Bolig- og Planstyrelsen. 4. březen 2021. Dostupné z: [https://bygningsreglementet.dk/-/media/Br/Kap\\_5\\_Brand/Vejledninger/Generel-vejledning/Kapitel-7/Kapitel-7-Drift-kontrol-og-vedligehold-ver-11.pdf](https://bygningsreglementet.dk/-/media/Br/Kap_5_Brand/Vejledninger/Generel-vejledning/Kapitel-7/Kapitel-7-Drift-kontrol-og-vedligehold-ver-11.pdf)
- [10] MINISTER SPRAW WEWNĘTRZNYCH I ADMINISTRACJI. *Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów* [online]. 7. červen 2010 [vid. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://lexlege.pl/rozporzadzenie-ministra-spraw-wewnetrznych-i-administracji-w-sprawie-ochrony-przeciwpozarowej-budynkow-innych-obiektow-budowlanych-i-terenow/>
- [11] GEORGIEV, Stefan a Claudia A RICCABONA-ZECHA. *Brandschutz in Mehrfamilienhäusern: Studie zur Sicherheit auf Fluchtwegen und Ausstattung mit Rauchwarnmeldern im privaten Bereich* [online]. B.m.: Kuratorium für Verkehrssicherheit. únor 2023. Dostupné z: [https://www.kfv.at/wp-content/uploads/2023/01/ENDBERICHT\\_Fluchtwege\\_Rauchwarnmelder\\_FINAL.pdf](https://www.kfv.at/wp-content/uploads/2023/01/ENDBERICHT_Fluchtwege_Rauchwarnmelder_FINAL.pdf)

## POSUZOVÁNÍ POŽÁREM NAMÁHANÝCH KONSTRUKCÍ

### ASSESSMENT OF THERMALLY STRESSED STRUCTURES

**Bc. Milan Andrlík**

#### **Abstract**

*This article focuses on the topic of assessing thermally stressed structures for fire investigation purposes. In order to obtain a comprehensive overview, a summary of the most common materials (types of structures) including their behaviour during the fire was carried out. Concrete, steel, wood and composite concrete structures have been investigated for their fire performance extensively. It is different for structures with the use of plate materials as a covering for the supporting structure, which is dedicated to this article and the work itself.*

**Key words:** *gypsum drywall; gypsum board; cement board; timber fibreboard; degree of fire damage (DOFD); post-fire investigation*

#### **ÚVOD**

Konstrukce tvořené nosným roštem a opláštěné deskovými materiály jsou v dnešní době velmi rozšířené. Mezi jejich přední výhody patří podstata suché výstavby, tvarová variabilita a variabilita typu deskového opláštění. V oblasti požární bezpečnosti staveb je uplatněno jak pro stěnové konstrukce a podhledy, tak i pro obklad prvků náchylných na vysoké teploty.

Pro navrhování konstrukcí na účinky požáru lze využít katalogy výrobců na základě výsledků odzkoušených sestav. Tyto odzkoušené prvky jsou často určeny výhradně pro vystavení vysokým teplotám a jde u nich pouze o dosažení požadované požární odolnosti. Jedná se o deskové materiály s obsahem skleněných vláken v jádře prvku sloužícím ke zvýšení jeho soudržnosti. Běžně se ale využívají i deskové materiály, které tyto specifické příměsi neobsahují a jejich chování při vysokých teplotách je výrazně odlišné. Obecně obě tyto skupiny materiálů jsou méně prozkoumané, a to odpovídá i množství podkladů o jejich chování při požáru, ze kterých by bylo možné vycházet při analýze konstrukce po požáru. Práce je věnována právě této problematice.

#### **SÁDROKARTONOVÉ KONSTRUKCE PŘI POŽÁRU**

Sádrokartonové desky jsou vyráběny ze směsi sádry, kartonu a příměsí. Podle normy ČSN EN 520+A1: *Sádrokartonové desky - Definice, požadavky a zkušební metody* rozlišujeme celkem osm typů desek pro rozdílné využití. Velkou roli hraje u sádrokartonových desek také množství vázané vody ve struktuře desky a její vlhkost. Sádra je nehořlavá stavební hmota a 21 % její hmotnosti tvoří voda. Obsah volné vody v desce je zhruba 3 % a závisí na teplotě okolí a vlhkosti. Proces vypařování obsažené vody při vystavení požáru probíhá v rozmezí teplot 80 °C až 125 °C a nazývá se kalcinace. Zároveň vyžaduje značné množství energie a času.

Sádrokartonové desky typu F (požární) určené pro expozici vysokým teplotám obsahuje příměsi ke zvýšení soudržnosti jádra pro omezení míry smrštění desky. K tomu se používají skleněná vlákna. Proto se na povrchu nejprve vytvoří spleť mikrotrhlin a až v pozdější fázi požáru se začnou tvořit další větší trhliny. [1-4]

#### **DALŠÍ DESKOVÉ MATERIÁLY PŘI POŽÁRU**

Mezi další deskové materiály používané pro opláštění konstrukcí můžeme zařadit sádrovláknité desky, cementovláknité desky a dřevěné desky. Nejlépe máme popsáno chování dřevěných desek při vystavení požáru. Na povrchu se vytváří postupně zuhelnatělá vrstva a pod ní, směrem dovnitř

průřezu, najdeme vrstvu pyrolýzy neboli tepelného rozkladu dřevní hmoty. Zároveň se uhelnatělá vrstva chová jako tepelně izolační a brání přístupu oxidantu k vrstvě pyrolýzy, proto odhořívání průřezu probíhá pomaleji. [4] [5]

## POSOUZENÍ DESKOVÝCH MATERIÁLŮ PO POŽÁRU

Všechny dříve zmíněné typy desek vykazují odlišné chování při požáru. Důvodem jsou hmoty, ze kterých jsou vyrobeny. Dalším výrazným rozdílem je, zda je deska vyrobena pro požární účely nebo pro běžné stavební použití.

Pro hodnocení deskových materiálů je možné využít dvě metody vycházející z tabulky 1 rozlišující dva přístupy hodnocení: viditelné a měřitelné změny vlivem účinku požáru. Pro desky na bázi dřeva lze využít např. úbytek hmotnosti a uhelnatění. U sádkartonových desek a desek na bázi sádky lze využít např. úbytek hmotnosti, změny barvy a kalcinaci. Pro určení těchto charakteristik je možné využít příčné řezy zasažené konstrukce v konkrétních místech. [4]

## POŽÁRNÍ VYŠETŘOVÁNÍ

Při požáru jsou stavební materiály přímo ovlivněny procesem hoření. A vysoké teploty spolu s produkty hoření způsobují degradaci těchto hmot. V oblasti požárního vyšetřování se využívá termín *účinky požáru (fire effects)* pro pozorovatelné a měřitelné změny ve struktuře materiálu nebo na jeho povrchu. Základní seznam *účinků požáru* podle NFPA je uveden v tabulce 1. Stupeň poškození, kdy je materiál vystaven rozvíjejícímu se požáru, je funkce interakce materiálových vlastností, teploty generované procesem hoření a dobou vystavení požáru. Prvky, kterými je materiál ovlivněn, je mnoho a patří mezi ně například kouř, tepelný tok, aerosoly atd. Úbytek objemu materiálu je závislý zejména na struktuře materiálu a tepelnému namáhání.

Tab. 1 Základní seznam účinků požáru (NFPA, 2014) [4]

Tab. 1 Base list of fire effects (NFPA, 2014) [4]

Účinek požáru (fire effect)	pozorovatelný	měřitelný
dosažená teplota	X	
úbytek hmotnosti	X	X
uhelnatění	X	X
odštěpování	X	
změna barvy	X	
tavení materiálu	X	
teplotní rozpínání a deformace	X	X
oxidace	X	
usazování částic	X	
čisté hoření	X	
kalcinace	X	X
okenní sklo	X	
nábytkové pružiny	X	
žárovky	X	
zranění osob	X	
duhový efekt	X	
zvýšené množství sazí v požárním hlásiči	X	

Data o poškození materiálů a konstrukcí slouží pro vyšetřovatele jako podklad pro posouzení příčin požáru a jeho šíření. Rozlišujeme zde pojmy jako *linie poškození* a *plocha poškození*. *Plocha poškození* je část povrchu konstrukce, kde došlo ke stejnému charakteru poškození. *Linie poškození* je hranice oddělující plochy rozdílných charakterů poškození. Tyto prvky specifikujeme na základě vizuálních nebo změřených parametrů. [4]

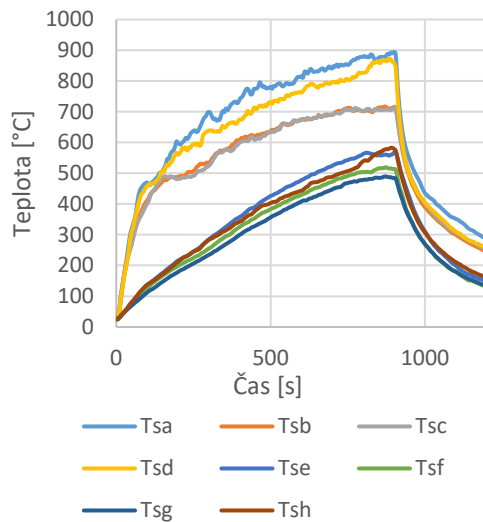
## POŽÁRNÍ ZKOUŠKY NA PECI MINIFUR

V rámci práce bude provedena série požárních zkoušek na zařízení MINIFUR umístěné v Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT v Buštěhradě. Jedná se malou zkušební pec o půdorysných rozměrech 0,8 m × 1,2 m a výšce 0,8 m viz obrázek 1. Zkoušené vzorky se dají umístit jak ve svislé (stěnové) tak i horizontální (stropní) rovině.

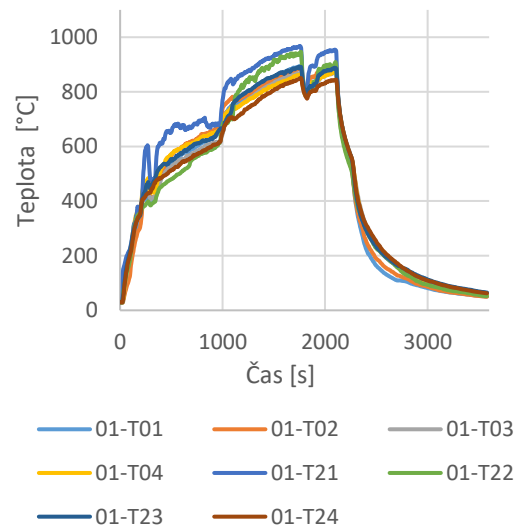


Obr. 1 Zkušební pec MINIFUR [6]  
Fig. 1 MINIFUR test furnace [6]

V přípravné fázi před samotnými experimenty bylo potřeba upravit plynové hořáky pro zkušební pec. Důvodem byla jejich neefektivnost při hoření a větší spotřeba plynu. Dříve byl v peci umístěn jeden pískový hořák (difúzní plamen). Nově jsme vytvořili čtyři proudové hořáky (předmíchaný plamen) a vhodně je umístili do pece tak, aby bylo dosaženo co největší efektivity. Následoval zkušební test, při kterém byly požadované parametry vyhodnoceny a porovnány s dřívějšími zkouškami. Na obrázku 2 a obrázku 3 jsou vyhodnoceny průběhy teplot ve zkušební peci MINIFUR.



Obr. 2 Rozložení teplot v peci MINIFUR (starý hořák)  
Fig. 2 Temperatures in MINIFUR test furnace (old burner)



Obr. 3 Rozložení teplot v peci MINIFUR (nové hořáky)  
Fig. 3 Temperatures in MINIFUR test furnace (new burners)

Pro měření teplot je v peci umístěno osm pláštových termočlánků, vždy čtyři v jedné výškové úrovni. První úroveň je ve výšce 0,25 m od podlahy pece a druhá je ve výšce 0,7 m od podlahy

pece. Z předchozích grafů (obrázek 2 a obrázek 3) je patrné že po úpravě plynových hořáku se zlepšilo rozložení teplot ve zkušební peci MINIFUR a lze ho označit jako více rovnoměrné. V další fázi přípravy pece bude potřeba zajistit izolaci stěn pece, aby nedocházelo k velkým tepelným ztrátám a současně tak k větší spotřebě plynu. S tím souvisí i poloha a rozměry přivětrávacích otvorů.

## ZÁVĚR

Provedená úprava hořáků v peci zvýšila její efektivnost a zajistila lepší rozložení teplot v celé peci. Po doplnění izolace stěn bude proveden další zkušební test s vyhodnocením. Podle výsledků pak budou upraveny přivětrávací otvory tak, aby bylo dosaženo k co nejoptimálnějšímu fungování pece.

## PODĚKOVÁNÍ

Výzkum, který je prezentován v tomto článku je součástí realizace projektu BV MV Inovace a rozvoj nástrojů v oblasti zjišťování příčin vzniku požárů VJ01010046.

## LITERATURA

- [1] ALAR JUST, JOACHIM SCHMID, a JÜRGEN KÖNIG. Gypsum plasterboards used as fire protection - Analysis of a database [online]. Stockholm: SP Technical Research Institute of Sweden, 2010. ISBN 978-91-86319-67-0. Dostupné z: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:962547/FULLTEXT01.pdf>
- [2] ČSN EN 520+A1 Sádrokartonové desky - Definice, požadavky a zkušební metody. 2010.
- [3] Požární odolnost sádrokartonových konstrukcí. In: TZB-info [online] [cit. 02.04.2023]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/stavebni-desky/21425-pozarni-odolnost-sadrokartonovych-konstrukci>
- [4] GORBETT, Gregory E et al. Use of damage in fire investigation: a review of fire patterns analysis, research and future direction. Fire Science Reviews. 2015, roč. 4, č. 1, s. 4. ISSN 2193-0414. DOI: 10.1186/s40038-015-0008-4
- [5] Požadavky na požární bezpečnost dřevostaveb. In: TZB-info [online] [cit. 15.05.2023]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/drevostavby-nove/7184-pozadavky-na-pozarni-bezpecnost-drevostaveb>
- [6] SPÁČIL, Martin. Tlakové poměry a rychlost proudění plynů v podmínkách požáru. [online]. České vysoké učení technické v Praze. Výpočetní a informační centrum., 2021 [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/93614>

## STANOVENÍ PARAMETRŮ POŽÁRU ZAŘÍZENÍ BUDOV

### DETERMINATION OF FIRE PARAMETERS OF FURNISHING ITEMS

**Bc. Lucie Pittermanová**

#### **Abstract**

*The main scope of this article is primarily the determination of fire parameters of furnishing located in hotel rooms. The determination of these parameters is important for further use in fire cause investigation and modelling. The main part of this article is an experiment in which two fire test were performed in open calorimetry with different fire initiators. The fire test will be then compared.*

**Key words:** fire furniture; open calorimetry; calorimetry; Modern furniture; Heat release rate

#### **ÚVOD**

Cílem práce je získat databázi základních parametrů a jejich následné využití odbornou veřejností pro vyšetřování vzniku a průběhu požáru a pro obecné modelování. V tuto chvíli jsou u nás k dispozici převážně zahraniční databáze a studie, které jsou nedostatečné z hlediska materiálů výrobků užívaných v ČR. Ke změnám v charakteristice požárního zatížení z hlediska materiálu přispívá i přibývající množství hořlavých materiálů v budovách. [1,2]

V předchozích letech došlo k pokroku vzhledem k požárnímu výzkumu, který umožnil lépe porozumět chování požáru. Na základě toho, byly vyvinuty různé metody a modely, které umožňují stanovit parametry požáru zařízení budov. V rámci této tematiky, bylo provedeno několik zkoušek pro různé předměty zařízení budov z různých materiálů.

Bylo vytvořeno několik databází, které obsahují předměty vybavení nacházejícího se v hotelových prostorách. Příkladem těchto databází je MYFIELD [3], kdy bylo provedeno několik velkorozměrových zkoušek pro různé provozy, zároveň i zkoušky pro jednotlivé předměty. K těmto zkouškám pak byly uvedeny naměřené hodnoty k nejčastěji užívaným parametrům. Dalším příkladem je databáze z Jižní Koreje [4], věnovaná jednotlivým předmětům a určení jejich základním parametrům. Dále je k dispozici několik prací, ve kterých se většinou autoři věnují konkrétnímu zařízení budov. Příkladem je práce od Thomas Cleary [5], který se věnuje zkoušení pěti nepolstrovaných židlí z různých materiálů.

#### **EXPERIMENTÁLNÍ VÝZKUM**

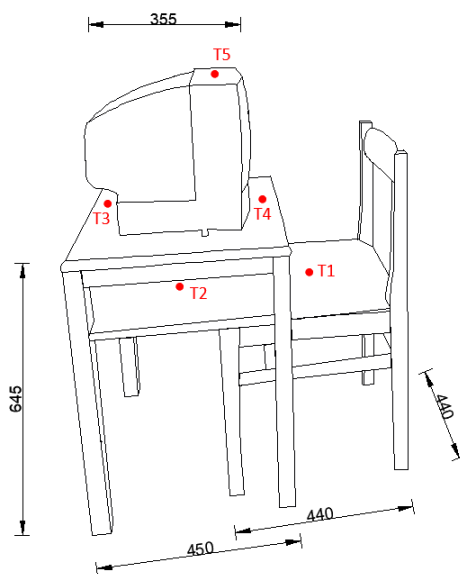
V souvislosti s požární rešerší bude následovat série experimentálních měření, která budou provedena pomocí kvantitativní metody open calorimetry, definovanou pomocí normy ISO 24473:2008. Tato metoda měří tepelný tok a tepelné vlastnosti materiálů. Během zkoušky je vytvořeno otevřené prostředí, které umožňuje volný tok tepla mezi vzorkem a okolím. V průběhu experimentu je monitorován tepelný tok, který je uvolňován během hoření uvnitř kalorimetrického systému.

Při připravovaných experimentech se budou sbírat data, z kterých se následně stanoví klíčové parametry, jako např. ztráta hmotnosti, rychlost uvolňování tepla, úbytek hmotnosti, tepelný tok. Pro experimenty byly vybrány základní zařizovací předměty, která se v hotelových prostorách obvykle objevují – židle, stůl, TV, sedačka, postel, matrace.

#### **POŽÁRNÍ ZKOUŠKY SESTAVY**

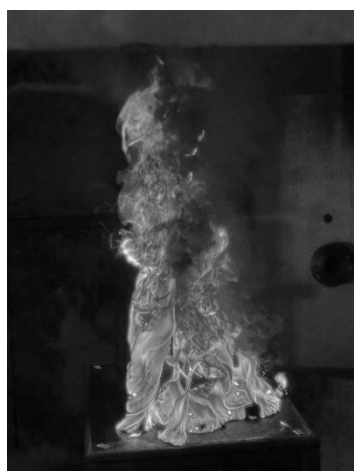
V rámci semestrální práce byly provedeny dvě požární zkoušky s téměř totožnou sestavou nábytku, zahrnující židli, stůl a TV. Povrchové teploty byly v obou případech měřeny pomocí pěti termočlánků umístěných na stejném místě. První článek byl umístěn uprostřed sedadla židle,

druhý uprostřed stolku, třetí a čtvrtý před a za televizí a poslední na televizi. Schématické znázornění sestavy spolu se znázorněním přibližného umístění termočlánků viz obr. 1.



Obr. 1 Schématické znázornění  
Fig. 1 Schematic illustration

Rozdíl mezi experimenty byl v různém způsobu vzniku požáru a jeho umístění. V první zkoušce byl iniciátorem požáru uvažován zkrat v televizi, která byla položena na stolku. Druhá zkouška modelovala scénář, kdy iniciátorem požáru je např. odpadkový koš umístěný pod stolkem. Dalším rozdílem je pak směřování čela TV, kdy v prvním případě byla TV otočena čelem k radiometru. V druhém případě byla sestava otočena. Radiometr byl v obou případech umístěn ve vzdálenosti 1 m od opěradla židle, v úrovni psací desky stolu, tedy 64,5 cm. Obě zkoušky byly provedeny v rámci open-calorimetry. Při prvním scénáři tvoří sestavu stůl a židle z masivního dřeva, podsedák židle tvoří molitan. Při tomto experimentu, kde byla zdrojem požáru TV, došlo k omezenému rozšíření požáru na okolní materiály. Plameny se omezily jen na povrch desky stolu, kdy po 1 800 sekundách stále hořela jen televize a již zmíněný povrch desky stolu. Ke 3 300 sekundě byla zkouška ukončena. Ani do tohoto času nedošlo k rozšíření dále než na povrch desky stolu, viz obr. 2(A). Židle nebyla plameny vůbec zasažena. Dá se tedy považovat, že materiál a geometrie stolku ovlivňuje šíření plamenů a přispívá k omezení požáru na povrchové oblasti.



(A)



(B)

Obr. 2 (A) Scénář jedna; (B) Scénář dva  
Fig. 2 (A) First scenario; (B) Second scenario



Sestavu při druhém scénáři tvoří totožný stůl a TV. Židle v tomto případě měla trochu odlišnou geometrickou konfiguraci, a kromě podsedáku byla z molitanu i opěrka. Sestava, jak již bylo zmíněno byla otočena. V tomto případě došlo k zcela odlišnému chování šíření plamene. Plameny se postupně pohybovaly od zdroje po židli a části stolu směrem nahoru. Následně se plameny rozšířily na televizi a zbytek stolu. Viz obr. 2(B). V průběhu hoření docházelo k postupné deformaci materiálů a ztrátě původní tvarové integrity. V důsledku toho, došlo ke zřícení stolu.

## VÝSLEDKY

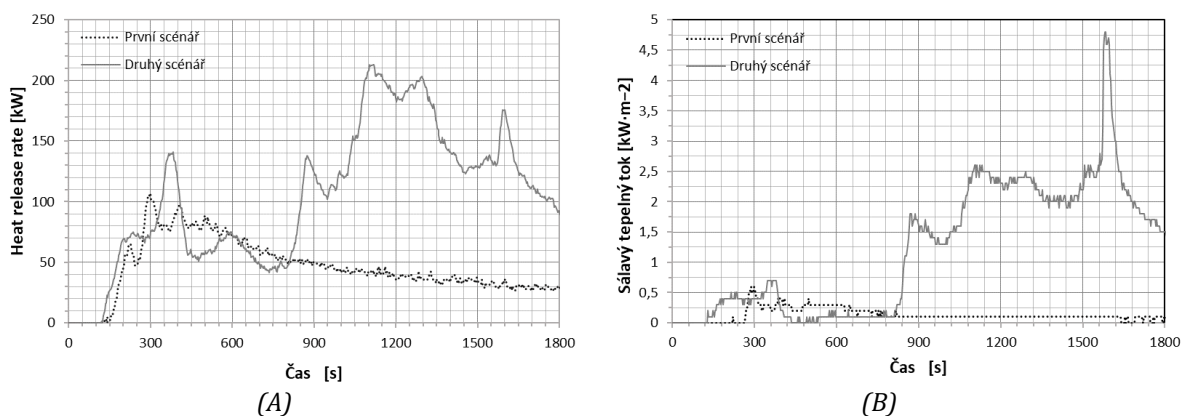
Výstupy z obou provedených zkoušek s různými scénáři jsou parametry, které byly zpracovány do grafů. Hlavními parametry, které byly měřeny jsou teploty v různých bodech, měřené pomocí termočlánků, úbytek hmotnosti, výkon požáru a tepelný tok.

Na grafu (Obr.3 (A)) je znázorněno porovnání rychlosti uvolňování tepla pro první a druhý scénář. Průběhy mají v obou případech do 670. sekundy podobný tvar, v 670. sekundě nastává hlavní rozdíl, kdy hodnoty prvního scénáře pomalu klesají, v případě druhého scénáře začnou naopak stoupat, až do hodnoty  $213 \text{ kW/m}^2$  a až pak klesají.

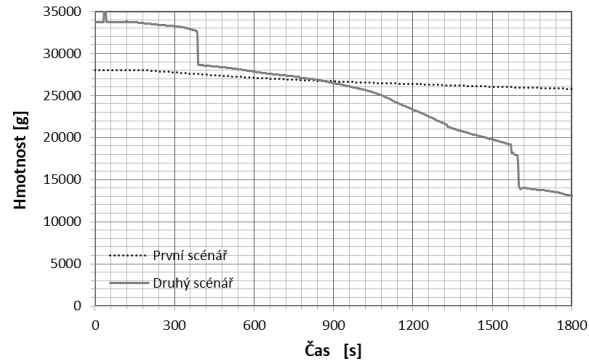
Z grafů (Obr.3 (B), Obr 4.) je zřejmé, že i u dalších parametrů je v případě druhého scénáře dosaženo výrazně vyšších hodnot. Největší rozdíl v naměřených hodnotách byl zaznamenán u měření radiometrem. Zatímco v prvním případě maximální naměřené hodnoty  $0,6 \text{ kW/m}^2$  je dosaženo v 300. sekundě poté hodnoty klesají, v druhém případě je maximální hodnoty  $4,8 \text{ kW/m}^2$  dosaženo až v 1580. sekundě. a až poté dojde ke klesání hodnot. Úbytek hmotnosti v případě prvního experimentu je víceméně lineární, kdy z počátečních  $28\,020 \text{ g}$  až do konce experimentu ubyde  $4\,630 \text{ g}$ , s rychlostí  $1,06436 \text{ g/s}$ . V druhém experimentu je úbytek nepravidelný, z počátečních  $33\,750 \text{ g}$  ubyde  $31\,270 \text{ g}$  během experimentu, s rychlostí  $6,673 \text{ g/s}$ .

Dále byly měřeny teploty v jednotlivých termočláncích. Při prvním pokusu byla dosažena maximální teplota  $480 \text{ }^\circ\text{C}$  v 1380 sekundě, zatímco v druhém pokusu byla naměřena maximální teplota  $850 \text{ }^\circ\text{C}$  v 852. sekundě.

Tyto parametry naznačují, že při scénáři, kdy dojde k iniciaci ze spodní strany stolu a následně k rozšíření požáru na stůl, bylo pozorováno větší množství uvolněného tepla a vyšší tepelný tok, což přispělo k intenzivnějšímu spalování a intenzivnějšímu hoření než při scénáři, kdy iniciátorem požáru je zkrat TV.



Obr. 3 Porovnání (A) průběhu rychlosti uvolňování tepla (HRR); (B) hustota tepelného toku  
Fig. 3 Comparison (A) course of heat release rate (HRR) ; (B) radiative heat flux



Obr. 4 Úbytek hmotnosti  
Fig. 4 Weight loss

## ZÁVĚR

Stanovení parametrů požáru zařizovacích předmětů je důležité pro efektivní vyšetřování požáru nebo pro modelaci požáru. V této oblasti v posledních letech došlo k pokroku, zároveň by však bylo vhodné současné databáze rozšířit z hlediska materiálů a výrobků.

Základními parametry, které by se měli zohlednit, jsou tepelný tok, rychlost uvolňování tepla, úbytek hmotnosti v čase.

Z provedených experimentálních měření je zřejmé, že na průběh požáru má vliv několik faktorů, mezi které lze zařadit umístění požáru, způsob iniciace, materiál předmětů. Primárním rozdílem mezi těmito měřeními je zdroj počátku požáru, kdy se jako horší varianta ukázala ta, kde požár započal od spodu. Vliv na to mohla mít úprava povrchu desky konferenčního stolu, ale i otočení sestavy a tím pádem i trochu rozdílné podmínky pro šíření požáru.

Obecně lze říci, že existuje mnoho faktorů, které ovlivňují průběh požáru. Každé provedené měření bude mít jiné výsledky v závislosti na těchto faktorech. Je tedy velmi obtížné přesně specifikovat průběh požáru s absolutní jistotou.

## PODĚKOVÁNÍ

Výzkum, který je prezentován v tomto článku je součástí realizace projektu BV MV Inovace a rozvoj nástrojů v oblasti zjišťování příčin vzniku požárů VJ01010046.

## LITERATURA

- [1] HOFMANN, Anja, Andrea KLIPPEL, Tanja GNUTZMANN, Sven KAUDELKA a Frederik RABE, 2020. Influence of modern plastic furniture on the fire development in fires in homes: large-scale fire tests in living rooms. 12. listopad 2020. B.m.: Wiley.
- [2] HADINGEROVA, Lenka. Toxické zplodiny hoření při nedostatečném přísunu vzduchu. Praha, 2023. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Vladimír Mózer, Ph.D.
- [3] MAYFIELD, Christopher a Danny HOPKIN. Design fires for use in fire safety engineering. Bracknell: IHS BRE Press, 2011. FB / BRE Trust, 29. ISBN 978-1-84806-152-1.
- [4] KIM, D. a LEE, D., 2021. A Study on the make Fire Scenario for Residential Facility Combustible Materials. Journal of the Korea Society of Computer and Information. 26(6), 137–143.
- [5] CLEARY, Thomas G., Thomas J. OHLEMILLER a Kay VILLA. The influence of ignition source on the flaming fire hazard of upholstered furniture. Fire Safety Journal [online]. 1994, 23(1), 79–102. ISSN 03797112. Dostupné z: doi:10.1016/0379-7112(94)90063-9





**DŘEVO-BETONOVÝ SPŘAŽENÝ NOSNÍK ZA POŽÁRU****TIMBER-CONCRETE COUPLED BEAM UNDER FIRE****Bc. Jana Koppová****Abstract**

*This article deals with the problem of the load-bearing capacity of a timber-concrete coupled beam under fire. The first part of the article focuses on the description of the behaviour of the composite beam under normal temperature and fire conditions. The second part describes the use of a probabilistic approach to calculate the charring rate of the timber beam and briefly mentions the behaviour of the concrete slab at higher temperatures. Subsequently, the overall interaction between the timber beam and the concrete slab under fire is discussed. In the last part of the article is presented the effect of wood moisture content on the fire resistance of the coupled beam and a probabilistic calculation of the fire resistance achieved for the different wood moisture contents that have been included in the calculation. There was used Python programming environment to demonstrate the effect of moisture content on fire resistance.*

**Key words:** timber-concrete beam; fire; resistance; probability; moisture

**ÚVOD**

Dřevo-betonový spřažený nosník jako konstrukční prvek je využíván pro stropní konstrukce. Toto řešení je populární zejména při zesilování stávajících stropů, například u historických budov, ale i při výstavbě nových vícepodlažních objektů. Dřevostavby jsou v dnešní době velkým trendem a z důvodu velkých výškových omezení z hlediska požární bezpečnosti staveb u nás i ve světě je snaha dřevo jako stavební materiál více prozkoumat, pomocí experimentů a numerických modelů a zúžit daná omezení pro dřevostavby na minimum.

**DŘEVO-BETONOVÝ NOSNÍK ZA BĚŽNÉ TEPLoty**

Dřevo-betonové kompozitní stropní konstrukce jsou systémy, které se skládají z betonové desky a dřevěného trámu, který je s deskou spřažen nejčastěji pomocí různých forem ocelových prvků. Pro dřevěnou část stropu se nejčastěji využívají trámy z rostlého nebo lepeného hraněného dřeva obdélníkového průřezu. Betonová deska se většinou vyztužuje konstrukční výztuží ve dvou směrech, nebo se do směsi přidávají výztužná vlákna [1]. Díky spolupůsobení betonové desky a dřevěného trámu se až šestinásobně zvyšuje tuhost a trojnásobně nosnost celé spřažené dřevo-betonové konstrukce [2]. Další výhodou jsou lepší mechanické vlastnosti stropní konstrukce, jelikož betonová deska přenáší tlakové síly a dřevěný trám přenáší tahové síly a ohyb [3]. Při kombinaci těchto dvou prvků si můžeme dovolit menší tloušťku betonové desky, tedy spotřebujeme méně betonu, což vede k nižší hmotnosti celé stropní konstrukce.

**DŘEVO-BETONOVÝ NOSNÍK ZA POŽÁRU**

Při uvážení dřevěného nosníku o průřezu 160/200 mm z rostlého dřeva C24 dochází vlivem vysokých teplot a tepelné kapacity betonu v prvních 5 až 10 min. ke změnám ve struktuře dřeva a k nadzdvížení betonové desky v rozích. V čase 10 až 30 min. začínají dřevěné trámy ztrácet svou tuhost v ohybu vlivem tepelné degradace dřeva, vlivem zmenšení průřezu trámu, a lze pozorovat horizontální deformace. Dále začíná docházet k selhávání nosníků a k vertikálním deformacím. Nejdříve se nosník pod vlivem betonové desky ohýbá směrem nahoru, v pokročilejší fázi se prohne směrem dolů a dochází k odpadávání zuhelnatělých vrstev dřeva. Při odpadnutí zuhelnatělých vrstev surové dřevo pod ní již není chráněno a je vystaveno ohni. Po naprostém selhání nosníků vlivem nedostatečně velkého účinného průřezu trámu nastává membránové působení betonové

desky. Při menší tloušťce betonové desky může v průběhu požáru dojít i k lokálnímu prohoření desky. Záleží na míře ztuhnutí betonu, tloušťce desky, použité pevnostní třídě betonu, a především skladbě podlahy nad betonovou deskou. Pokud je ve skladbě podlahy například minerální vata, která je dobrý izolant, teplo skrz ni nebude proudit a bude se vracet zpět do betonové desky a konstrukce se bude více prohřívát.

## VLIV VLHKOSTI NA RYCHLOST ZUHELNATĚNÍ DŘEVĚNÉHO NOSNÍKU

Hloubka zuhelnatění je základní veličinou pro posouzení požární odolnosti dřevěných konstrukčních prvků. Vzhledem k heterogenním materiálovým charakteristikám různých typů dřeva a nejistotám spojených s vystavením dřeva požáru je rychlost a míra zuhelnatění proměnná. Tuto nejistotu je nutné zohlednit při každém posuzování požární odolnosti dřevěných prvků. Proto je pro posuzování požární odolnosti vhodným nástrojem pravděpodobnostní přístup. Hietaniemi definoval rovnice pro rychlost zuhelnatění dřeva [4]. Do těchto rovnic byl zanesen vliv proměnných jako je objemová hmotnost, tepelný tok a vlhkost. Dle ČSN EN 1995-1-2 [5] je stanovena počáteční vlhkost materiálu dřeva 12 %. Od 12% vlhkosti se odvíjí její klesání s rostoucí teplotou. Při využití podrobnějšího výpočtu dle [4] je pro vlhkost použito pravděpodobnostní rozdělení a je zahrnuto odchýlení vlhkosti daného dřevěného konstrukčního prvku od normou řešené hodnoty. Pomocí tohoto výpočtu lze nalézt optimální výpočtovou vlhkost. V rovnici (1) dle [4] je vidět vliv vlhkosti na průběh zuhelnatění dřeva. Je zřejmé, že čím vyšší bude vlhkost, tím menší bude rychlost zuhelnatění, a tedy i vyšší požární odolnost dřevěného nosníku.

$$\beta = f(\chi_{O_2}, t) \times \frac{C \times q_e'' \times (t)^p}{[(\rho_0 + \rho)(A + B\omega)]} \times \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (1)$$

kde:

$\beta$	je	rychlost zuhelnatění [mm/min]
$f(\chi_{O_2}, t)$		funkce charakterizující závislost rychlosti zuhelnatění dřeva na koncentraci kyslíku
$C$		koeficient pro pravděpodobnostní přístup v rozmezí dle [4]
$q_e''$		tepelný tok dřevem funkcí času [kW/m <sup>2</sup> ]
$p$		koeficient pro pravděpodobnostní přístup v rozmezí dle [4]
$\rho_0$		objemová hmotnost dřeva při 20 °C [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho$		objemová hmotnost vody [kg/m <sup>3</sup> ]
$A$		koeficient pro pravděpodobnostní přístup v rozmezí dle [4]
$B$		koeficient pro pravděpodobnostní přístup v rozmezí dle [4]
$\omega$		vlhkost dřeva
$t$		čas [min]
$\tau$		koeficient pro pravděpodobnostní přístup v rozmezí dle [4]

## ŘEŠENÝ PŘÍKLAD V UŽIVATELSKÉM PROSTŘEDÍ PYTHON

V rámci řešeného příkladu byla stanovena geometrie vzorce, na které bude problematika řešena. Byl zvolen trám z rostlého dřeva C24 o průřezu 120/140 mm a betonové deska tl. 60 mm. Pomocí jazyka Python byly zadány veškeré proměnné, které vstupují do výpočtu viz rovnici (1). V tab.1 jsou vypsány vstupní hodnoty pro výpočet rychlosti zuhelnatění dřevěného trámu. Čas výpočtu byl do 120. minuty požáru a výsledky byly vypisovány po minutě. Výpočtů bylo provedeno 1 000 s výpočetním časem 0,96 s.

Na obr. 1 je zobrazen celkový vývoj rychlosti zuhelnatění dřevěného prvku pro všechny provedené výpočty. Je zřejmé, že s rostoucím časem požáru rychlost zuhelnatění klesá.

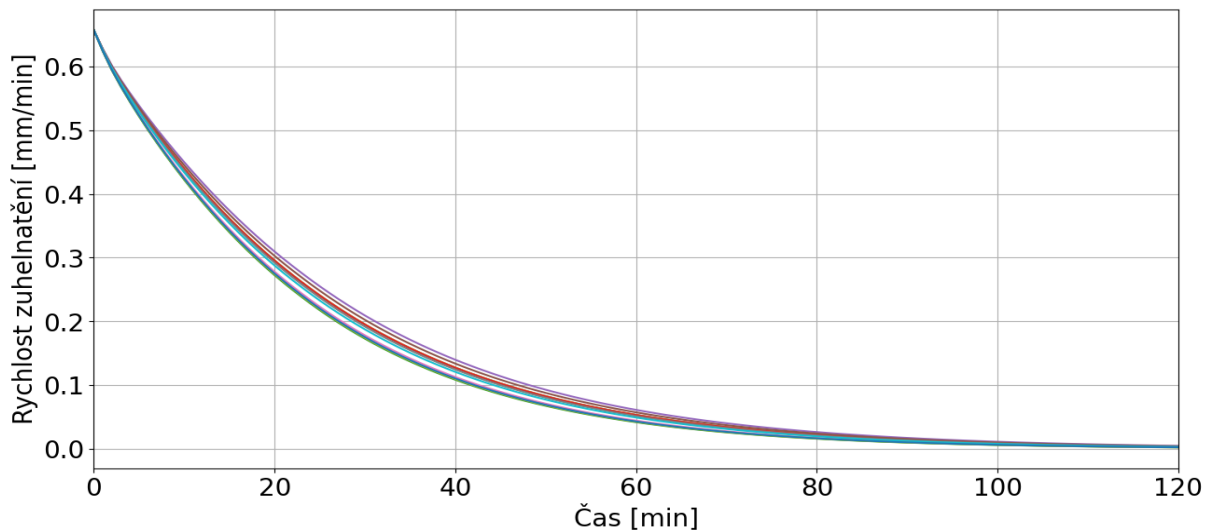
Pro vyhodnocení výsledků vlivu vlhkosti dřeva a rychlosti zuhelnatění byly sestaveny pro přehlednost grafy (obr. 2) pro různou dobu trvání požáru, a to 0, 30, 60 a 120 minut. Na výsledných grafech je vidět vliv vlhkosti použitého dřeva na rychlost zuhelnatění a lze tedy říct, že velmi záleží na procentu vlhkosti použité dřeviny. Na grafu A je vidět, že v první minutě je rychlost zuhelnatění

nejvyšší a je stejná pro všechny hodnoty vlhkosti. Na grafu B a C je patrné, že s rostoucí délkou trvání požáru se rychlost neustále snižuje, a zároveň že při vyšší vlhkosti je rychlost zuhelnatění nižší. Ve 120 minutě na grafu D je rychlost zuhelnatění téměř nulová.

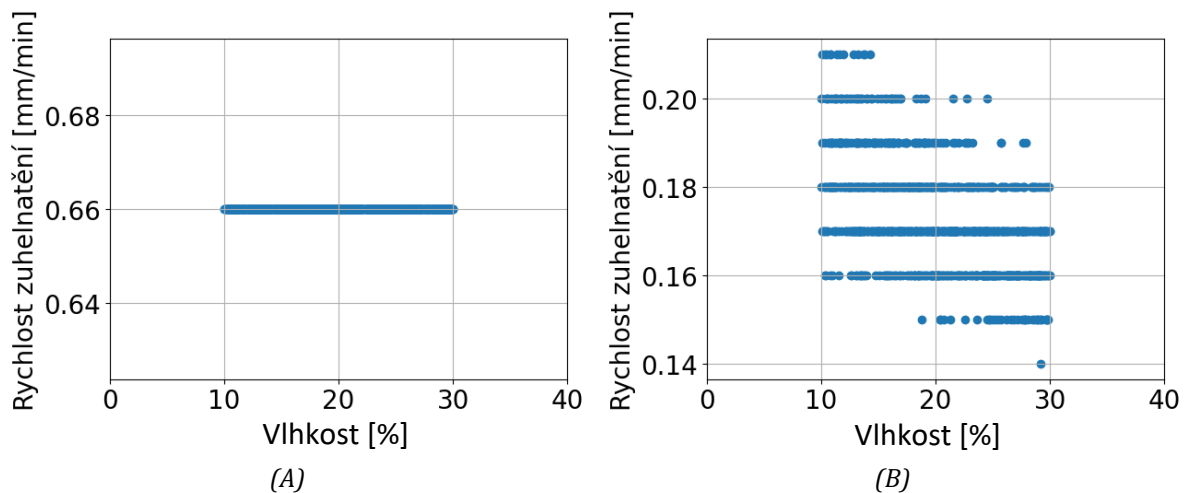
Tab.1 Vstupní hodnoty do výpočtu v prostředí Python

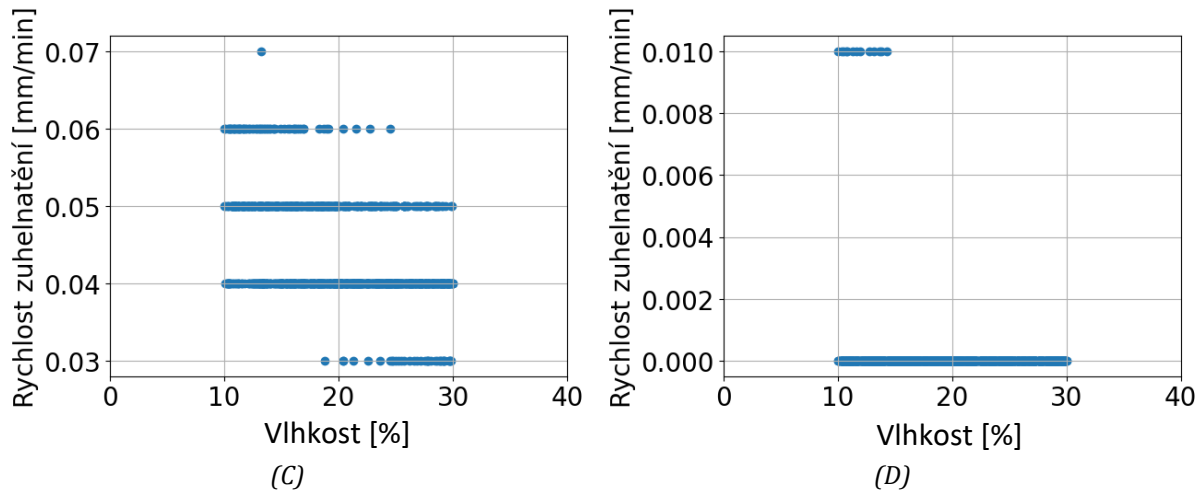
Tab. 1 Input values to the calculation in the Python environment

Označení vstupu	Hodnota vstupu	Zdroj
A	$\propto (505;1095)$	[6]
B	$\propto (2430;2550)$	[6]
C	$\propto \Delta (2,75;3,93;5,45)$	[6]
p	0,45	[6]
$\rho_0$	450 kg/m <sup>3</sup>	-
$\omega$	$\propto (0,1;0,3)$	-
$\chi_{O_2,t,0}$	21 %	[6]
$q_e$	$20 + 345 \times \log(8 \times t + 1)$	[6]
$\tau$	100 min	[6]



Obr. 1 Graf závislosti rychlosti zuhelnatění na čase  
Fig. 1 Graph of charring rate depending on time





Obr. 2 Porovnání rychlosti zuhelnatění v čase (A) 0 min; (B) 30 min; (C) 60 min; (D) 120 min  
 Fig. 2 Comparison of charring rate over time (A) 0 min; (B) 30 min; (C) 60 min; (D) 120 min

## ZÁVĚR

Cílem tohoto článku bylo objasnit problematiku dřevo-betonového nosníku, jak za běžné teploty, tak za požáru. Byl zde představen pravděpodobnostní přístup, jako nástroj pro zpřesnění výpočtu požární odolnosti díky podrobnějšímu výpočtu rychlosti zuhelnatění, ze kterého lze pozorovat, kolik proměnných do výpočtu reálně vstupuje, a proto je výpočet přesnější, než jaký nám poskytují normy. Pomocí efektivního nástroje prostředí Python, který je schopný za velmi krátký čas vypočítat ohromné množství výpočtů, lze efektivněji dosahovat potřebných výsledků pro další výpočty požární odolnosti dřevěných prvků.

## LITERATURA

- [1] VINCENT KVOČÁK, VIKTÓRIA BAJZECEROVÁ, a MOHAMAD AL ALI. Design methods of timber-concrete composite ceiling structure. *Magazine of Civil Engineering* [online]. nedatováno, 2017(5). Dostupné z: doi:10.18720/MCE.73.8
- [2] CECCOTTI, Ario. Composite concrete-timber structures. *Progress in Structural Engineering and Materials* [online]. 2002, 4(3), 264–275. ISSN 1365-0556, 1528-2716. Dostupné z: doi:10.1002/pse.126
- [3] LUKASZEWSKA, E., M. FRAGIACOMO a H. JOHNSON. Laboratory Tests and Numerical Analyses of Prefabricated Timber-Concrete Composite Floors. *Journal of Structural Engineering* [online]. 2010, 136(1), 46–55. ISSN 0733-9445, 1943-541X. Dostupné z: doi:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000080
- [4] JUKKA HIETANIEMI. *A Probabilistic Approach to Wood Charring Rate* [online]. B.m.: VTT Building and Transport, Kivimiehentie 4, P.O.Box 1803, FI-02044 VTT, Finland, 2005. ISBN 951-38-6583-5.
- [5] ČSN EN 1995-1-2 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru Ed.1+0.1. B.m.: Český normalizační institut. září 2010
- [6] HIETANIEMI, Jukka, Tomi TORATTI, Simon SCHNABL a Goran TURK. *Application of reliability analysis and fire simulation to probabilistic assessment of fire endurance of wooden structures: Espoo 2006*. S.l.: VTT Working Papers, 2006. ISBN 978-951-38-6606-8.



## VLIV ZVÝŠENÉ TEPLoty NA VLASTNOSTI RŮZNÝCH DRUHŮ LEPIDEL PRO DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE

### THE EFFECT OF ELEVATED TEMPERATURE ON THE PROPERTIES OF DIFFERENT TYPES OF ADHESIVES FOR WOODEN STRUCTURES

Bc. Jan Kačírek

#### **Abstract**

*This article focuses on mechanical properties of adhesives used for wooden structures at elevated temperatures. In the recent years cross-laminated timber and glued laminated timber became popular engineered wood product. The aim of this paper is to understand, how different adhesives behave at elevated temperatures depending on the chemical composition, or at similar composition but different manufacturers. In the first part of the paper I am trying to present what types of adhesives are used for wooden structures and what are the known problems. The second part of the paper describes upcoming experiment and expected results.*

**Key words:** wood; adhesives; cross-laminated timber; delamination; elevated temperature

#### **ÚVOD**

V posledních letech dochází k čím dál častějšímu používání dřeva ve stavebnictví. Zájem o výstavbu vysokých dřevostaveb s použitím masivních dřevěných materiálů roste. Použití křížem vrstveného dřeva (CLT) a lepeného lamelového dřeva s sebou nese rizika v chování jednotlivých druhů použitých lepidel za zvýšených teplot. Po provedení požárních zkoušek bylo zjištěno, že CLT panely mohou při požáru vykazovat odlišné chování v důsledku možného odpadávání zuhelnatělých vrstev. Toto chování souvisí s použitým odlišných lepidel v linii lepení CLT. [1]

Dynamika požáru v konstrukci CLT závisí na použitých lepidlech, jakmile se čelo zuhelnatělého materiálu přiblíží k linii lepení, může dojít k delaminaci.

#### **LEPIDLA ZA ZVÝŠENÉ TEPLoty**

V dnešní době se na trhu nachází několik druhů lepidel, které se odlišují chemickým složením. Právě chemické složení lepidel má podstatný vliv na chování za zvýšené teploty. Typ lepidla má vliv na odolnost lepených spojů. Na evropském trhu jsou v posledních letech oblíbená jednosložková polyuretanová lepidla. Jejich hlavními výhodami je snadná aplikace a rychlé vytvrzení. Mezi další používaná lepidla patří lepidla na bázi fenol-resorcinol-formaldehydu, melaminové pryskyřice či epoxidová lepidla.

Tepelné vlastnosti lepidel ovlivňují pevnost lepení a modely poruch lepených lamel. Narůstající teplota má vliv na mechanické vlastnosti lepidel jako je pevnost ve smyku, modul pružnosti či modul prokluzu, které s rostoucí teplotou výrazně klesají.

Křížem lepené dřevo se spoléhá na pevnost lepícího spoje, který zajišťuje kompozitní působení mezi různými dřevěnými prvky. U křížem vrstveného dřeva se nejčastěji používají polyuretanová lepidla či lepidla na bázi melaminové (močovino-formaldehydové) pryskyřice. Je obecně známo, že mechanické vlastnosti různých lepidel na dřevo budou ovlivněny zvýšenými teplotami nebo vlhkostí, a to i v rámci jednotlivých typů lepidel. Při smykových zkouškách polyuretanových lepidel dochází ke snížení pevnosti lepidel, která se odlišuje v závislosti typu a výrobci konkrétního lepidla. Polyuretanová lepidla trpí většími ztrátami tuhosti a pevnosti ve smyku při zvýšených teplotách, oproti melaminové pryskyřici. [2] [3]

## ZKOUŠKY MALOROZMĚROVÝCH TĚLES

Součástí seminární práce je experimentální analýza. Cílem experimentální analýzy je porovnat chování vzorků s odlišnými typy lepidel za zvýšené teploty a porovnat je s referenční sadou za běžné teploty.

Pro experiment jsou připraveny vzorky NOVATOP SOLID – vícevrstvé panely typu CLT. Každá vrstva panelu je tvořena z lamel z rostlého smrkového dřeva a orientace vláken jednotlivých vrstev je vždy kolmá k sousedním vrstvám. Lamely jsou v každé vrstvě slepeny v podélném i příčném směru a vrstvy jsou slepeny mezi sebou lepidlem na bázi melaminové pryskyřice dle EN 301 a polyuretanovým lepidlem dle EN 15425.



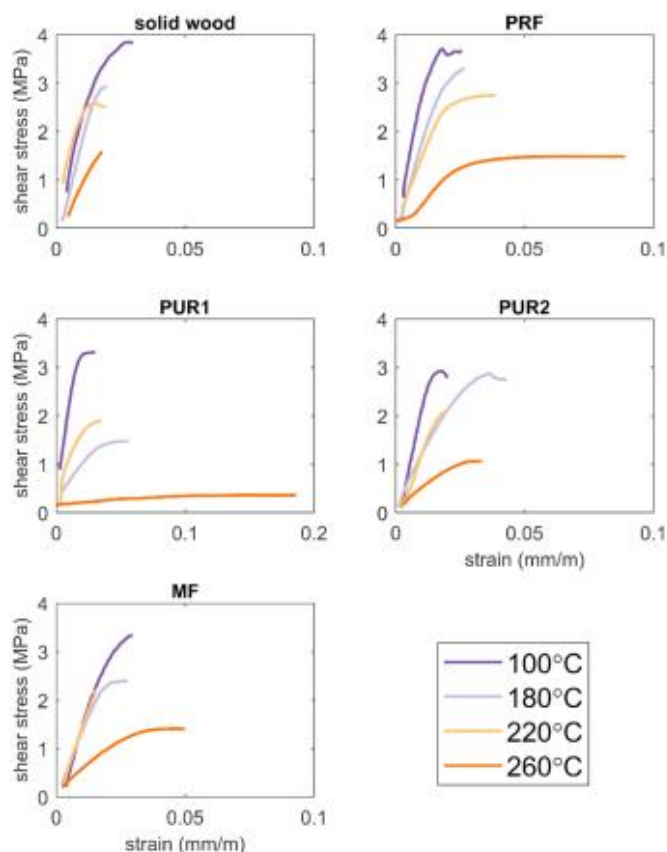
(A) (B)  
Obr. 1 (A) Reprezentativní vzorek; (B) Reprezentativní vzorek  
Fig. 1 (A) Test sample; (B) Test sample

Reprezentativní vzorky na obr. 1 mají rozměry 210 mm × 297 mm × 84 mm. Vzorky budou vystaveny teplotnímu zatížení. Následně budou mechanickou zkouškou zhodnoceny změny ve struktuře lepidla.

V navazující diplomové práci poté porovnáím výsledky získané experimentální analýzou. Součástí práce bude i numerický model v programu ANSYS Workbench, pro který byla shromážděna vstupní data poskytnutých vzorků za běžné teploty.

## ZÁVĚR

Předpokládá se, že výsledné hodnoty pro různé druhy lepidel pro dřevěné konstrukce se budou v mnoha ohledech lišit. Polyuretanová lepidla vykazují vyšší ztrátu pevnosti při zvýšených teplotách oproti lepidlům na bázi melaminu či formaldehydu. Jedním z dalších problémů je proces delaminace. Delaminace vystavuje požáru dva předehřáté povrchy a delaminace může vést až k druhému vzplanutí. Obecně vykazují lepidla na bázi melaminu a formaldehydu lepší materiálové vlastnosti za zvýšených teplot než populární polyuretanová lepidla. Na obr. 2 můžeme vidět pokles smykové pevnosti v závislosti na rostoucí teplotě. Polyuretanová lepidla v dřevěných spojích mohou vykazovat pokles pevnosti již při 70 °C. [4]



Obr. 2 Křivky deformace ve smyku pro různé typy lepidel [3]  
 Fig. 2 Shear deformation curves for different types of adhesives [3]

## LITERATURA

- [1] MICHAEL KLIPPEL, JOACHIM SCHMID, RETO FAHRNI, a ANDREA FRANGI. Assessing the adhesive performance in CLT exposed to fire. In: *World Conference on Timber Engineering (WCTE 2018)*. 2018.
- [2] WIESNER, Felix, Daniel THOMSON a Luke BISBY. The effect of adhesive type and ply number on the compressive strength retention of CLT at elevated temperatures. *Construction and Building Materials* [online]. 2021, **266**, 121156. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.121156
- [3] ZELINKA, Samuel L., Ken SULLIVAN, Shiling PEI, Noah OTTUM, Nathan J. BECHLE, Douglas R. RAMMER a Laura E. HASBURGH. Small scale tests on the performance of adhesives used in cross laminated timber (CLT) at elevated temperatures. *International Journal of Adhesion and Adhesives* [online]. 2019, **95**, 102436. ISSN 01437496. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijadhadh.2019.102436
- [4] LIU, Jian, Kong YUE, Liqin XU, Jinhao WU, Zhangjing CHEN, Lu WANG, Weiqing LIU a Weidong LU. Bonding performance of melamine-urea-formaldehyde and phenol-resorcinol-formaldehyde adhesive glulams at elevated temperatures. *International Journal of Adhesion and Adhesives* [online]. 2020, **98**, 102500. ISSN 01437496. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijadhadh.2019.102500



## ZUHELNATĚLÁ VRSTVA DŘEVĚNÝCH MASIVNÍCH PRVKŮ POMOCÍ PRAVDĚPODOBNOSTNÍCH POSTUPŮ

### CHARRED LAYER OF MASSIVE TIMBER MEMBERS USING PROBABILISTIC APPROACHES

**Bc. Dominik Štraus**

#### **Abstract**

*The paper is focused on the determination of char depth of timber members using probabilistic approaches. The char layer has good insulating properties, prevents the heat transfer to non-pyrolised timber members, and contributes directly to the fire resistance of the timber members. The first part of the article summarizes the methods for determining the char layer, in more detail the concept of probabilistic approaches. The second part of the paper describes and analyzes the experiment made in Room Corner Test, where three timber columns exposed to temperatures up to 850 °C were investigated. In conclusion, the paper presents the development of the charr layer of the timber column in comparison with the model.*

**Key words:** wood; char layer; probalistic aproaches; fire; Room Corner Test

#### **ÚVOD**

Pro možné stanovení vývoje zuhelnatělé vrstvy je možné využít mnoho výpočetních postupů, a to od zjednodušených s lineárním průběhem, nelineární nebo se zohledněním pravděpodobnostních rozsahů vlastností dřeva [1], nejčastěji využívající vystavení normovému požáru. Ve zjednodušených přístupech nelze zohlednit znovu rozhoření dřeva od žhnutí dřeva, změnu procenta kyslíku ve vzduchu nebo vlhkost dřeva. V praxi se nejčastěji využívá lineární postup. Je to zjednodušený způsob a nelze tyto způsoby využívat při zohlednění více neznámých při výpočtu. Pro výpočet hloubky zuhelnatění dřeva zohledňující jeho heterogenní vlastnosti podrobnějším postupem je potřebný pravděpodobnostní přístup [2]. Jelikož je hloubka zuhelnatění nejdůležitějším parametrem pro výpočet požární odolnosti prvku, tak její zpřesnění umožní přesnější předpověď hloubky zuhelnatění dřeva vystaveného přirozenému požáru a tím i přesnější požární odolnost prvku. Cílem tohoto článku je analyzovat způsoby výpočtu zuhelnatění dřeva, navrhnout výpočetní postup založený na pravděpodobnostním přístupu a následné porovnání s požárními experimenty.

#### **STANOVENÍ HLOUBKY ZUHELNATĚNÍ**

Pro výpočet hloubky zuhelnatění existuje mnoho metod, lze ji stanovit z rychlosti zuhelnatění, pomocí výpočetních modelů a rovnice nebo pomocí izotermy 300 [1]. Nejrozšířenější metodou je určení hloubky zuhelnatění pomocí lineárního postupu definovaného v normě EN 1995-1-2 [3]. V této normě jsou definované konstantní rychlosti zuhelnatění pro různé typy dřeva, které jsou vystaveny normovému požáru. Lze také postupovat dle Přílohy A [3], kdy je navržen výpočet pomocí parametrických křivek, u které lze zohlednit další parametry požáru. Mezi zjednodušené modely lze zařadit i výpočet při vystavení křivce ASTM E 119, která se používá v USA, ale výpočet je založen na stejném principu, jako vzorec evropský. Výpočet se liší v definovaných hodnotách rychlosti zuhelnatění. Pro některé typy dřevin si lze vypočítat rychlost zuhelnatění s ohledem na vlhkost a hustotu daného dřeva [1].

Pro stanovení hloubky zuhelnatění pomocí pokročilých metod se nejčastěji využívá hranice definovaná izotermou. Využívá se izoterma 300 °C, která je doporučena v ČSN EN 1995-1-2 [3], ale lze se setkat i s izotermou 288 °C. Rozložení teplot po průřezu je možné určit z obecné rovnice definované Buchanan a kol. [4], pomocí které můžeme definovat teploty v jednotlivých vrstvách zkoumaného průřezu. Další možností, jak určit rozložení teplot, je pomocí pokročilých modelů, kdy je

potřebné podrobně definovat tepelné vlastnosti dřeva pro správné zohlednění okrajových podmínek a pro přesnější výpočet.

Pečenko a kol. [2] vyvíjí model PYCIF, který je řazen mezi pokročilé modely a je založen na pravděpodobnostním přístupu. Tento model vychází z experimentálních dat pro přirozené požáry. PYCIF je založen na detailním popisu fyzikálních jevů při hoření dřeva a vychází především z pyrolýzy dřeva, pomocí kterých je následně možné zpřesnit hloubku zuhelnatění dřeva. Další pokročilou metodou, jak určit rychlost zuhelnatění, je pomocí výpočtů dle Hietaniemi [5] a Mikkola [6], které také zohledňují tepelný tok, či koncentraci kyslíku.

## PRAVDĚPODOBNOSTNÍ PŘÍSTUP PRO RYCHLOSTI ZUHELNATĚNÍ

Hietaniemi [5] a Mikkola [6] definovali rovnice pro rychlost zuhelnatění, kterými lze zohlednit rozdílný tepelný tok, koncentraci kyslíku nebo také vlhkost pomocí pravděpodobnostních rozdělání. Lze tedy využít pravděpodobnostní přístup pro zohlednění heterogenních vlastností dřeva v závislosti na čase a teplotě. Výpočet definovaný dle [5] lze využít na veškeré průběhy požáru a nejsou omezené pouze na normový průběh požáru. Rovnice dle [5]:

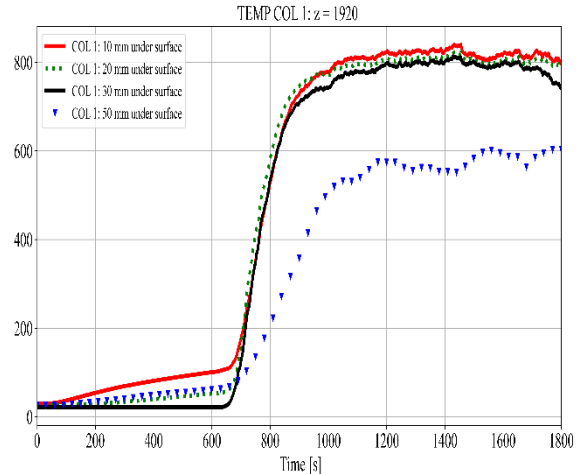
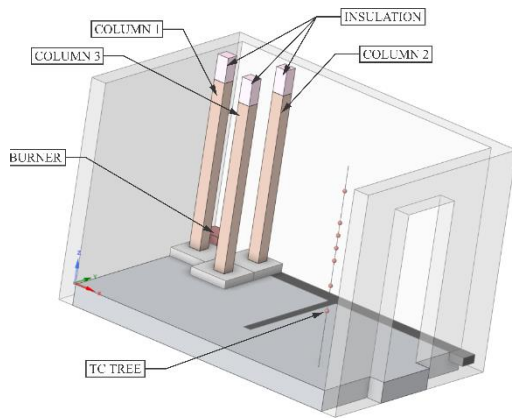
$$\beta = f(\chi_{O_2}, t) \cdot \frac{C \cdot \dot{q}_e^n(t)^p}{(\rho + \rho_0)(A + B \cdot \omega)} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1)$$

kde:

$\beta$	je	rychlost zuhelnatění [mm·min <sup>-1</sup> ],
$f(\chi_{O_2}, t)$		funkce charakterizující závislost rychlosti zuhelnatění dřeva na koncentraci kyslíku [-],
$C$		koeficient pro pravděpodobnostní přístup v rozmezí dle [5] [kW·m <sup>-2</sup> ],
$\dot{q}_e^n(t)^p$		tepelný tok dřevem funkcí času [kW·m <sup>-2</sup> ],
$\rho$		hustota dřeva [kg·m <sup>-3</sup> ],
$\rho_0$		hustota suchého dřeva v rozmezí dle [5] [kg·m <sup>-3</sup> ],
$A$		koeficient pro pravděpodobnostní přístup v rozmezí dle [5] [kJ·kg <sup>-1</sup> ],
$B$		koeficient pro pravděpodobnostní přístup v rozmezí dle [5] [kJ·kg <sup>-1</sup> ],
$\omega$		vlhkost dřeva [%],
$t$		čas [min],
$\tau$		časová konstanta v rozmezí dle [5] [min].

## POŽÁRNÍ EXPERIMENT

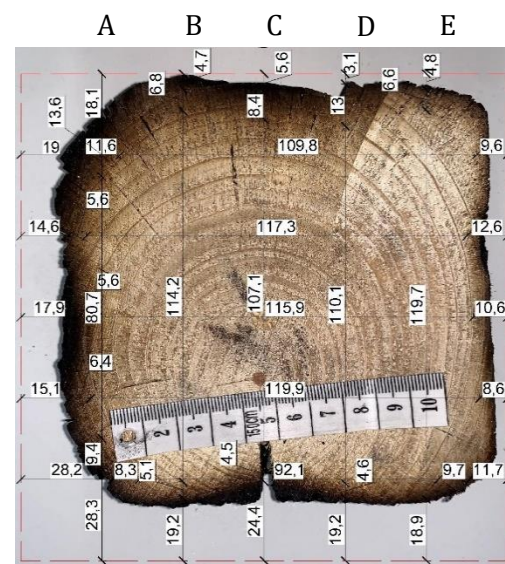
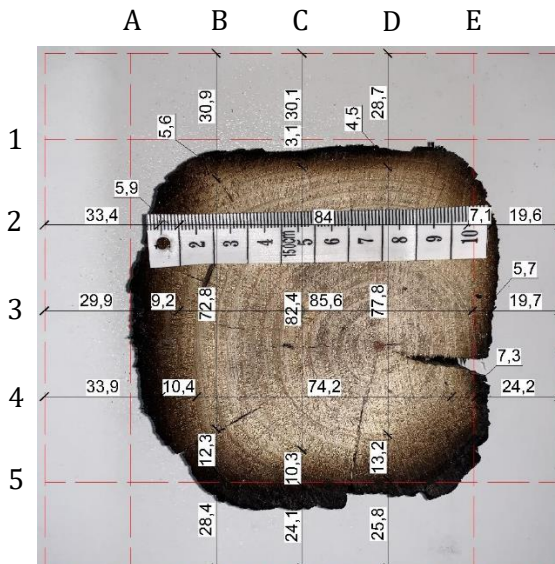
Byl proveden experiment reálného měřítka dřevěných masivních prvků vystavených přirozenému požáru. Zkouška byla provedena v Room Corner Testu, kdy byl výkon hořáku v prvních 10 minutách nastaven na 100 kW a zbylých 20 minut na 300 kW. Na obrázku 1A je zobrazeno rozmístění vzorků ve zkušebním zařízení. Jedná se o tři sloupy, které mezi sebou při požáru působí. Na obrázku 1B jsou zobrazené teploty ve výšce 1920 mm sloupu 1, který byl nejbližší hořáku. Termočlánky byly umístěné v hloubkách 10, 20, 30 a 50 mm pod povrchem prvku.



(A)

(B)

Obr. 1 (A) Umístění vzorků v RCT; (B) Průběh teplot ve výšce 1920 mm sloupu 1  
Fig. 1 (A) Location of elements in RCT; (B) Temperatures at 1920 mm height of column 1



(A)

(B)

Obr. 2 (A) Fotografie měřeného řezu ve výšce 1920 mm

(B) Fotografie měřeného řezu ve výšce 1250 mm

Fig. 2 (A) Photo of measured section at 1920 mm height

(B) Photo of measured section at 1250 mm height

Výstupem z experimentu bylo změření skutečných hloubek zuhelnatění. Vyhodnocení proběhlo pomocí fotodokumentace jednotlivých řezů vzorků po experimentu. Řezy průřezů sloupu C1 byly provedeny po 50 mm. Naměřené hodnoty viz. obrázek 2.

Z měřených řezů je evidentní, že nelze normový postup používat pro celý průřez prvku. Při porovnání různých řezů jsem došel k závěru, že rychlost zuhelnatění není konstantní a závisí na parametrech požáru. Hloubka zuhelnatění dle normového postupu při vystavení požáru po dobu 30 minut je 24 mm při zahrnutí vlivu vedení v rozích. Na obrázku 2A se pohybuje hloubka zuhelnatění v rozmezí 33,9 – 19,7 mm pro případ přirozeného požáru a navíc sloupu, který je ovlivněn sáláním ze sloupů okolních. Na obrázku 2B je také rozdíl oproti normovému výpočtu, jelikož se hloubka zuhelnatění pohybuje v rozmezí 28,3 – 3,1 mm.

## ZÁVĚR

Cílem tohoto článku je porovnání normového postupu s provedeným experimentem a představení pravděpodobnostního přístupu, který bude dále používán pro přesnější výpočet hloubky zuhelnatění. Výsledná data se od normových postupů liší. Je zřejmé, že hloubka zuhelnatění není lineární a záleží na mnoha faktorech, které hloubku zuhelnatění ovlivňují. Z experimentálních výsledků je čitelné, že záleží na umístění prvku, výkonu hořáku, orientaci prvku vzhledem k hořáku, tepelném toku od okolních prvků. Výsledná hloubka zuhelnatění je také ovlivněna trhlinami a podobnými vadami průřezu prvku.

Je zřejmé, že normový postup pro stanovení hloubky zuhelnatění není vyhovující, a proto pomocí získaných dat a pravděpodobnostních postupů bude v seminární práci a následné diplomové práci vytvořen model pomocí programovacího jazyka python. Výsledky z modelu budou porovnány s normovým přístupem a zejména s výsledky experimentu.

## PODĚKOVÁNÍ

Práce byla připravena s podporou Grantové agentury České republiky projektu NO. 21-30949K "Charring of timber under fully developed natural fire – stochastic modelling".

## LITERATURA

- [1] FOREST PRODUCTS LABORATORY, ed. *Wood handbook: wood as an engineering material*. Centennial ed. Madison, Wis: Forest Products Laboratory, U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, 2010. General technical report / United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 190. ISBN 978-1-4848-5970-4.
- [2] PEČENKO, Robert, Tomáš HOZJAN a Sabina HUČ. Modelling charring of timber exposed to natural fire. *Journal of Wood Science* [online]. 2023, **69**(1), 19. ISSN 1611-4663. Dostupné z: doi:10.1186/s10086-023-02091-4
- [3] ČSN EN 1995-1-2. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru. Ed.1+01*. B.m.: Český normalizační institut. 2010
- [4] BUCHANAN, Andrew H. a Anthony K. ABU. *Structural Design for Fire Safety* [online]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2016 [vid. 2023-05-16]. ISBN 978-1-118-70040-2. Dostupné z: doi:10.1002/9781118700402
- [5] HIETANIEMI, Jukka, Tomi TORATTI, Simon SCHNABL a Goran TURK. *Application of reliability analysis and fire simulation to probabilistic assessment of fire endurance of wooden structures: Espoo 2006*. S.l.: VTT Working Papers, 2006. ISBN 978-951-38-6606-8.
- [6] MIKKOLA, E. Charring Of Wood Based Materials. *Fire Safety Science* [online]. 1991, **3**, 547–556. ISSN 18174299. Dostupné z: doi:10.3801/IAFSS.FSS.3-547



## VÝVOJ TRHLINY V ZUHELNATĚLÉ VRSTVĚ DESKOVÝCH MATERIÁLŮ ZE DŘEVA PŘI TERMOMECHANICKÉM NAMÁHÁNÍ – PRAVDĚPODOBNOSTNÍ PŘÍSTUP

### DEVELOPMENT OF CRACKS IN THE CHARRED LAYER OF TIMBER BOARD MATERIALS UNDER THERMOMECHANICAL STRESS SOLVED – PROBABILISTIC APPROACH

**Bc. Kristýna Průšová**

#### **Abstract**

*The scope of this article is to summarize the issues of the initiation and development of cracks in the char layer of timber cladding and possible consideration in heat transfer calculations to the structure. The char layer, due to its insulating properties, provides a barrier to heat transfer to the remaining wood and acts as a non-combustible layer of wood. When a crack occurs, the charring layer is disturbed. This results in a more rapid heat transfer to the timber element. Predicting the location and dimensions of the crack would allow the development of the charring layer to be designed more accurately and the development of cracks in the char layer to be taken into account for heat transfer by more advanced methods.*

**Key words:** crack; char layer; heat transfer; timber; probability; modulus of elasticity

#### **ÚVOD**

Dřevo je obnovitelný materiál, jehož uhlíková stopa oproti jiným materiálům je poměrně malá, i proto v posledních letech zaznamenalo růst ve stavebnictví. Jedná se o obnovitelnou surovinu, která vykazuje dobré vlastnosti z hlediska pevnosti pro konstrukční materiál.

Vlastnosti dřeva závisí na makroskopické struktuře dřeva a na okolní teplotě. Tyto změny se projevují v materiálových modelech dřeva [1],[2]. Především mechanické vlastnosti se liší v různých směrech, tj. rovnoběžně a kolmo k vláknům. Rovněž platí, že pevnost se snižuje s délkou trvání zatížení [3] a také se stářím dřeva a okolními podmínkami [4].

Rostoucí teploty ovlivňují vlastnosti dřeva. První změnu dřevo zaznamenává při cca 100 °C, kdy dochází k odpařování vlhkosti dřevě [3]. Při 300 °C dochází k homogenizaci buněk a dochází tak ke změně struktury vzorku, především k narušení buněčné stěny a vzniku trhlin. Při úplném spálení dřevěné tkáně vymizí struktura a morfologické rysy dřeva [7]. Pro výpočty je třeba komplexní redukce hodnot pevnosti a modulu pružnosti pomocí součinitelů vztažených k teplotě.

#### **TRHLINY V ZUHELNATĚLÉ VRSTVĚ**

Trhliny mají negativní vliv na vlastnosti dřeva, rozrušují jeho strukturu. Mohou vznikat během růstu stromu, účinkem mrazu a změn teplot, při zpracování nebo při hoření. Trhliny vznikají v zuhelnatělé vrstvě všechny v jeden okamžik, působením teplota dochází pouze k jejich dalšímu rozvoji [5]. Ve vodorovném směru vznikají menší než ve vertikálním. Trhliny mají výrazný vliv na šíření tepla dále do vzorku. Usnadňují únik těkavých látek, které po smíchání s okolním kyslíkem přispívají k hoření. Dále vytváří prostor pro průnik pyrolýzy do vzorku dřeva [6].

S růstem počtu trhlin klesá povrchové napětí, to vede k prohlubování trhlin a přenosu tepla hlouběji do prvku. Zároveň již bylo několikrát potvrzeno, že se počet trhlin zvyšuje se rostoucím tepelným tokem s snižuje s rostoucím okolním tlakem [5].

#### **Výpočet trhlin ve dřevě**

Ve výpočtech bylo vycházeno z poznatků Baroudi [7], který se problematikou trhlin dlouhodobě zabývá. Na základě svých výzkumů stanovil rovnice pro výpočet vývoje trhlin v dřevěném obkladu

o maximální tloušťce 45 mm při zohlednění rychlosti vývoje zuhelnatělé vrstvy doplněnou o rozdílnou tepelnou roztažnost pomocí studené a horké vrstvy. Rovnici pro výpočet vzniku trhlin v dřevěném obkladu, kdy obklad je namáhán pouze požárem a ohybovým momentem, není vystaven kroucení, je uveden v rovnici (1) [7].

$$n_i = \frac{\sqrt[4]{12}}{\pi} \cdot \frac{l_i}{n} \cdot \sqrt[4]{\frac{E_R(T_0)}{E_i(T^*)}} \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{\omega} \cdot \frac{h}{1m}} \quad (1)$$

kde

$h$	je	tloušťka vzorku
$h_c$		tloušťka tenké horké vrstvy
$E_R$		Youngův modul pružnosti v radiálním směru
$E_T$		Youngův modul pružnosti v tangenciálním směru
$E_L$		Youngův modul pružnosti v podélném směru
$T^*$		teplota horké tenké vrstvy
$T_0$		teplota studené vrstvy
$l_i$		délka vzorku

Pro výpočet pravděpodobnostního přístupu vývoje zuhelnatělé vrstvy byl zvolen programovací jazyk Python dle rovnice (1). Možnost výpočtu heterogenních vlastností dřeva pomocí velkého množství vstupních dat v podobě rozmezí modelů pružnosti a provedení výpočtu v nespočtu možných kombinacích bylo zajištěno zohlednění všech možných variant. Výsledkem byl výpočet rozmezí vzdáleností jednotlivých trhlin.

Bylo provedeno 1000 výpočtů s různou kombinací v stupních hodnot s výpočetním časem 1,83 s. Pro každý sledovaný čas byla vypočtena směrodatná odchylka a střední hodnota pro zisk rozmezí vzniku trhlin. Hodnoty pro časy 5, 10, 15 min jsou shrnuty v následující tabulce, Tab. 1.

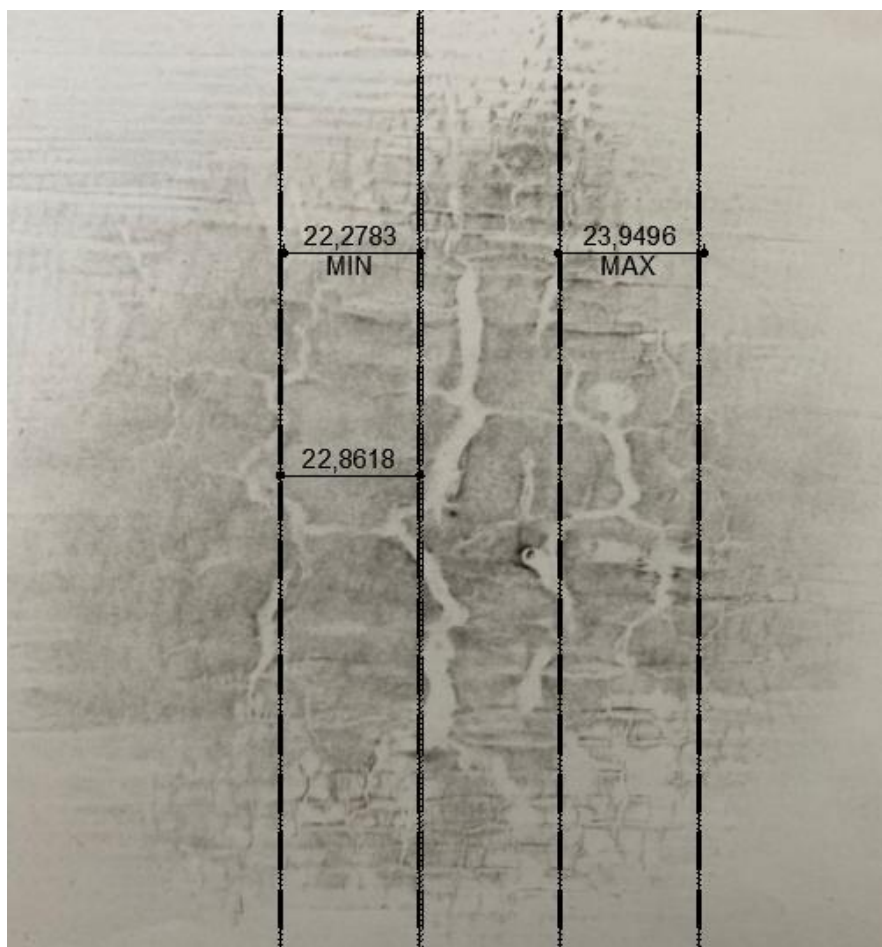
Tab. 1 Vzdálenosti trhlin, směrodatná odchylka, střední hodnota, min, max pro  $t = 5$  min  
Tab. 1 Crack distance, standard deviation, mean value, min, max for  $t = 5$  min

Čas [min]	Trhlina [mm]							
	1	2	3	4	5	6	...	1000
5	23,3833	22,7753	23,3498	23,3498	23,0071	22,5484	...	19,5029
10	13,6230	13,8719	13,2812	13,4777	13,2827	13,4073	..	13,4709
15	9,8211	10,0509	10,2345	9,7987	9,9437	10,2402	...	9,9387
5	Střední hodnota [mm]	22,8618	Směrodatná odchylka [mm]	0,3260	Min [mm]	22,2783	Max [mm]	23,4225
10	Střední hodnota [mm]	13,6054	Směrodatná odchylka [mm]	0,1975	Min [mm]	13,2467	Max [mm]	13,9271
15	Střední hodnota [mm]	10,0379	Směrodatná odchylka [mm]	0,1457	Min [mm]	9,7733	Max [mm]	10,2752

## POŽÁRNÍ EXPERIMENT

Byl proveden experiment malého měřítka pro prvotní verifikaci simulací. Jednalo se o vystavení třech desek ze dřeva plamenu po dobu 5, 10, 15 min. Následně byly prvky schlazeny pro zamezení dalšího rozvoje zuhelnatělé vrstvy. Vzniklé trhliny byly změřeny pomocí posuvného digitálního měřítka a digitálním mikroskopem. Na všech vzorcích jsou patrné trhliny s přehledným rastrem. Následně byly vypočtené hodnoty a jejich vzdálenosti porovnány se skutečnými trhlínami ve zkoušených vzorcích.

Z porovnání na Obr.1 je patrné, že trhliny vytvořené při experimentu i vypočítané pravděpodobnostním přístupem vykazují určitou podobnost.



*Obr. 1 Obtisk s vypočteným rastrem pro  $t = 5$  min*  
*Fig. 1 Imprint of cracks with calculated pattern for  $t = 5$  min*

## ZÁVĚR

Cílem toho to článku bylo představit výsledky experimentu malého rozměru, který byl uskutečněn z důvodu ověření dříve odvozeného vzorce dle Baroudiho předpovídat vzdálenosti trhlin vznikajících při hořené dřeva a následně použití pravděpodobnostních přístupů pro zohlednění různých vlastností dřevěného obkladu.

Je zřejmé, že trhlin vznikají v určitém rastru. Jednotlivé vzdálenosti lze s určitou mírou nepřesnosti předpovídat díky výše zmíněnému vzorci. Odchytky mezi vypočtenými hodnotami a skutečnými trhlinami na vzorcích mohou být z důvodu vnitřních vad ve dřevě, např. suky, vnitřní trhliny nebo hmyz atd.

V navazující diplomové práci proběhne zkouška většího rozměru, kde budou opět sledovány trhliny a jejich vzdálenosti. Dojde k ověření funkčnosti vzorců, přičemž dojde k rozšíření vstupních parametrů na různé druhy dřeva, rozšíření zatížení z bodového na celoplošné, tyto změny povedou k zpřesnění výpočtu. Dále při potvrzení domněnek o možnosti předvídatelnosti míst vzniku trhlin by bylo možné na základě podrobnějšího zkoumání zanést tyto výpočty do praxe stavebního dřeva, tj. do výpočtů a posuzování nejen nosných konstrukcí ze dřeva. V současné době se jedná o velmi konzervativní přístupy.

## PODĚKOVÁNÍ

Práce byla připravena s podporou Grantové agentury České republiky projektu NO. 21-30949K "Charring of timber under fully developed natural fire – stochastic modelling".

## LITERATURA

- [1] *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. 1. Madison, Wisconsin: Forest Products Laboratory, 2002.
- [2] ŠEJNA, Jakub a Lukáš BLESÁK. *Požární odolnost dřevěných konstrukcí*. 1. vydání. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2022. ISBN 978-80-01-07012-3.
- [3] BUCHANAN, Andrew Hamilton. *Structural design for fire safety*. 2. Chichester: John Wiley & Sons, 2001. ISBN 0-471-89060-X.
- [4] TABADDO, Mahmood. *Thermal and Mechanical Finite Element Modeling of WoodFloor Assemblies Subjected to Furnace Exposure as a part of the Investigation into the Structural Stability of Engineered Lumber in Fire Conditions* [online]. In: . 1. USA: Underwriters Laboratories, 2008, ročník 2008, číslo 1 [cit. 2023-03-27]. RESEARCH REPORT. Underwriters Laboratories.
- [5] LI, Kaiyuan, Mahmoud MOUSAVI a Simo HOSTIKKA. Char cracking of medium density fibreboard due to thermal shock effect induced pyrolysis shrinkage. *Fire Safety Journal* [online]. 2017, 91, 165-173 [cit. 2023-03-20]. ISSN 03797112. Dostupné z: doi:10.1016/j.firesaf.2017.04.027
- [6] HARPER, Charles A. *Handbook of building materials for fire protection*. New York: McGraw-Hill, 2004. ISBN 0-07-138891-5.
- [7] BAROUDI, Djebar, Andrea FERRANTELLI, Kai LI a Simo HOSTIKKA. A thermomechanical explanation for the topology of crack patterns observed on the surface of charred wood and particle fibreboard. *Combustion and Flame* [online]. 2017, 182, 206-215 [cit. 2023-03-08]. ISSN 00102180. Dostupné z: doi:10.1016/j.combustflame.2017.04.017

## CHOVÁNÍ SKLA V KONSTRUKCI ZA POŽÁRU

### BEHAVIOR OF GLASS IN A STRUCTURE UNDER FIRE

**Bc. Radek Demjan**

#### **Abstract**

*This publication deals with the behavior of a glass structure exposed to fire from one side. Specifically, the heat transfer through the structure is recorded, measured and modeled. This is a practical test of several samples and subsequent modeling in software with a change of input parameters and observation of the results.*

**Key words:** *fire resistance of glass; material changes; glass and fire; thermo-mechanical analysis; thermal exposure*

#### **ÚVOD**

Hlavní motivací k řešení tématu sklo za požáru je rozhodně stále častější využití skleněných konstrukcí, které slouží jako architektonický prvek a zároveň požárně dělicí konstrukce. Důležitým prvkem je rozhodně bezpečnost unikajících osob v případě požáru přes nebo v blízkosti skleněné požárně dělicí konstrukce. S přibývajícimi výrobky na trhu je potřeba řádně prvky odzkoušet před použitím v objektu, k čemuž ne vždy dochází. Toto zanedbání může mít za následek ohrožení přítomných osob a dále rozšíření požáru na ostatní požární úseky příliš rychle. Je velmi důležité znát vlastnosti konkrétního materiálu [1], který je použit jako dělicí prvek, aby bylo možné v blízkosti materiálu vyloučit riziko nejen pro osoby.

#### **OBECNĚ – DRUHY POŽÁRNĚ DĚLÍCÍCH KONSTRUKCÍ**

Požárně dělicí konstrukce (dále jen PDK) je právě taková, která dokáže po stanovenou dobu zadržet negativní účinky požáru a nedovoluje rozšíření do dalších požárních úseků. Dle normy [ČSN730802] lze PDK rozdělit podle materiálového řešení na druh konstrukce DP1, DP2, DP3. Specifikace jednotlivých konstrukcí:

- Konstrukce typu DP1-( železobeton, **sklo** [2],...)
- Konstrukce typu DP2 (sendvičové kce s hoř.izolací a nehoř.prvkem)
- Konstrukce typu DP3 (dřevěné kce)

Pro klasifikaci DP1, kam spadá zmíněné sklo [3], platí, že prvek je tvořen pouze nehořlavými materiály a proto nepřispívá k rozvoji požáru. Z tohoto důvodu lze lépe pozorovat vlastnosti skla [3], jako je přestup a vedení tepla samotnou tloušťkou materiálu. Součástí této práce je možnost provést víceprvkovou analýzu a postupně měnit některé vstupní parametry experimentu v digitálním i experimentálním prostředí a porovnávat změny, způsobené jednotlivými parametry. Mezi základní parametry, které ovlivní analýzu, patří:

- Průběh teploty
- Čas zatěžování
- Prostupovaný rozměr
- Materiálové složení

#### **POPIS ŘEŠENÉ KONSTRUKCE**

Zaměření celé práce se týká prostupu tepla konstrukcí, konkrétně svíslé nenosné PDK, skleněné tabule ve složení dvojsklo + zpěňující gelové vrstvy mezi skly osazené do hliníkového rámu s roz-

měry 2300 mm × 3300 mm, viz obr 1. Tento vzorek je z jedné strany vystaven požáru definovaného normovou teplotní křivkou. Doba měření je 30 a 60 min. Sledovaným parametrem je teplota působící na konstrukci v určitém čase a porovnání s naměřenou teplotou, viz obr. 2, na neohřívané straně pomocí termočlánků usazených dle zkušební normy ČSN 1634-1+A1. Tyto změny jsou zaznamenány a později porovnány. Výsledný průstup tepla se mění v závislosti na čase.



Obr. 1 Přední pohled za řešenou konstrukci [5]  
Fig. 1 Front view of the solved construction [5]

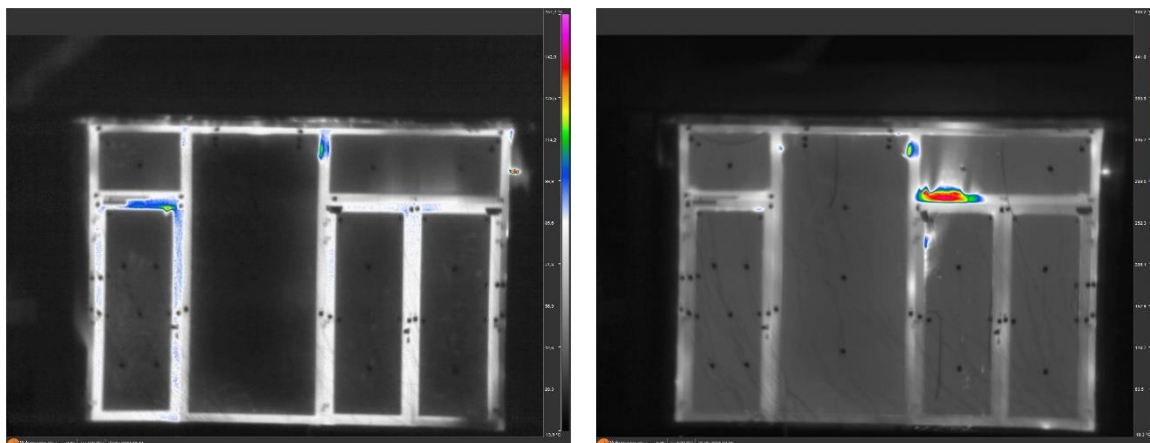
## REVIZE SOUČASNÉHO STAVU

Při zahájení zkoušky je teplota po dobu 5 min ustálena na 20 stupňů na obou stranách konstrukce, tudíž prvotní předpoklad uvádí, že tepelný průstup je roven 0 pak dochází k zapálení hořáků v peci a průběh teploty je přizpůsobován k normové teplotní křivce. Lze tedy změřit i matematicky odvodit konkrétní teplotu v určitém čase dle vzorce (1):

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

kde  $T$  průměrná teplota v peci [°C],  
 $t$  doba od začátku zkoušky [min].

Při dosažení času prasknutí vnitřní tabule je přestup tepla zpomalen, jelikož prochází k odstranění lépe tepelně vodivé vrstvy, nahrazené zpěňujícím gelem s proměnnými vlastnostmi, viz obr. 3.

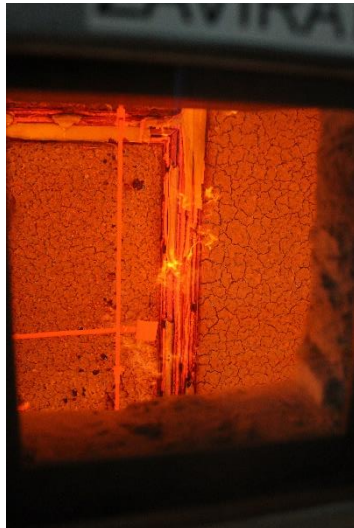


Obr. 2 Pohled termokamerou [5]  
Fig. 2 Thermal camera view [5]

V pokročilejší fázi modelace je jeden z cílů se v rámci určité tolerance přiblížit výsledky k provedenému experimentu, a tak alespoň částečně numericky popsat vrstvy konstrukce samostatně a také jako spolupůsobící celek. Snahou je lépe pochopit chování skla při požáru a jak jsou ovlivněny jeho tepelné vlastnosti. Při experimentu je kromě měření bodové teploty termočlánkem spuštěna plošná termoanalýza [4], viz obr. 2

## NUMERICKÁ MODELACE

Jelikož samostatné experimenty jsou náročné na provádění a změnu parametrů, přistupuji proto k modelaci v numerickém programu ANSYS. Pro zjednodušení i rychlost výpočtu byla nyní zvolena analýza 2D konstrukce, kde jsou určeny jednotlivé vlastnosti zkoušených materiálů, které byly získány z provedených experimentů. Je předpoklad, že validní software analýza má odchylku z nejrůznějších příčin, avšak získané výstupy po vložení ověřených vstupních dat se mohou lišit odchylkou max 20 %, aby bylo možno přihlížet k výsledkům a dále zdokonalovat. Do této hranice se mi bohužel zatím nepodařilo spolehlivě dostat. Je nutné v rámci DP zpřesnit uvažovaný model o časové změny podmínek během výpočtu např: odstranění prasklé vrstvy skla, měnící se rozměr z důvodu expanze gelu. Tato problematika je rozsáhlejší než u standartního homogenního materiálu, jelikož se jedná o spolupůsobící konstrukci.



*Obr. 3 zásadní materiálová změna při požáru [5]  
Fig. 3 fundamental material change in fire [5]*

Celý příklad je modelován pomocí čar (LINE) s přiřazenými okrajovými podmínkami. Dále samotná plocha je rozdělena (MATCH) na síť pravoúhelníků se zhuštěnými body okolo pozic termočlánků, toto zhuštění slouží pro přesnější rozdělení průběhu teplot v daném místě. Celé zatěžování vzorku probíhá vloženou operací v textovém dokumentu (MACRO). Zde je vložena zatěžovací křivka i další příkazy. Upravované parametry budou vkládány do dokumentu a aplikovány výpočtem.

## ZÁVĚR

Cílem analýzy je zmapování problematiky, vytvoření validní numerické simulace a dále získání konkrétních výstupů, které dokáží rozlišit změnu daného parametru a jeho závislost na tepelných vlastnostech skla.

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval Ing. Zdeňku Sokolovi, Ph.D a prof. Eliášové za zadané téma a uvedení do problematiky, která mně nebyla během studia známá. A dále externím subjektům, se kterými se podílím na experimentální části práce.

## LITERATURA

- [1] M. Debuyser, J. Sjoström, D. Lange, D. Hons, D. Sonck, and J. Belis, "Behaviour of monolithic and laminated glass exposed to radiant heating," *Construction and Building Materials*, vol. 130, pp. 212–229, 2017.
- [2] Kupilík, V.: Čirá protipožární skla pro stavební účely, *Tepelná ochrana budov*, ISSN1213-0907,32,2000,č.4,str.7-12
- [3] „Všeobecné informace o sklu Promat®-SYSTEMGLAS a sklu PROMAGLAS®“ a dále „Důležité technické informace o konstrukcích“.
- [4] K.Machalická, M. Charvátová, M. Eliášová, P. Kuklík Czech Technical University in Prague, Czech Republic *The Behaviour of Fire Resistant Glass under Fire*
- [5] PLZ AFIRE, zkušební zařízení v souladu s EN 1363-1:2020 a EN 1363-2:2000, provedený experiment



## SYSTÉMY PRO ZESILOVÁNÍ BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ SE ZVÝŠENOU POŽÁRNÍ ODOLNOSTÍ

### REINFORCEMENT SYSTEMS FOR CONCRETE STRUCTURES WITH INCREASED FIRE RESISTANCE

**Bc. Pavel Hejduk**

#### **Abstract**

*This article focuses on the importance of carbon fiber reinforced polymer (CFRP) laminates in systems for strengthening concrete structures with improved fire resistance. The properties of these laminates, including their high strength and stiffness, are discussed. Various methods of applying the laminates for structural reinforcement and their benefits, such as increased load-bearing capacity and improved stability, are presented. The article also addresses methods of protecting the laminates from fire, including the use of fireproof cladding and alternative approaches such as thermal insulation layers. Test results and experiments demonstrate that properly designed and applied protection systems can significantly enhance the fire resistance of structures. Overall, carbon fiber laminates represent a modern and effective technology for strengthening and enhancing the durability of concrete structures. In conclusion, the article mentions preparations for a project focused on testing a beam reinforced with carbon fiber laminates.*

**Key words:** Slat; beam reinforcement; carbon slat; fire resistance.

#### **ÚVOD**

Systémy pro zesilování betonových konstrukcí se zvýšenou požární odolností hrají klíčovou roli při ochraně a prodloužení životnosti staveb. Jedním z významných prvků v těchto systémech jsou lamely z uhlíkových vláken (carbon fiber reinforced polymer - CFRP). Tyto lamely mají vynikající pevnost a tuhost, což umožňuje jejich efektivní využití při zesilování betonových konstrukcí. V tomto článku se zaměříme na význam lamel v systémech pro zesilování betonových konstrukcí se zvýšenou požární odolností

#### **VLASTNOSTI LAMEL**

Lamely používané pro zesilování betonových konstrukcí jsou vyrobeny z různých materiálů, jako jsou uhlíková vlákna (carbon fibers), aramidová vlákna nebo skleněná vlákna. Tyto materiály jsou známé pro svou vysokou pevnost a tuhost. V kombinaci s polymerovou maticí poskytují lamely vynikající mechanické vlastnosti, které přispívají k posílení betonových prvků. Například studie provedená Smithem a kolektivem [1] ukázala, že lamely z uhlíkových vláken poskytují výrazně vyšší pevnost a tuhost ve srovnání s konvenčními konstrukčními materiály.

#### **VLASTNOSTI LAMEL Z UHLÍKOVÝCH VLÁKEN**

Lamely z uhlíkových vláken jsou vyrobeny z vláken uhlíkového materiálu impregnovaných polymerovou pryskyřicí. Tato kombinace poskytuje lamelám vynikající mechanické vlastnosti, jako je vysoká pevnost a tuhost. Díky své nízké hmotnosti jsou lamely ideální pro zesilování konstrukcí, přičemž minimalizují zatížení a deformace.

#### **APLIKACE LAMEL V ZESILOVÁNÍ KONSTRUKCÍ**

Lamely se využívají v různých oblastech zesilování betonových konstrukcí. Jsou široce využívány při posilování mostů, stropů, sloupů a dalších prvků. Při správném navrhování a aplikaci umožňují lamely zvýšení nosnosti a odolnosti konstrukce. Například výzkum provedený Johnsonem a spol.

[2] prokázal výrazné zlepšení nosnosti mostů po aplikaci lamel z uhlíkových vláken. Další výhodou je snížení deformací a zvýšení stability konstrukce.

### **METODY APLIKACE LAMEL**

Existuje několik různých metod pro aplikaci lamel v rámci zesilování betonových konstrukcí. Mezi nejčastěji používané metody patří lepení lamel na povrch konstrukce, vsazování lamel do předem připravených drážek a vytvoření kompozitních vrstev. Při správné volbě a aplikaci metod lze dosáhnout optimálního spojení mezi lamelami a betonem, což přináší zvýšenou nosnost a stabilitu konstrukce.

### **VÝHODY A VÝSLEDKY ZESILOVÁNÍ LAMELAMI**

Výzkum a experimenty provedené na lamelových zesílených konstrukcích ukázaly řadu výhod. Mezi hlavní výhody patří zvýšení nosnosti a pevnosti konstrukce, snížení deformací, zvýšení odolnosti proti únavě a lepší odolnost proti vlivům prostředí. Studie publikovaná Manningem a kolektivem [3] prokázala významné zvýšení pevnosti a odolnosti mostů po zesílení lamelami z uhlíkových vláken.

### **METODY POŽÁRNÍ OCHRANY LAMEL**

Pro dosažení vyšší požární odolnosti lamel se používají různé metody požární ochrany. Jednou z běžných metod je aplikace požárního obkladu na povrch lamel. Tento obklad slouží k izolaci lamel od vysokých teplot a pomáhá udržet jejich pevnost během požáru. Další možností je použití ochranných nátěrů s retardéry hoření, které snižují rychlost šíření požáru.

### **OCHRANA LAMEL POMOCÍ OBKLADU**

Jedním z přístupů k zesílení požární odolnosti lamel je jejich ochrana pomocí obkladu. Studie ukázaly, že správně navržený a aplikovaný obklad dokáže zlepšit požární odolnost konstrukce a zabránit poškození lamel [2].

### **ALTERNATIVNÍ METODY OCHRANY LAMEL**

Existují také alternativní metody ochrany lamel před účinky požáru. Například použití tepelně izolačních vrstev (nátěrů a nastříků) může snížit přenos tepla na lamely a tím zvýšit jejich odolnost vůči vysokým teplotám [3]. Další možností je použití refrakterních materiálů, které odolávají vysokým teplotám a zabraňují přímému kontaktu s ohněm [4].

### **LAMELY BEZ POŽÁRNÍ OCHRANY**

Existují situace, kdy lamely nejsou přímo chráněny před účinky požáru. Například u některých aplikací, kde je vystavení požáru nízké nebo nedlouhodobé, se lamely mohou používat bez dodatečné ochrany. Nicméně je důležité pečlivě posoudit rizika a provést odpovídající analýzu [1].

### **VÝSLEDKY TESTŮ A EXPERIMENTŮ**

Výsledky testů provedených na lamelách s různými ochrannými opatřeními ukazují, že správně navržené a aplikované systémy ochrany dokáží výrazně zlepšit požární odolnost konstrukcí. Například studie provedená Bockem a Popovics [2] ukázala, že lamely s obkladem dosahují výrazně delší doby odolnosti vůči vysokým teplotám ve srovnání s nechráněnými lamelami. Podobné výsledky potvrdila i studie Cao a Uy [3], která se zaměřila na použití tepelně izolačních vrstev.

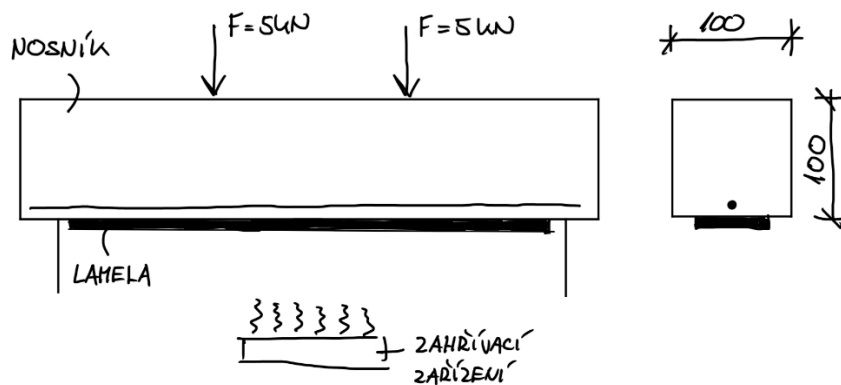
## PROJEKT

Cílem projektu je definování statických a požárních podmínek. Hlavní částí je příprava na požární experiment. Především příprava pro tvorbu betonových vzorků a přípravy na požární zkoušku. Projekt je zaměřen na výzkum a testování lamel nové generace se zvýšenou protipožární odolností. Uhlíkové lamely se budou testovat jak za standardních podmínek, tak i za podmínek zvýšených teplot (požár).

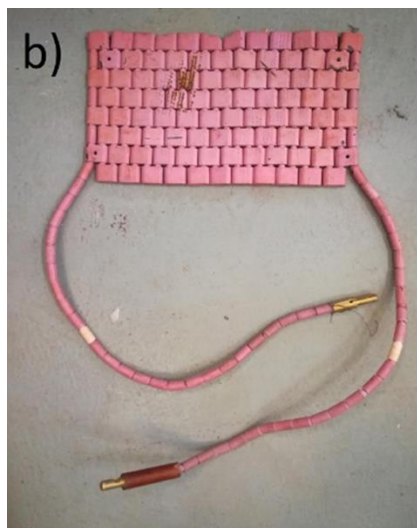
## PŘÍPRAVA ZKOUŠKY PROJEKTU

Pro přípravu požární zkoušky se připraví vzorky nosníků průřezu  $100 \times 100$  délky 900 mm. Ze spodní strany se nachází nalepená uhlíková lamela. Nosník bude při zkoušce zatěžován ve dvou bodech předpokládanou silou 5 kN pro každý bod, viz Obr. 1. K zahřívání lamel se použijí keramické články na Obr.2 nebo sálavý plynový hořák (KASPO K30-STL) na Obr.3.

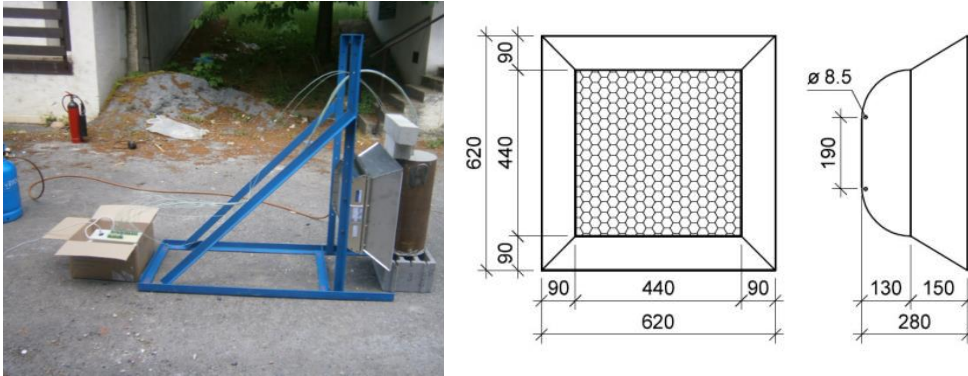
Pomocí termočlánků se bude zaznamenávat teplota. Umístění termočlánku se navrhuje uprostřed nosníku mezi lamelou a trámem, na spodní straně výtzuže a ve středu trámu. Kontrolovat se bude posun a spolupůsobení lamely a nosníku. Dále průhyb nosníku. Zaznamenávat se bude čas kdy se lamela účinkem vyšších teplot rozpadne nebo odpojí a nebude tak přispívat k nosnosti nosíku.



Obr. 1 Skica nosníku  
Fig. 1 Beam sketch



Obr. 2 Keramické dečky [5]  
Fig. 2 Ceramic pads



Obr. 3 Sálavý plynový hořák (Světelný zářič) [6]  
Fig. 3 The gas-fired radiant heater system

## ZÁVĚR

Systémy pro zesilování betonových konstrukcí se zvýšenou požární odolností, zejména založené na laminátech z uhlíkových vláken (CFRP), představují efektivní a inovativní řešení pro zvýšení bezpečnosti a odolnosti stavebních konstrukcí vůči požáru. Použití obkladu, tepelně izolačních vrstev (nátěrů a nástřiků) a refrakterních materiálů představuje různé přístupy k ochraně lamel před účinky požáru, ale to může být nákladné. Důkladné posouzení rizik a použití správných ochranných opatření je klíčové pro dosažení požadované požární odolnosti konstrukcí.

## LITERATURA

- [1] Smith, J. et al. (2002). Carbon fiber reinforced polymer composites for construction: state-of-the-art review. *Construction and Building Materials*, 16(6), 375-389. doi: 10.1016/S0141-0296(02)00027-5
- [2] Johnson, R. et al. (2017). Strengthening of Bridges using Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites. *Procedia Engineering*, 189, 369-376. doi: 10.1016/j.proeng.2017.02.137
- [3] Manning, D. et al. (2018). Strengthening of RC Slabs with Carbon Fibre Reinforced Polymers: Numerical and Experimental Study. *Composite Structures*, 189, 22-34. doi: 10.1016/j.compstruct.2018.03.035
- [4] Williams, J. et al. (2016). Carbon Fiber-Reinforced Polymers for Strengthening of Reinforced Concrete Beams: A Review. *Materials and Structures*, 49(11), 4607-4628. doi: 10.1617/s11527-016-0865-x
- [5] Holan, J., J. Novák, P. Müller, a R. Štefan. „Experimental Investigation of the Compressive Strength of Normal-Strength Air-Entrained Concrete at High Temperatures“. *Construction and Building Materials* 248 (10. červenec 2020): 118662. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118662>.
- [6] Štefan, R., J. Procházka, J. Novák, J. Fládr, F. Wald, A. Kohoutková, L. Scheinherrová, a M. Čáchová. „Heat Transfer in Hybrid Fibre Reinforced Concrete-Steel Composite Column Exposed to a Gas-Fired Radiant Heater“. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 246, č. 1 (září 2017): 012050. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/246/1/012050>.

## MATERIÁLOVÉ ŘEŠENÍ BETONOVÝCH TUNELOVÝCH OSTĚNÍ S OHLEDEM NA POŽÁRNÍ ODOLNOST

### MATERIAL SOLUTION OF CONCRETE TUNNEL LINING WITH REGARD TO FIRE RESISTANCE

**Bc. Martin Hnyk**

#### **Abstract**

*This article focuses on spalling of concrete. It summarizes the known causes of spalling as well as methods to prevent it. Furthermore, the article presents an experiment that consisted in testing 2 concrete slabs of different recipes for fire loads. The boundary conditions and set up of the experiment were chosen with regard to the small-scale simulation of fire in tunnel structures.*

**Key words:** fire; tunnel lining; concrete; fiber concrete; spalling

#### **ÚVOD**

Beton je v porovnání s ostatními materiály odolný vůči účinkům požáru. Jedná se o nehořlavý materiál, který nepřispívá rozvoji a šíření požáru, nezvyšuje požární zatížení a při vystavení účinkům požáru neprodukuje kouř ani jiné toxické plyny a zplodiny. Největším problémem betonu při vystavení požáru je odštěpování. Odštěpením krycí vrstvy výztuže při požáru dojde k jejímu obnažení, a tudíž k výraznému poklesu únosnosti konstrukce, což má za následek snížení požární odolnosti konstrukce. V nedávné minulosti došlo v tunelech pod Alpami k několika požárům, jako například požáry pod Mont Blancem nebo v Tauernském tunelu. Ty odhalily, že odštěpování dosahovalo až do hloubky 25 cm. [1] K docílení požadované požární odolnosti a co možná nejmenšímu porušení konstrukce jsou v současné době využívány obklady ostění, vícevrstvé ostění a různé receptury samotného betonu, včetně přidání například výztužných sítí dle normových požadavků. [2] Současné normy a odborné publikace uvádí několik metod a řešení, jak odštěpování omezit, či dokonce zastavit. Jednou z těchto metod, konkrétně u vysokohodnotného betonu (HPC), je přidání  $2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  polypropylenových vláken (PPF). Toto množství se však dle některých experimentů ukázalo jako příliš velké a zbytečné. Navíc takové množství jemných vláken je technologicky náročné na zpracování betonové směsi. Princip užití PPF je takový, že PPF tají při  $170 \text{ }^\circ\text{C}$  a zcela se rozpádjí při  $340 \text{ }^\circ\text{C}$ . Po jejich rozpadu v betonu vznikají dutiny, díky kterým dojde k uvolnění tlaku par. Účinnost eliminace či zabránění odštěpování závisí na mnoha faktorech, jako je například množství, průměr, délka a typ PPF. [3]

#### **ODŠTĚPOVÁNÍ A JEHO PŘÍČINY**

Odštěpování je oddělování vrstev nebo jednotlivých částí betonu z povrchu konstrukčního prvku při vystavení vysokým a rychle rostoucím teplotám. [4] Dochází k němu ze 2 základních důvodů:

- Pórové tlaky
- Teplotní roztažnost

V důsledku teplotní roztažnosti dochází k odštěpování betonu z následujících důvodů:

- Vznik smykového napětí způsobeného rozdílnou teplotní roztažností betonu po průřezu
- Vznik napětí způsobeného nerovnoměrným ohřátím prvku
- Rozdílná teplotní roztažnost betonu a výztuže při vysokých teplotách
- Rozdílná teplotní roztažnost cementové pasty a kameniva

Uvedené důvody působí téměř vždy současně, pouze se mění jejich dominance (podíl na odštěpování) v závislosti na recepturách betonu, rozdílných způsobech zahřívání (rovnoměrně  $\times$  nerovnoměrně; lokálně  $\times$  plošně) a geometrii a typu prvku (stěna, sloup, trám, stropní deska).

## MOŽNÁ PORUŠENÍ ODŠTĚPOVÁNÍM

Charakter porušení odštěpováním souvisí s příčinami odštěpování uvedenými výše. Souvisí to také s vedením tepla v průřezu. Je rozdíl, zda se jedná o 1D nebo 3D vedení tepla.



(A)



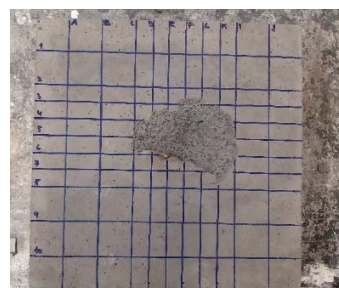
(B)

Obr. 1 (A) Teplotou namáhaný panel z UHPC; (B) Porušení panelu z UHPC při 1D vedení tepla  
Fig. 1 (A) Thermally loaded UHPC slab; (B) Failure of UHPC slab during 1D heat conduction

Na Obr. 1 lze předpokládat 1D vedení tepla, tj. vedení pouze po tloušťce průřezu. Jedná se totiž o plošný prvek, který je zahříván s malou idealizací „rovnoměrně po celé své ploše“ (Obr. 1(A)). To má za následek rovnoměrnou deformaci na ohřívaném povrchu vlivem teplotní roztažnosti, které nic nebrání (nebrání roztažení do příčného a podélného směru). Dále dochází také k rovnoměrnému nárůstu pórových tlaků. Porušení, které lze vidět na Obr. 1(B), nasvědčuje tomu, že se skutečně jednalo o 1D vedení tepla. Porušení má charakter rovnoměrného odštěpení (přibližně stejná tloušťka) po celém průřezu prvku.



(A)



(B)

Obr. 2 (A) Teplotou namáhaný panel z UHPC; (B) Porušení panelu z UHPC při 3D vedení tepla  
Fig. 2 (A) Thermally loaded UHPC slab; (B) Failure of UHPC slab during 3D heat conduction

Na Obr. 2 se jedná o 3D vedení tepla, tj. vedení tepla po tloušťce průřezu, v podélném a příčném směru. Jedná se totiž o plošný prvek, který je namáhán teplotou lokálně, nikoliv plošně. To má za následek dominantní nárůst pórových tlaků pouze v nejméně teplotou namáhaném místě. Dále pak vlivem teplotní roztažnosti dochází k napětí, které je způsobené nerovnoměrným ohřátím povrchu prvku, tj. beton v místě namáhání teplotou má tendenci se roztáhnout, ale je sepnut („držen“) okolním podstatně chladnějším betonem, který tendenci se roztáhnout nemá.

## JAKÉ BETONY MAJÍ TENDENCI ODŠTĚPOVAT

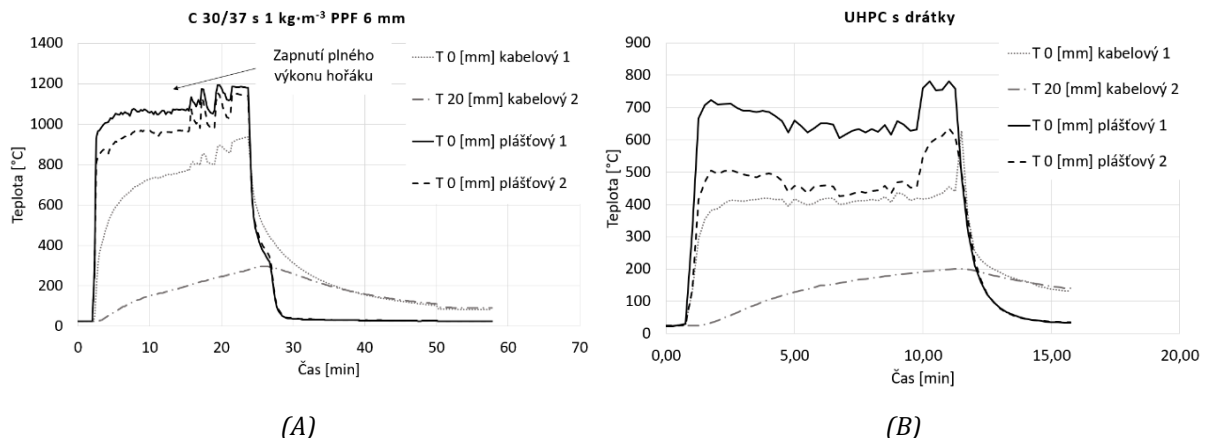
Tendenci odštěpovat mají především vysokohodnotné betony (HPC). Důvody jsou vysoká hutnost, nízký vodní součinitel, nízká pórovitost a permeabilita. Dále je z hlediska výskytu odštěpování, respektive jeho charakteru, důležitá pevnost betonu v tahu, která navíc se zvyšující se teplotou materiálu klesá. Když dojde v důsledku vystavení prvku vysoké teplotě k nárůstu teploty materiálu, vzniknou u běžných betonů mikrotrhliny a zvýší se permeabilita materiálu. Tím se

uvolní akumulovaný pórový tlak v cementové matrici. K tomuto procesu dojde u běžných betonů už při nízkých pórových tlacích v závislosti právě na pevnosti betonu v tahu. U vysokohodnotných betonů s relativně vysokou pevností v tahu dojde k porušení uvedeném výše až při vysokých pórových tlacích, které přispějí k explozivnímu charakteru odštěpení.

## EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

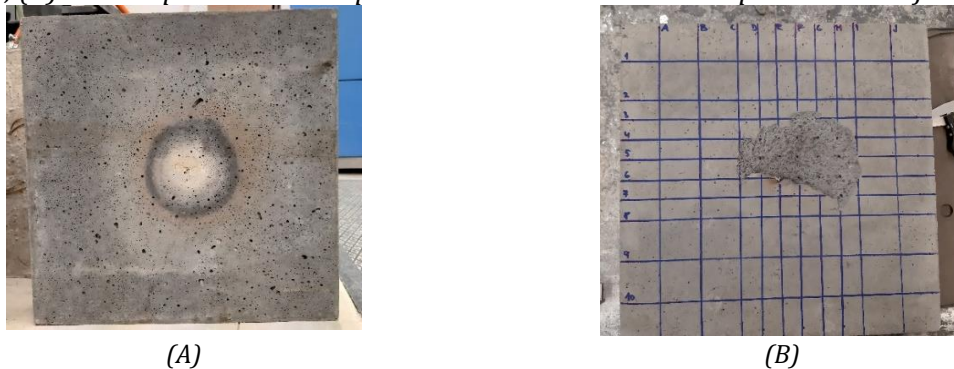
V rámci experimentální části byly vyrobeny 2 panely 400 x 400 x 100 mm. První panel byl z betonu třídy pevnosti C 30/37 s  $1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  PPF délky 6 mm o vodním součiniteli 0,45. Druhý panel byl z UHPC (ultra-high-performance concrete) o pevnosti v tlaku cca 120 MPa s ocelovými drátky v množství  $40 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a vodním součiniteli 0,27. Na každý panel byly umístěny celkem 4 termočlánky. 2 plášťové, které byly připevněny k teplotou namáhanému povrchu panelu z vnější strany a 2 kabelové. První kabelový termočlánek byl připevněn taktéž k teplotou namáhanému povrchu, ovšem nikoliv z vnější strany, nýbrž byl veden skrz celou tloušťku panelu. Druhý kabelový termočlánek byl v hloubce 20 mm. Všechny termočlánky byly napojeny na datalogger, což je převodní přístroj z elektrického napětí (volty) na teplotu (stupně Celsia). Časový krok zaznamenávání teplot byl nastaven na 15 vteřin. Následně byly panely vystaveny plynovému hořáku, který simuloval požár (požární scénář) dle teplotní tunelové křivky RABT/ZTV. [5] Výkon hořáku byl regulován ventily buď přímo na hořáku nebo na plynové bombě.

Cílem experimentu bylo na základě získaných poznatků stanovit nejprve předpoklad, zda u jednotlivých panelů dojde k odštěpování, či nikoliv. Předpoklad byl takový, že u betonu C 30/37 s PPF k odštěpování nedojde, zatímco u UHPC s drátky ano, viz Tab. 1.



Obr. 3 (A) Průběh teplot na jednotlivých termočláncích v čase u panelu z C 30/37 s PPF; (B) Průběh teplot na jednotlivých termočláncích v čase u panelu z UHPC

Fig. 3 (A) The temperature development on individual thermocouples over time for C 30/37 slab with PPF; (B) The temperature development on individual thermocouples over time for UHPC slab



Obr. 4 (A) Panel z C 30/37 s PPF po zkoušce; (B) Panel z UHPC s drátky po zkoušce  
Fig. 4 (A) C 30/37 slab with PPF after testing; (B) UHPC slab with steel fibers after testing

Z Obr. 3(A) je patrné, že po cca 25 minutách byla zkouška ukončena s tím, že k odštěpování nedošlo. Na Obr. 3(B) je patrný čas, kdy byl hořák vypnut, tj., kdy došlo k prvnímu odštěpení a při jakých teplotách v jednotlivých termočláncích. Kdyby v případě UHPC hořák vypnut nebyl, tak by časem docházelo k dalšímu odštěpování jednotlivých vrstev více do hloubky.

Obr. 4(A) znázorňuje panel z C 30/37 s PPF, kde k odštěpování sice nedošlo, ale beton v místě namáhání hořákem výrazně změnil barvu. Obr. 4(B) znázorňuje charakter porušení UHPC panelu. Charakter porušení je typický pro tento způsob namáhání teplotou a tento druh betonu. Jedná se o 3D vedení tepla v prvku. Dominantním důvodem odštěpování byly pórové tlaky v kombinaci s omezenou teplotní roztažností. Hodnoty času a hloubky odštěpení jsou uvedeny v Tabulce 1.

Tab. 1 Vyhodnocení výsledků odštěpování

Tab. 1 Evaluation of spalling results

Druh betonu	Předpoklad	Skutečnost	Čas (min)	Max. hloubka (mm)
C 30/37 s PPF	ne	ne	-	-
UHPC s drátky	ano	ano	11	9,9

## ZÁVĚR

Tento článek byl zaměřen na negativní jev betonu při vystavení účinkům požáru, tj. odštěpování. Byly shrnuty dosud známé příčiny odštěpování a zmíněny byly rovněž metody, které odštěpování zabraňují. Dále v tomto článku byl uveden příklad experimentu, který spočíval v testování 2 panelů různých receptur na účinky požáru. Následně byly výsledky vyhodnoceny a porovnány s dosud získanými teoretickými poznatky. Výsledky experimentu byly očekávané v souladu s poznatky získanými před experimentem. U betonu běžné pevnostní třídy s PPF k odštěpování nedošlo, zatímco u hutného a málo pórovitého UHPC s drátky a nízkým vodním součinitelem ano.

## PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu seminární práce, ze které vychází tento článek, panu Ing. Romanu Chylíkovi za cenné rady a předané zkušenosti nejen při teoretickém zpracování seminární práce, ale také při prováděných experimentech. Dále bych chtěl poděkovat za poskytnutí prostředků z grantu SGS23/037/OHK1/1T/11.

## LITERATURA

- [1] PICHLER, Christian, Roman LACKNER a Herbert A. MANG. Safety Assessment of Concrete Tunnel Linings under Fire Load. *Journal of Structural Engineering* [online]. 2006, 132(6), 961–969. ISSN 0733-9445, 1943-541X. Dostupné z: doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(2006)132:6(961)
- [2] ČSN EN 1992-1-2 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1 - 2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru (2006), Opr. 1 (2009), A1 (2020)
- [3] FIGUEIREDO, Fabio P., Asif Hussain SHAH, Shan-Shan HUANG, Harris ANGELAKOPOULOS, Kypros PILAKOUTAS a Ian BURGESS. Fire Protection of Concrete Tunnel Linings with Waste Tyre Fibres. *Procedia Engineering* [online]. 2017, 210, 472–478. ISSN 18777058. Dostupné z: doi:10.1016/j.proeng.2017.11.103
- [4] PROCHÁZKA, Jaroslav, Radek ŠTEFAN a Jitka VAŠKOVÁ. Navrhování betonových a zděných konstrukcí na účinky požáru. Vyd. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04613-5.
- [5] Tunel, Časopis České tunelářské asociace a Slovenskej tunelárskej asociácie ITA-AITES. 2016, 25. ročník(č. 3/2016). ISSN 1211-0728.



## MODELOVÁNÍ POŽÁRU HOŘLAVÝCH KAPALIN SE ZAMĚŘENÍM NA KAPALNÁ PALIVA

### FIRE MODELLING OF FLAMMABLE LIQUIDS WITH A FOCUS ON LIQUID FUELS

**Bc. Helena Weiserová**

#### **Abstract**

*This paper deals with the issue of flammable liquids and their behaviour during ignition and fire. It also addresses the placement of flammable liquids in tanks and issues related to their accidents. The paper also looks at the approach of Czech technical standards to these tanks and compares them with German standards. It also examines the issue of separating fire distances from flammable liquid tanks. As a practical example, it examines the flame height as a function of increasing surface area and volume of flammable liquid.*

**Key words:** Radiative heat flux; burning of a flammable liquid; pool fire; separating fire distance; flammable liquid tank.

#### ÚVOD A MOTIVACE

V závislosti na současném světovém dění se více a více začíná řešit otázka vytápění a využití alternativních zdrojů tepla. Mezi tyto alternativní zdroje patří fotovoltaika, solární panely, stlačený zemní plyn (CNG), tepelná čerpadla a jiné. K vytápění se dají použít i hořlavé kapaliny, které jsou běžnou součástí každodenního života. Tyto kapaliny mohou být problematické a mohou představovat riziko požáru a výbuchu, pokud nejsou skladovány a používány správně. Hořlavými kapalinami, které se používají k vytápění může být např. zkapalněný zemní plyn (LNG), propan, heptan, bioplyn, dřevoplyn, topný olej atd. Hořlavé kapaliny je nutné skladovat v speciálních nádržích. Nádrže se vyrábějí z různých materiálů, nicméně ne všechna materiálová řešení, a hlavně požadavky na požární bezpečnost jsou vhodně popsána v normách.

#### HOŘLAVÉ KAPALINY

Hořlavé kapaliny jsou chemické látky či směsi s definovaným bodem vzplanutí. Při manipulaci s těmito kapalinami může dojít k jejich rozlití a následnému znečištění životního prostředí. Na hořlavé kapaliny se používají speciální nádrže pro vnitřní i vnější skladování. Vnitřní a vnější umístění nádrží se v požadavcích na uchovávání daných zákonem hodně liší. Skladování uvnitř budovy je mnohem rizikovější než venkovní umístění nádrží. Pro venkovní umístění je nutné stanovit odstup u nádrží, u kterých to vyžaduje norma. Různé chemické složení kapalin může způsobit rozdílnou iniciaci procesu hoření. Podle fyzikálně chemických vlastností jsou popisovány požárně technické charakteristiky (PTCH). Základními PTCH jsou teplota vzplanutí, teplota vznícení a oblast výbušnosti. Jsou také používány přímo složkami IZS k vyhodnocování taktického postupu při hašení nebo k určení bezpečnostních vzdáleností či bezpečné manipulace s hořlavou kapalinou. [1] Šíření plamene při hoření hořlavých kapalin probíhá typicky dvěma hlavními způsoby. Jsou závislé na požárně technických charakteristikách hořlavé kapaliny a počáteční teplotě před vznícením. Dalšími charakteristikami plamene jsou teplota hoření, teplota samovznícení, teplota varu a výhřevnost. Pokud dojde k zapálení par uvolňujících se z hořlavé kapaliny, spotřebovává se okolní vzduch a tvoří se difúzní plamen nad kapalným palivem. Tento druh hoření může přerůst v plošný požár neboli „pool fire“.

#### PLOŠNÝ POŽÁR

Plošný požár je turbulentní požár hořící nad prostorem s hořlavou kapalinou (např. otevřená nádrž nebo rozlitá hořlavá kapalina.). Tyto požáry mohou být statické (např. v případě, že je nádrž

uzavřena) nebo "postupující, který vzniká na rozsáhlých plochách a je poháněn např. větrem. Plošné požáry představují významný prvek rizika spojeného s velkými haváriemi na zařízeních na moři, ale setkáme se s nimi i v otevřených nádržích nebo při rozlití hořlavých kapalin. Vliv geometrie na radiaci, ale celkově na riziko spojené s plošným požárem a schopnost předpovědět celkové chování rozsáhlých požárů hořlavých kapalin je stále nedostatečná. [2] Např. při řešení dle českých norem (ČSN 650201, ČSN 73 0804) se při vysoké hustotě tepelného toku uvažuje konstantní výška plamene 6 m, ale závisí také na druhu kapaliny a jejím objemu. [3]

### **DYNAMIKA PLOŠNÉHO POŽÁRU HOŘLAVÉ KAPALINY**

Většina požárů hořlavých kapalin může být rozdělena na určité zóny. Zóna odhořívání kapalného paliva a palivových par vytváří konstantní kuželovitý tvar. Nad touto zónou je spalovací oblast, v níž dochází k pulzování plamene a je zde přítomné proudění vzniklé přisáváním vzduchu. V přerušované oblasti plamene se snižuje rychlost a teplota s výškovou polohou. [4]

Při řešení problematiky plošného požáru se setkáme s dalšími parametry jako je např. sálavý výkon plamene, výška plamene, rychlost spalování, rychlost uvolňování tepla (HRR), hustota tepelného toku, chování kapalné fáze atd. Tyto parametry již byly popsány dříve viz např. [3]

### **NÁDRŽE NA HOŘLAVÉ KAPALINY**

Nádrže na hořlavé kapaliny nejsou jen u čerpacích stanic pro pohonné hmoty, ale mohou se vyskytovat již i u rodinných domů. [5] Umístění nádrží na hořlavé kapaliny v bezprostřední blízkosti lidských obydlí ale nabízí otázku týkající se jejich požární bezpečnosti a nutných odstupových vzdáleností. Proto nádrže na hořlavé kapaliny musí plnit určité požadavky stanovené v normách. Požadavky se mohou ale lišit v závislosti na jejich materiálovém provedení a na druhu uchovávané kapaliny. V dnešní době se nádrže na hořlavé kapaliny nevyrábějí pouze z železobetonu. Požadavky norem na nádrže splňuje více materiálů. Nádrže se vyrábějí také z oceli, plastu či sklolaminátu. Dále mohou být nádrže vyrobeny z kombinace dvou materiálů, kdy je jeden plášť nádrže vyroben z nehořlavého materiálu a druhý naopak z hořlavého.

### **NEHODY NÁDRŽÍ NA HOŘLAVÉ KAPALINY**

Nádrže obsahující hořlavé kapaliny jsou běžné po celém světě. Pokud však dojde k úniku kapaliny z nádrže, tak je zde i riziko jejího vzplanutí. Požár může zahřívát nádrž a vyzářit do okolí obrovské sálavé toky. Pro lepší porozumění těchto jevů je nutné je dále zkoumat (např. analýzou nehod, které se staly). V roce 1966 došlo ve Francii k výbuchu v důsledku úniku a hoření propanu z nádrže, který si vyžádal 18 mrtvých a 89 zraněných. Uvolněný propan dlouho hořel a zahříval nádrž, až nakonec došlo k výbuchu vroucí kapaliny s expandujícími parami (BLEVE) a následně k velké ohnivé kouli. BLEVE je tzv. akronym anglických slov „Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion“. Patří do kategorie fyzikálních výbuchů a je to jeden z nejobávanějších rozvojů nehod tlakových nádob, cisteren a zásobníků. Tento jev byl poprvé popsán v roce 1957 a je nadále zkoumán.[6]

### **PŘÍSTUP ČESKÝCH TECHNICKÝCH NOREM K NÁDRŽÍM NA HOŘLAVÉ KAPALINY**

Obecně dle ČSN 65 0201 musí být nádrže zhotoveny z materiálů odolných proti chemickým účinkům hořlavých kapalin, pro které jsou určeny. Je také nutno rozlišit, zda se např. topný olej obsažený v nádržích používá k vytápění objektu (je tedy spalován v kotli) nebo se používá k vytápění technologie (probíhá technologický ohřev např. pecí). Toto použití má pak vliv na požadavky ČSN pro PBS. Tento článek se dále zabývá požadavky norem pro vytápění objektu. Dle ČSN 65 0201 přílohy B platící pro hořlavé kapaliny III. a IV. třídy nebezpečnosti (např. topný olej) musí být prostory se zařízením určeným pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody tvořit samostatné PÚ.

## SKLADOVÁNÍ HOŘLAVÝCH KAPALIN PRO VYTÁPĚNÍ RODINNÝCH DOMŮ

Nádrže do objemu 2 000 l mohou tvořit jeden PÚ s kotlem. Tento PÚ musí být dostatečně větrán. Zdroj tepla zároveň nesmí být v havarijní jímce nádrže (havarijní jímku nádrže běžně tvoří druhý plášť nádrže). Při umístění certifikovaných nádrží přímo vedle kotle je nutné dodržet dostatečný odstup, a to alespoň 40 cm od pláště kotle z důvodu zamezení negativního vlivu sálavého toku tepla z pláště kotle do pláště nádrže. Minimální vzdálenost nádrže od stěn nebo mezi nádržemi je 5 cm. To platí pro nejběžnější velikosti nádrží (750 l) s konstrukční výškou do 1,5 metru. [7]

## PŘÍSTUP ZAHRANIČNÍCH NOREM K NÁDRŽÍM NA HOŘLAVÉ KAPALINY – NĚMECKO

Požadavky na olejové vytápění a uskladnění topného oleje se řeší na úrovni jednotlivých spolkových zemí. V Bavorsku (např. podíl olejového vytápění > 30 %) a Sasku, jsou podmínky takřka totožné, přičemž obě tyto spolkové země přímo sousedí s ČR. Německé normy určují, že v jednom požárním úseku může být společně s tepelným spotřebičem (kotlem) s instalovaným výkonem < 100 kW uskladněno maximálně 5000 litrů topného oleje. Vzdálenost tepelného spotřebiče od nádrží minimálně 1 m nebo 0,5 m při oddělení žáruvzdornou izolací nebo 0,1 m, když je povrchová teplota tepelného spotřebiče < 40 °C (což běžně dostupné kotle splňují). [8,9]

## POROVNÁNÍ NĚMECKÉHO A ČESKÉHO PŘÍSTUPU NOREM

Z nalezených objemů hořlavých kapalin v českých a německých normách jasně vyplývá, že německé normy povolují uskladnění většího množství hořlavých kapalin. Zároveň lze v jednom požárním úseku s kotlem skladovat o 3000 litrů více, než je tomu v českých normách.

## ODSTUPOVÁ VZDÁLENOST OD NÁDRŽÍ S HOŘLAVOU KAPALINOU

Dle ČSN 65 0201 se požárně nebezpečný prostor nestanovuje u nehořlavých dvouplášťových nádrží a u podzemních nádrží. Dvouplášťové nádrže s vnitřním pláštěm z plastů se ale z hlediska odstupových vzdáleností považují za jednoplášťové, a tudíž se od nich odstupové vzdálenosti určovat musí. V normě ale není popsán přesný postup, jak tento odstup určovat.

## PRAKTICKÝ PŘÍKLAD

V rámci praktického příkladu byl vytvořen model požáru čtyř velikostně rozdílných čtvercových nádob s hořlavou kapalinou (obr. 1). Jako druh zkoumané kapaliny byl zvolen heptan, který se používá jako součást palivových směsí. U požáru těchto nádrží byla zkoumána výška plamene. Pro každou nádrž bylo uvažováno s třiceti nejvyššími hodnotami výšky plamene, které byly naměřeny. Tyto hodnoty byly zprůměrovány do následující tabulky 1. Dle tabulky 1 je výška plamene rostoucí se zvětšujícími se nádržemi. Výška plamenů bude ovlivňovat i velikost odstupových vzdáleností. Toto ale normové řešení nezohledňuje ve výpočtu.

## ZÁVĚR

V dnešní době jsou hořlavé kapaliny využívány i pro vytápění objektů. Pro jejich použití a skladování v blízkosti rodinných domů je nutné porozumět chování těchto kapalin při hoření a požáru. Hořlavé kapaliny se skladují v nádržích, které mohou být z různých materiálů. Ovšem ne všechny materiály jsou vhodně popsány v českých normách. To může vést k nejasnostem např. při určování odstupových vzdáleností od plastových nádrží. Plastové nádrže řeší třeba německé normy, které jsou přívětivější např. v povoleném množství skladovaného topného oleje v jednom požárním úseku s kotlem. Je třeba provést další analýzu týkající se požární bezpečnosti, pakliže by mělo dojít k rozvolnění českých požadavků na hodnoty uvedené v německých normách. V rámci praktické části bylo ověřováno, zda je předpoklad české normy, která uvažuje nejvyšší konstantní

výšku plamene hořlavé kapaliny, dostačující. Předpoklad byl vyvrácen již při prvním měření v modelu nádrže o velikosti 2 m × 2 m. Průměrné výšky plamene dosahovaly kolem 8,3 m. Pro další výzkum je třeba provést detailní analýzu ve vazbě na odstupové vzdálenosti a na různé kapaliny.

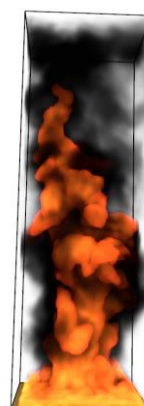
Tab. 1 Tabulka výšky plamene

Tab. 1 Flame height table

Rozměry nádoby [m]	Průměrné nejvyšší výšky plamene [m]
2×2	8,31
4×4	13,51
6×6	20,99
8×8	26,36



(A)



(B)

Obr. 1 (A) Požár nádrže o velikosti 2x2 m; (B) Požár nádrže o velikosti 8x8 m

Fig. 1 (A) Fire in an 2x2m tank; (B) Fire in an 8x8m tank

## LITERATURA

- [1] DIVIŠOVÁ, Bc Daniela. *CHARAKTERISTIKA POŽÁRU HOŘLAVÝCH KAPALIN NA OHRANIČENÉ PLOŠE*. Praha, 2018. České vysoké učení technické v Praze.
- [2] *HSE Offshore: Fire and Explosion Strategy - Pool Fires* [online]. [vid. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.hse.gov.uk/offshore/strategy/pool.htm>
- [3] BŮŽEK, Bc Tomáš. *ANALÝZA SÁLAVÉHO TOKU PŘI POŽÁRU HOŘLAVÝCH KAPALIN*. Praha, 2020. České vysoké učení technické v Praze.
- [4] VALI, Alireza, David NOBES a Larry KOSTIUK. Transport phenomena within the liquid phase of a laboratory-scale circular methanol pool fire. *Combustion and Flame* [online]. 2014, 1076–1084. Dostupné z: doi:10.1016/j.combustflame.2013.09.028
- [5] Vytápění topným olejem | silmetoil.cz. *Silmet | automatické a bezpečné vytápění a ohřev teplé vody*. [online]. [vid. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.silmetvytapani.cz/>
- [6] TOPIN. BLEVE – výbuch expandujících par vroucí kapaliny. *TOPIN* [online]. [vid. 2023-05-09]. Dostupné z: <http://www.topin.cz//clanky/bleve-vybuch-expandujicich-par-vrouci-kapaliny-detail-10784>
- [7] Vytápění extralehkým topným olejem (I) - bezpečné uskladnění paliva. *TZB-info* [online]. [vid. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-kapalnymi-palivy/22680-vytapani-extralehkym-topnym-olejem-i-bezpecne-uskladneni-paliva>
- [8] *REVOsax Landesrecht Sachsen - Sächsische Feuerungsverordnung – SächsFeuVO* [online]. [vid. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift/9613-Saechsische-Feuerungsverordnung#p11>
- [9] *FeuV: Feuerungsverordnung (FeuV) Vom 11. November 2007 (GVBl. S. 800) BayRS 2132-1-3-B (§§ 1–15) - Bürgerservice* [online]. [vid. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayFeuV2008>

## MODELOVÁNÍ POŽÁRU V TUNELECH POMOCÍ ZJEDNODUŠENÝCH A ZPŘESNĚNÝCH MODELŮ POŽÁRU

### MODELLING FIRE IN TUNNELS USING SIMPLIFIED AND ADVANCED FIRE MODELS

**Bc. Miroslav Hlaváček**

#### **Abstract**

*The paper focuses on the safety of tunnel structures, especially in the event of a fire emergency. In the seminar work, the types of tunnels are generally described according to the type of use, construction, technological equipment, etc. Different types of nominal temperature curves used for tunnel structures in the world are also presented. Although there are several different types of nominal temperature curves, there is no standard that prioritizes the type of nominal curve depending on the type or use of the tunnel. This paper focuses on the choice of mathematical model for different types of tunnels and comparison with nominal temperature curves.*

**Key words:** Fire; fire modelling; tunnel fire; fire safety in tunnels; fire modelling software; tunnel construction and use; types of tunnels

#### **ÚVOD**

Cílem větších měst jak v České republice, tak ve světě je přesunout dopravu pod zem, což zvyšuje plynulost dopravy. S tím souvisí rostoucí vývoj rychlostních silnic, dálnic a rychlostních železničních koridorů, kde se tunely stávají nezbytnou součástí dopravní infrastruktury. Tyto tunelové stavby slouží k překonávání vodních toků, geograficky náročných oblastí, hustě zastavěných oblastí a také slouží jako řešení pro dopravu mimo chráněné oblasti nebo pro křížení s dalšími dopravními stavbami. Nedávné i historické požáry v tunelech vedly k podrobnějšímu zkoumání bezpečnostních opatření v tunelových stavbách. I přes to, že statistiky ukazují, že požáry v tunelech nejsou tak časté jako na otevřených silnicích, mají však mnohem katastrofálnější následky, pokud se přece jen vyskytnou. Při požáru v tunelu jsou ohroženi nejen účastníci dopravních nehod, ale také ostatní osoby přítomné v tunelu. Hlavními riziky jsou šíření kouře a vysoké teploty.

Pro posouzení požární bezpečnosti tunelových staveb se používají zjednodušené modely požáru (teplotní křivky) nebo zpřesněné modely požáru (CFD modely). Méně často dochází k jejich ověření pomocí požárních zkoušek. Obrovskou nevýhodou požárních zkoušek je jejich vysoká nákladnost a také omezení spojená s nemožností provádět tyto zkoušky s reálným požárem, protože by mohlo dojít k poškození tunelového vybavení. Při požárních zkouškách se často používá dýmovnice k vytvoření tzv. studeného kouře, který se však nechová stejně jako při skutečném požáru.[1] Modelování požáru v tunelech je důležitým nástrojem pro posouzení bezpečnosti a navrhování opatření pro minimalizaci rizik spojených s požárem v tunelech. Existuje několik různých přístupů k modelování požáru v tunelu, zahrnující jak experimentální metody, tak také výpočetní simulace. Výsledky matematických modelů požáru v tunelech mohou být použity pro navrhování optimálních strategií evakuace osob nebo efektivního zásahu HZS v případě požáru, a také pro navrhování konstrukčních opatření pro minimalizaci rizik spojených s požárem v tunelu. [2–4]

#### **TUNELOVÉ OBJEKTY**

Obecně se klasifikují na základě svého umístění, způsobu výstavby, druhu provozu, délky a intenzity dopravy. Délka tunelu a intenzita dopravy jsou klíčové faktory ovlivňující technologické vybavení tunelu.

## SILNIČNÍ TUNELY

Bezpečnostní požadavky na tunely jsou vysoké a musí být splněny po celou dobu jejich životnosti, aby umožnily bezpečnou a plynulou jízdu a zabezpečily bezpečnost obsluhy. Pro projektování tunelů pozemních komunikací se používají dva hlavní dokumenty: ČSN 73 7507 Projektování tunelů pozemních komunikací a technické podmínky TP 98 Technologické vybavení tunelů pozemních komunikací.

Silniční tunely jsou rozděleny do čtyř kategorií – TA, TB, TC, TD a dvou podkategorií TC-H a TD-H podle délky tunelu a provozní intenzity. Pokud je očekávána denní intenzita provozu větší než 15 000 vozidel, tunel bude kategorizován podle délky jako TD-H (100-300 m), TC-H (300-500 m) nebo TA (500-10 000 m). [5, 6]

## ŽELEZNIČNÍ TUNELY

Železniční tunely jsou rozděleny podle délky a charakteristiky provozu. Podle vyhlášky č. 246/2001 Sb. jsou tunely, jejichž délka přesahuje 350 m, klasifikovány jako objekty se složitými podmínkami pro zásah. Pro tyto tunely je nezbytné vypracovat dokumentaci zdolávání požáru, která usnadní práci záchranným složkám při likvidaci požáru.[7]

Bezpečnostní koncepce se obvykle zpracovává s ohledem na pravděpodobnost vzniku mimořádné události v tunelu a s předpokladem, že k ní dříve či později dojde. U kratších tunelů do 350 m se nepředpokládá nutnost dodatečných bezpečnostních opatření, ale u tunelů nad 1 km se pravděpodobnost nehody mírně zvyšuje a klesá pravděpodobnost možné sebezáchrany. Směrnice obvykle pokrývají tunely délek od 1 km do 20 km. Každá bezpečnostní koncepce by měla zahrnovat opatření pro zabránění nehod, opatření pro zmírnění následků, opatření pro záchranu vlastními silami a opatření pro umožnění záchrany IZS. [8]

## POŽÁRNÍ BEZPEČNOST V TUNELECH

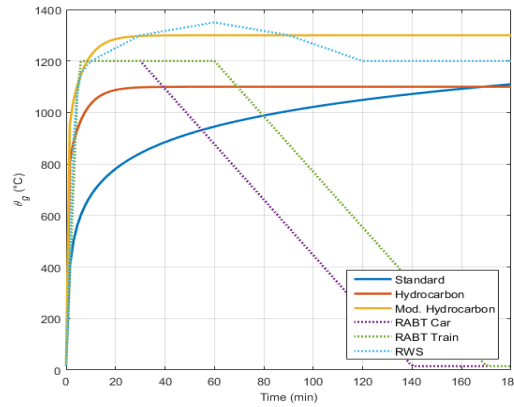
V dopravních systémech jsou tunely kritickými místy, kde mohou snadno nastat dopravní nehody se zraněním nebo úmrtím osob, exploze, požáry a úniky nebezpečných látek.

Z hlediska požární bezpečnosti jsou požární úseky v silničních tunelech zařazeny do V. stupně požární bezpečnosti pro krátké tunely nebo do VII. stupně požární bezpečnosti pro střední a dlouhé tunely. Tunely, které procházejí pod zástavbou nebo pod vodním tokem a jsou delší než 500 m, spadají do VII. stupně požární bezpečnosti, což je vyžadováno nařízením vlády č. 264/2009 o bezpečnostních požadavcích na tunely pozemních komunikací delších než 500 m.

Požární odolnost stavebních konstrukcí je stanovena podle ČSN 73 0804 v tabulce 10. Například pro nosné konstrukce tunelů v V. stupni požární bezpečnosti je požadovaná požární odolnost R 90 DP1 a VII. stupni požární bezpečnosti je požadovaná požární odolnost R 180 DP1. Pro ověření této odolnosti se používá normová teplotní křivka, která má teplotu 1110 °C ve 180. minutě.[6]

## NOMINÁLNÍ TEPLOTNÍ KŘIVKY POUŽÍVANÉ PRO TUNELOVÉ STAVBY

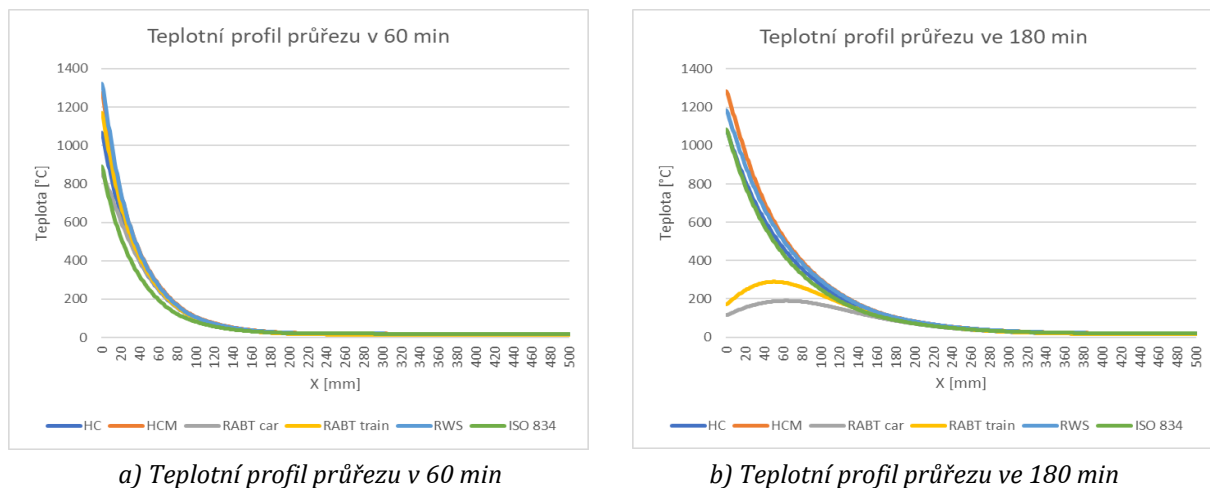
V nedávné době proběhlo na mezinárodní úrovni řada výzkumných studií zaměřených na identifikaci druhů požárů, které se mohou objevit v tunelech a podzemních prostorech. Na základě údajů získaných z těchto zkoušek byla vypracována řada křivek se závislostí teploty na čase pro různé expozice. Nejpoužívanějšími křivkami jsou RABT, HCM a RABT křivky, viz obrázek 1. [9]



Obr 1 Teplotní křivky používané v tunelových stavbách  
Fig. 1 Temperature curves used in tunnel construction

### ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Jak již bylo zmíněno, posouzení požární bezpečnosti v tunelech, možnosti evakuace či požární odolnosti stavebních konstrukcí je velmi obtížné a nepředvídatelné. I přes to, že existuje několik teplotních křivek v závislosti na čase určující požár v tunely oproti požáru pozemních staveb, kde se používá převážně nominální teplotní křivka ISO 834, neexistuje žádná platná metodika, která by upřesnila typ teplotní křivka v závislosti na parametrech a využití tunelu. Nominální teplotní křivky nejsou například vhodné na posouzení evakuace, protože se charakterizují plně rozvinutým požárem, který už po několika vteřinách vystavuje osoby podmínkám neslučitelných se životem, zejména tunelové křivky, které mají velmi vysoký nárůst teploty. Nominální teplotní křivky jsou tedy vhodné pro posouzení konstrukcí, ale jak ukazuje obrázek 1, většina křivek je konzervativní, protože nemají fázi ochlazování. Pro přesnější výsledky jsou vhodnější zpřesněné modely požáru. Článek byl zaměřen na porovnání nominálních teplotních křivek a jejich vlivu na nosné konstrukce tunelu (ostění). Z obrázku 2 je patrné že pro ostění tloušťky 0,5 m jsou nepatrné rozdíly v teplotním profilu konstrukce po namáhání všemi jmenovanými teplotními křivkami. Odlišný teplotní profil je pouze u křivek RABT – car, RABT – train, které se po 30 nebo 60 minutách ochlazují. Tímto je konstrukce namáhána dalšími obrovskými napětími vlivem teplotních změn.

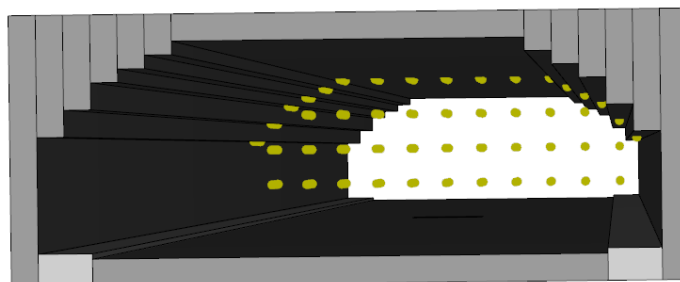


a) Teplotní profil průřezu v 60 min

b) Teplotní profil průřezu ve 180 min

Obr. 2 Teplotní profil ostění po namáhání různými teplotními křivkami získané z programu TAs  
Fig. 2 Temperature profile of the lining after stressing with different temperature curves obtained from TAs

V rámci tohoto článku je zpracován 3D model v programu Pyrosim patrný z obrázku 3, ve kterém budou analyzovány změny teplot v tunelu vlivem různého požárního zatížení. Z důvodu dlouhé výpočetní simulace nejsou v této části prezentovány žádné výsledky z tohoto programu. [10]



Obrázek 3 Grafické zobrazení modelu tunelu  
Fig. 3 Graphical representation of the tunnel model

## ZÁVĚR

Tunelové stavby se velmi složitě posuzují z hlediska požární bezpečnosti, protože je zde mnoho faktorů, které nelze určit jen pomocí nominálních teplotních křivek (např. evakuace). Přesto jiné způsoby, než již validované teplotní křivky nejsou často reálné. Požární zkoušky se z důvodu obavy o poškození konstrukce a velké finanční nákladnosti nedělají. CFD modely jsou časově velmi náročné, proto se pro projektování podzemních staveb často nevyužívají.

Cílem je tedy doporučení použití typu nominální teplotní křivky v závislosti na jiný konstrukční nebo provozní typ tunelové stavby a ověření s CFD modelem.

## LITERATURA

- [1] HURLEY, Morgan J., Daniel GOTTUK, John R. HALL, Kazunori HARADA, Erica KULIGOWSKI, Milosh PUCHOVSKY, José TORERO, John M. WATTS a Christopher WIECZOREK, ed. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* [online]. New York, NY: Springer New York, 2016 [vid. 2023-04-18]. ISBN 978-1-4939-2564-3. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4939-2565-0
- [2] HAUKUR INGASON, Haukur INGASON, Ying Zhen LI a Anders LÖNNERMARK. *Tunnel fire dynamics*. New York: Springer, 2015. ISBN 978-1-4939-2199-7.
- [3] *Tunnel fire testing and modeling*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2017. ISBN 978-3-319-49516-3.
- [4] BEARD, Alan a Richard CARVEL, ed. *The handbook of tunnel fire safety*. 2nd ed. London: ICE, 2012. ISBN 978-0-7277-4153-0.
- [5] *TP\_98.pdf* [online]. [vid. 2023-05-20]. Dostupné z: [https://pjpkr.sd.cz/data/USR\\_001\\_2\\_8\\_TP/TP\\_98.pdf](https://pjpkr.sd.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_98.pdf)
- [6] ČSN 737507 - *Projektování tunelů pozemních komunikací*. Praha: Český normalizační institut. prosinec 2013. 52 s
- [7] ČSN 737507 - *Železniční tunely*. prosinec 2013. 52 s
- [8] INFO@AION.CZ, AION CS-. 32014R1303. *Zákony pro lidi* [online]. [vid. 2023-03-12]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/pravo/32014R1303>
- [9] *GB\_Tunnel\_fire\_protection\_01072008.pdf* [online]. [vid. 2023-03-29]. Dostupné z: [https://firesto.fi/wp-content/uploads/2018/10/GB\\_Tunnel\\_fire\\_prtection\\_01072008.pdf](https://firesto.fi/wp-content/uploads/2018/10/GB_Tunnel_fire_prtection_01072008.pdf)
- [10] PyroSim User Manual. *Thunderhead Support* [online]. [vid. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://support.thunderheadeng.com/docs/pyrosim/2020-2/user-manual/>







## OVĚŘENÍ VÝSTŘIKOVÉ CHARAKTERISTIKY SPRINKLEROVÉ HLAVICE

### VERIFICATION OF SPRAY CHARACTERISTICS OF A SPRINKLER

Bc. Valerie Komínková

#### **Abstract**

*The purpose of the seminar work is to become familiar with sprinkler fire extinguishing equipment. Furthermore, in the seminar work, a research question on the topic of the spray characteristics of sprinkler heads is solved, which we will subsequently confirm with an experiment.*

**Key words:** Fixed firefighting systems; sprinkler; fire; deflector; spray curve; extinguishing; fire protection; extinguishing efficiency

#### ÚVOD

Účelem této práce je rozšíření podkladů a informací ohledně výstřikových charakteristik sprinklerových hlavice.

#### STABILNÍ HASÍCÍ ZAŘÍZENÍ

Jedná se o trvale zabudované hasící zařízení ve stavbě nebo technologickém zařízení. SHZ se řadí mezi aktivní požární ochranu [1] a zároveň spadá do vyhrazených požárně bezpečnostních zařízení. Což jsou zařízení, která musí splňovat speciální požadavky, co se týče navrhování, montáži, provozu, kontrol apod. [2].

Máme základní tři typy a těmi jsou **stabilní hasící zařízení** u nichž je zásobování vodou zajištěno ze zásobní nádrže za pomoci čerpadel. Dále se k SHZ projektuje strojovna, ve které se nachází ventilové stanice. Ventilové stanice slouží k rozdělení vody do příslušných jistěných ploch (= prostor, do kterého je navrženo příslušné HZ) v objektu. Druhým je **polostabilní hasící zařízení (PHZ)**, což je většinou vodní HZ, u kterého není nádrž na vodu a čerpací zařízení. Voda se do PHZ dostává pomocí cisternové automobilové stříkačky za asistence hasičů. Do této skupiny spadají i taková SHZ, jejichž nádrž na vodu nespĺňuje normové požadavky [3]. A třetím je **doplňkové hasící zařízení (DHZ)**, což je systém, jehož nádrž není navržena na plný objem, protože se předpokládá součinnost s hasiči.

Dále dělíme SHZ z hlediska použitého požárního média (pěnová, plynová a halonová, prášková, speciální a vodní). V článku se zabýváme vodním sprinklerovým hasícím zařízením.

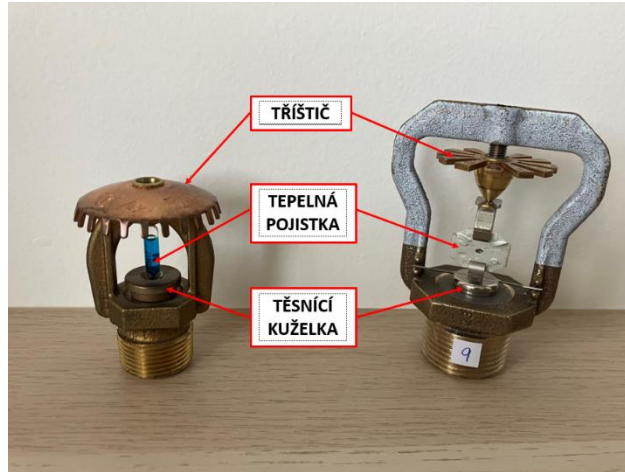
#### SPRINKLEROVÁ HASÍCÍ ZAŘÍZENÍ

Jedná se o zařízení sloužící k rozprašování vody s cílem potlačit či uhasit požár. Tento systém funguje na principu detekce tepla a rychlé reakce spuštění vody [4]. Řadí se mezi nejúčinnější prostředky požární ochrany. Velkou předností je, že je požár hašen lokálně a zároveň systém ohlašuje požár i prostor požářiště. Další výhodou je, že HZ funguje celoročně bez obsluhy [5].

#### POPIS

Jakmile dojde teplo z požáru až ke sprinklerové hlavici a je dosaženo otevírací teploty tepelné pojistky na sprinklerové hlavici, dojde k porušení dané pojistky a uvolnění těsnící kuželky, čímž dojde k otevření konkrétní sprinklerové hlavice. Vodě tedy nic nebrání a kompaktní proud naráží na tříštič a vytváří se charakteristický výstřikový proud. Po uvolnění těsnící kuželky dochází k poklesu tlaku, čímž je otevřena, a tím dojde ke spuštění hlavního čerpadla, které je vždy nutné po uvedení do provozu vypnout ručně. Celý proces probíhá automaticky bez obsluhy [5].

Na obrázku 1 je vidět popis dvou sprinklerů s různými typy tepelných pojistek. Na sprinkleru vlevo je takzvaně skleněná pojistka, která je hojněji využívána. Jedná se o skleněnou baňku naplněnou tekutinou, která se, při dosažení otevírací teploty, roztáhne a dojde k destrukci skla [6]. Barva tekutiny odlišuje různé otevírací teploty (například oranžová – 57 °C; červená 68 °C; žlutá – 79 °C; zelená 93-100 °C; apod. – viz obrázek 2). Baňky mohou mít různé šířky, které mají vliv na rychlost destrukce (viz obrázek 3). Čím větší průměr, tím pomalejší reakce na teplotu. V případě sprinkleru vpravo je použita tavná pojistka, kde při dosažení otevírací teploty dojde k roztavení plíšku a k otevření konkrétní sprinklerové hlavice [6].



Obr. 1 Popis sprinklerové hlavice  
Fig. 1 Description of the sprinkler head



Obr. 2 Ukázka barevného značení  
Fig. 2 Example of color marking



Obr. 3 Ukázka různých tloušťek baněk  
Fig. 3 Sample of different thicknesses of flasks

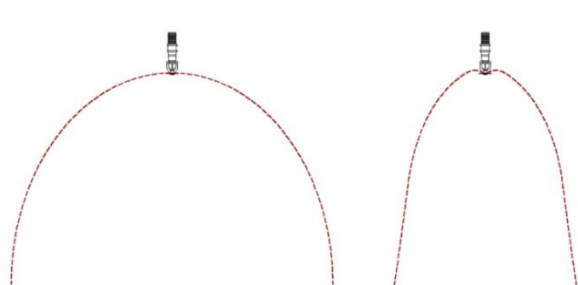
## VÝSTŘIKOVÁ CHARAKTERISTIKA

Výstřiková charakteristika je tvar křivky (viz obrázek 4), kterou vytváří kompaktní proud vody odražený od tříštiče (je vytvořen tzv. sprchový proud). Na její tvar mají vliv hlavně tvar tříštiče, K – faktor a tlak působící vody (čím větší tlak bude na hlavici, tím větší bude prvotní rozstřík a rychlý pád [7] – viz obrázek 5).

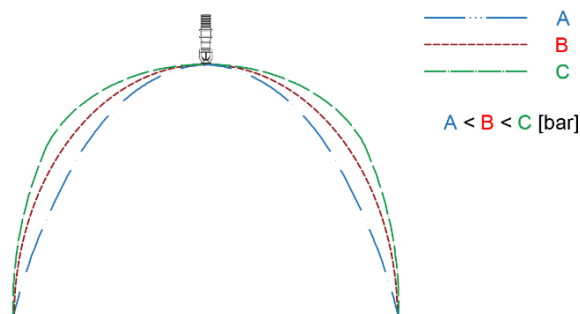
## EXPERIMENTY OBECNĚ

Většina experimentů jsou prováděny ve speciálních místnostech (sprinklerových komorách). A je spousta způsobů, jak ověřit výstřikovou charakteristiku sprinkleru. Existuje například **Test homogeneity rozptylu (kelímkový test)**, který spočívá v tom, že se do sprinklerové komory vloží speciální nádoby, které mají zachycovat vodu. Poté se spustí zkrápění a pomocí kamer, vah a jiných měřících přístrojů se sleduje, jakým způsobem voda vystřikuje, zda voda stříká rovnoměrně,

v jakém úhlu apod. Dále se může využít **Test kruhového rozptylu**, kde se umístí kruhový rozptylový papír pod sprinkler, poté se sprinkler spustí a změří se rozptyl vody na papíru. Výsledkem se získávají informace o vzdálenosti rozstříku od středu. A jako další možnost se využívá **Test doby rozptylu**, kde se měří, jak dlouho trvá, než voda dostříkne na požadovanou vzdálenost.



Obr. 4 Tvar křivky  
Fig. 4 The shape of the curve



Obr. 5 Tvar křivky v závislosti na tlaku  
Fig. 5 The shape of the curve depending on the pressure

## EXPERIMENTY V RÁMCI SEMINÁRNÍ PRÁCE

V rámci experimentu byl zvolen test homogenity rozptylu neboli kelímkový test. Jako experimentální prostor bude využita požární laboratoř v Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT v Praze, která se nachází v Buštěhradě.

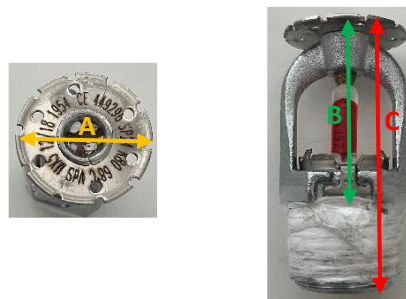
Pro pokus bude využito čerpadlo DAB KVC 85/120 s maximálním provozním tlakem 13 bar [9]. Pro experiment byly vybrány čtyři níže popsané sprinklerové hlavice (viz obrázek 7 a tabulka 1). U všech se jedná o stejný typ hlavice: podhledový. Byly zvoleny podobné hlavice od různých výrobců, které se liší pouze rozměry. Jednotlivé rozměry jsou zaznamenány v tabulce 1.

Tab. 1 Popis vybraných sprinklerových hlavíc  
Tab. 1 Description of selected sprinkler heads

ZNAČENÍ	VÝROBCE	ROZMĚRY [mm]		
		průměr A	výška B	výška C
1	VIKING	32	39	56
2	TYCO	30	39	58
3	MINIMAX	25	33	48
4	LPC	32	32	51



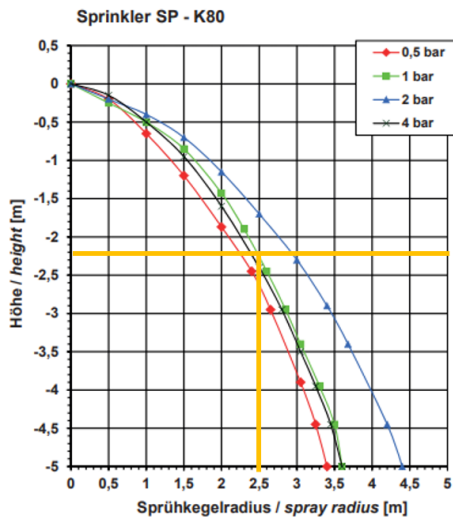
Obr. 7 Experimentální sprinklery  
Fig. 7 Experimental sprinklers



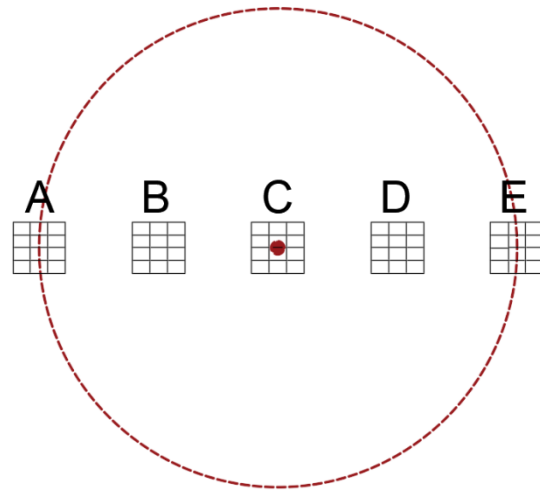
Obr. 6 Popis rozměrů  
Fig. 6 Description of dimensions

Hlavice bude umístěna ve výšce 2,2 m nad podlahou. Podle technického listu zkoušejícího sprinkleru od firmy Minimax by měl mít sprinkler dostřík 2,5 m viz obrázek 8. Na základě těchto informací budou pod sprinklerem rozmístěné „ohrádky“ s kelímky v jedné řadě viz obrázek 9.

Dále dojde ke spuštění vody a ke zkrápění plochy vodou do kelímků po dobu 1 min, poté bude přívod vody zastaven. Voda z jednotlivých kelímků z ohrádek bude zvážena. Test bude pro každou hlavici 3x zopakován.



Obr. 8 Technický list výrobce  
Fig. 8 Manufacturer's technical sheet



Obr. 9 Rozmístění nádob  
Fig. 9 Placement of containers

## ZÁVĚR

V rámci výzkumu očekáváme zjištění obrazu zkrápění pod sprinklerem, zjištění nejvíce a nejméně zkrápěné oblasti.

## LITERATURA

- [1] Aktivní a pasivní systémy protipožární ochrany. *TZB-info* [online]. [vid. 2023-03-26]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/113216-aktivni-a-pasivni-systemy-protipozarni-ochrany>
- [2] INFO@AION.CZ, AION CS-. Vyhlášky č. 246/2001 Sb. Vyhláška o požární prevenci. *Zákony pro lidi* [online]. [vid. 2023-03-26]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-246>
- [3] ING. PAVEL RYBÁŘ. STABILNÍ HASICÍ ZAŘÍZENÍ. In: [online]. 2007. Dostupné z: [https://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni\\_odolnost/e-text/technici/6/6-6\\_SHZ.pdf](https://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/technici/6/6-6_SHZ.pdf)
- [4] *Umělá inteligence* [online]. Dostupné z: <https://chat.openai.com/chat>
- [5] Požární bezpečnost (I) - Sprinklerové hasicí zařízení. *TZB-info* [online]. [vid. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/2017-pozarni-bezpecnost-i-sprinklerove-hasici-zarizeni>
- [6] ČSN EN 12259-1+A1 - Stabilní hasicí zařízení - Komponenty pro sprinklerová a vodní sprejová zařízení - Část 1: Sprinklery. ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. 2002.
- [7] SHEPPARD, David Thomas. *Spray Characteristics of Fire Sprinklers*. B.m., nedatováno. Northwestern University.
- [9] UCEEB ČVUT - Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT v Praze - Požární bezpečnost [online]. [vid. 2023-05-01]. Dostupné z: <https://www.uceeb.cz/cz/pozarni-bezpecnost/#vybaveni-902>

## PŘETLAKOVÉ VĚTRÁNÍ CHRÁNĚNÉ ÚNIKOVÉ CESTY

### OVERPRESSURE VENTILATION OF PROTECTED ESCAPE ROUTE

**Bc. Josef Hajm**

#### **Abstract**

*The objective of this work is to create an FDS model of positive-pressure ventilation of a protected escape route in a high-rise building in Prague. The model should include any deficiencies in this escape route. After conducting a virtual simulation of the HVAC, the results will be compared with the measured values from the fire test conducted in 2022. Based on the results of the model, a new operational test of the protected escape route will be conducted.*

**Key words:** fire safety of buildings; fire ventilation; protected escape route; overpressure ventilation; FDS modeling

#### **ÚVOD**

Motivací výběru tématu přetlakového větrání únikových cest je, že se jedná o jednu nejvíc stěžejních opatření pro evakuaci osob v rámci požární bezpečnosti staveb. Ačkoliv se jedná o velmi častá a oblíbená řešení únikových cest pro výškové objekty, objevují se nesprávné způsoby řešení. Nesprávným způsobem řešení může dojít k přímému ohrožení osob vyskytujících se v objektu. Dalším aspektem je nesprávné užívání a údržba těchto únikových cest. Nedbalé užívání a nedostatečné údržba chráněných únikových cest může mít za následek až rozšíření požáru do požárního úseku samotné chráněné únikové cesty, což může mít fatální následky.

#### **OBECNĚ – CHRÁNĚNÉ ÚNIKOVÉ CESTY – CHÚC**

Chráněná úniková cesta je cesta, která poskytuje trvale volný komunikační prostor vedoucí k východu na volné prostranství a je chráněný proti účinkům požáru požárně dělícími konstrukcemi. [1]. Dle požárního kodexu dělíme CHÚC podle doby, po kterou se mohou v únikové cestě zdržovat do tří kategorií:

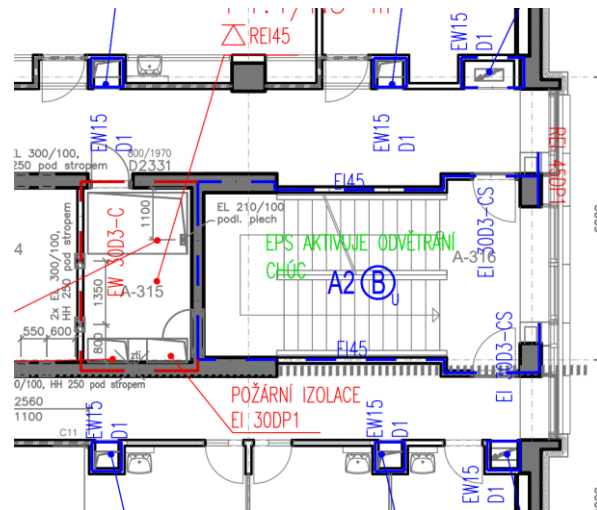
- CHÚC typu A (4 minuty);
- CHÚC typu B (15 minut);
- CHÚC typu C (30 minut).

Proto aby bylo možné této doby dosáhnout musí CHÚC splňovat konkrétní požadavky na požární oddělení od zbylých požárních úseků, a především požární větrání. Toto požární větrání dělíme podle způsobu provedení na:

- přirozeně větrané;
- nuceně větrané;
- kombinovaně větrané;
- přetlakově větrané.

#### **POPIS ŘEŠENÉHO PROSTORU**

Zaměření celé práce se týká konkrétní CHÚC, která se nachází ve výškovém objektu v Praze. Jedná se o CHÚC typu B bez samostatně větrané požární předsíně (obr.1). CHÚC spojuje 14 nadzemních a 2 podzemní podlaží objektu, přičemž schodiště končí ve 13.NP. Ve 14.NP se nachází pouze světlík, kterým je odváděn vzduch při přetlakovém větrání CHÚC.

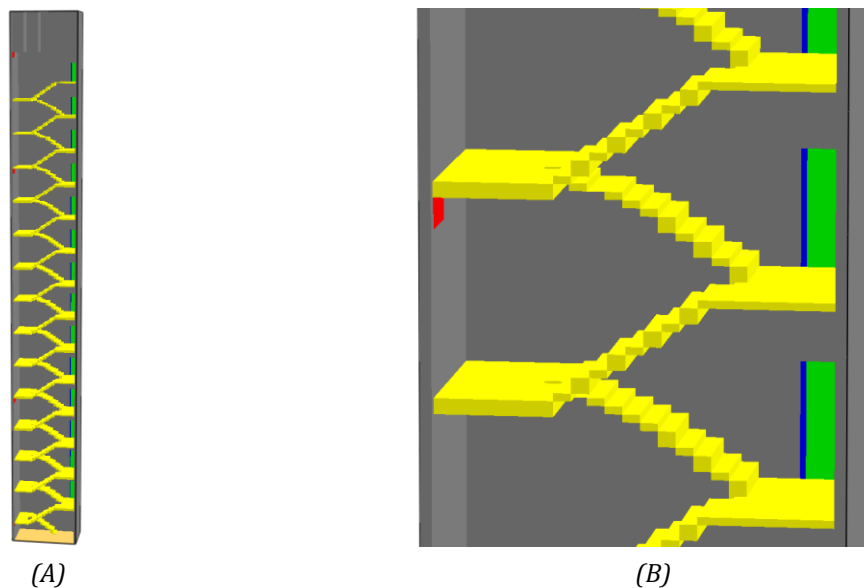


Obr. 1 Půdorys CHÚC B  
Fig. 1 Escape route floor plan with HVAC

## MODEL PROSTORU

K vymodelování prostoru CHÚC a jejího požárního větrání byl zvolen program FDS (Fire Dynamics Simulator) verze 6.8.0. FDS využívá systému rovnic založeného na modelu turbulentního proudění nazývaného Large Eddy Simulation (LES). Základní rovnice, které FDS využívá jsou rovnice zachování hmotnosti, hybnosti a energie pro stacionární a nestacionární proudění. Tyto rovnice jsou známé jako Navierovy-Stokesovy rovnice. V další řadě byl využit pro vizualizaci software Smokeview verze 6.8.0.

Simulace funkce větrání bude provedena v prostoru o objemu 1360 m<sup>3</sup>, kde samotný prostor CHÚC má rozměry 6,7 m × 3,5 m × 58 m (d×š×v) (Obr.2 A; B). Tento prostor reprezentuje pouze schodišťový prostor CHÚC nikoliv model požárního větrání (HVAC). Výpočetní síť simulace (MESH) byla zvolena 1 cm × 1 cm × 1 cm. Rozměry schodů v prostoru CHÚC jsou upraveny v závislosti na výpočetní síti.



Obr. 2 (A) Vizualizace celého modelu; (B) Vizualizace dvou poschodí v modelu.  
Fig. 2 (A) Visualization of the entire model; (B) Visualization of two floors in model.

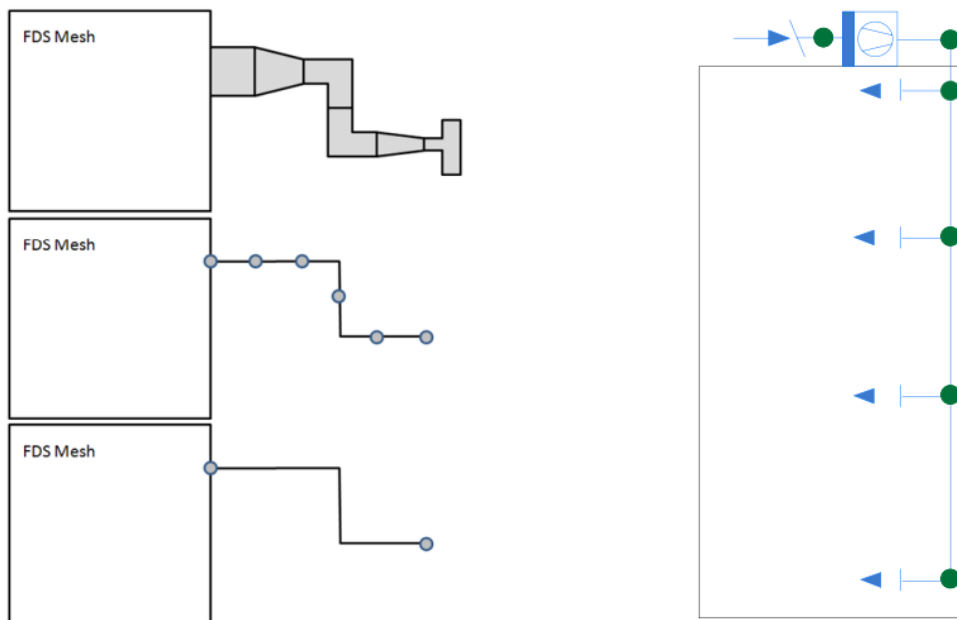


## MODEL POŽÁRNÍHO VĚTRÁNÍ

Program FDS disponuje systémem, který dokáže simulovat požární větrání (HVAC) mimo výpočetní síť MESH. Modelování HVAC je oproštěno od vytváření fyzických konstrukcí vzduchotechniky pomocí „Obstructions“, to umožňuje snadnější a rychlejší vytváření HVAC v daném prostoru. Jelikož tento systém je virtuální, tedy pouze výpočetní, nemusí být fyzicky vázán na MESH v modelu, to umožňuje vytvářet nezaokrouhlený složitější systém vzduchotechniky nezávisle na výpočetní síti. Příklad zjednodušení HVAC potrubí je znázorněn na (Obr.3 A). Celý model HVAC je modelován pomocí aproximace vzduchotechnického potrubí do uzlů (NODE) a spojovacích prvků (DUCT), které simulují jednotlivá potrubí. Uzly se umísťují na místa začátku/konce HVAC nebo kde dochází ke změně rozměrů potrubní sítě (Obr.3 B). Vlastnosti potrubí se vnášejí pomocí parametrů do prvků DUCT. Lze zde definovat například průřezová plocha, délka, průtok a ztráty. Ztráty jsou počítány z rovnice kontinuity (1) a rovnice ekvivalentní ztráty (2).

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (1)$$

$$K_{eff} = \sum_i (K_{minor})_i \left(\frac{A_{eff}}{A_i}\right)^2 \quad (2)$$



(A)

(B)

Obr. 3 (A) Příklad zjednodušení složité vzduchotechniky [2];

(B) Schéma reálného umístění NODE bodů (zeleně)

Fig. 3 (A) An example of simplifying a complex duct [2]; (B) Diagram of the actual location of NODE points (highlighted in green).

## MODEL NETĚSNOSTÍ DVEŘÍ

Jak již bylo zmíněno výše, u funkčnosti CHÚC hraje velikou roli správné užívání a údržba. Při revizi k datu 27.2.2023 byly nalezeny nedostatky u požárních uzávěrů v CHÚC. V 1.NP chyběly požární dveře na jedné straně, na straně druhé bylo zabráněno samozavírači k uzavření dveří (Obr.4 B). Mezi 2.NP až 7.NP byly dveře s následujícím výčtem nedostatků: prasklé dveřního křídlo v oblasti kování (Obr.4 A), chybějící těsnění na dveřním křídle i zárubni. Vlivem těchto nedostatků se ztrácí tlak v CHÚC, tím pádem nemusí být zaručen správný chod a funkce přetlaku.

V modelu jsou netěsnosti dveří vymodelovány dvěma způsoby:

- VENT: pro otvory větší než MESH;
- LEAK: pro otvory menší než MESH.



(A)



(B)

*Obr. 4 (A) Příklad netěsnosti dveří na CHÚC; (B) Příklad poškozených dveří na CHÚC  
Fig. 4 (A) An example of a door leak in an escape route; (B) An example of a damaged door in an escape route*

## ZÁVĚR

V této práci byla představena problematika provádění a udržování CHÚC. Dále byl vytvořen počítačový CFD model v programu FDS, který bude využit pro simulaci funkčnosti požárního větrání. V modelu proběhne měření proudění vzduchu na vyústkách, proudění vzduchu netěsnostmi dveřních křídel a přetlaku napříč celou CHÚC. Výsledky ze simulace se porovná v rámci předmětu 124SEM s naměřenými hodnotami z reálné zkoušky požárního větrání [3]. Následně bude provedena nová funkční zkouška přetlakového větrání CHÚC jinými metodami, než byly použity v diplomové práci Ing. Jordána [3].

## PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat paní Ing. Pavle Pechové, Ph.D. a panu doc. Ing. Vladimíru Mózerovi, Ph.D. za konzultace a pomoc, které byly poskytnuty v rámci přípravy modelu.

## LITERATURA

- [1] ČSN 73 0802 ed. 2 - Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [2] MCGRATTAN, Kevin, Simo HOSTIKKA, Randall MCDERMOTT, Jason FLOYD, Marcos VANELLA, Craig WEINSCHENK a Kristopher OVERHOLT. Fire Dynamics Simulator, User's Guide; (NIST Special Publication 1019, Sixth Edition). B.m.: VTT Technical Research Centre of Finland, NIST National Institute of Standards and Technology
- [3] JORDÁN, Lukáš. Přetlakové větrání chráněných únikových cest. Praha, 2023. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra technických zařízení budov. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavla Pechová, Ph.D.

## TESTOVÁNÍ NEJMENŠÍHO HASICÍHO ZAŘÍZENÍ NA SVĚTĚ

### TESTING THE WORLD'S SMALLEST FIRE EXTINGUISHER

**Bc. Matyáš Běl**

#### **Abstract**

*This paper presents the basic about the smallest fire extinguisher E-bulb, which is available from 2022, meaning it is a very new technology. It can be used in a wide range of electronic appliances where it is able to extinguish small fires at an early stage.*

**Key words:** Fire safety of buildings; Temperature; E-Bulb fuse; Fire extinguishing bulb; Electrical circuit; 3M NOVEC 1230; Fire suppression; Smallest extinguishing device

#### **ÚVOD**

Včasná detekce a signalizace je základem pro rychlé uhašení požáru. Dá se řešit instalací EPS nebo jiného PBZ. V prostorách uvnitř spotřebičů a elektrických zařízení není instalace jakýkoliv hlásičů EPS možná. Hlavními místy pro umístění EPS hlásičů jsou stěny nebo stropy, které detekují požár až v jeho pozdější fázi. Proto je v těchto případech nutné použít jiný druh požární detekce, tento typ detekce řeší pojistka E-bulb.

#### **Popis**

V celosvětovém měřítku je více než 30 % všech požárů způsobeno elektrickým proudem nebo elektřinou. S neodmyslitelným rizikem požáru od elektrických zařízení vzniká nebezpečí pro život, ztráty na majetku apod.

Proto bylo vyvinuto nejmenší hasící zařízení německou firmou JOB Group, která se zabývá systémy pro potlačení požáru. Především tedy vyvíjí, vyrábí a distribuuje teplem aktivované skleněné baňky pro sprinklery. Nově se společnost zaměřuje na vývoj již zmíněného nejmenšího hasícího zařízení na světě E-bulb (viz obr.1).

Skleněná ampulka E-bulb obsahuje kapalinu 3M™ Novec™ Engineered Fluid, která je netoxická a nevodivá. Při požáru ampulka praskne při teplotě mezi 130-160 °C, požár je uhašen v důsledku ochlazení a částečného snížení koncentrace kyslíku. E-bulb se vkládá přímo do elektrického obvodu na základovou desku (viz obr.2) a slouží zde i jako pojistka. Při prasknutí dojde k přerušení obvodu a tím se zamezí opětovné iniciaci požáru vlivem elektrického zkratu.



Obr. 1 Příklad tří velikostí E-bulb [1]  
Fig. 1 Example of three sizes of E-bulb[1]



(A)



(B)

Obr. 2 (A) E-bulb uložen na základové desce [2]; (B) Výbuch E-bulb při požáru [3]  
 Fig. 2 (A) E-bulb placed on the motherboard [2]; (B) E-bulb explosion during fire [3]

### Uplatnění

E-bulb jako nejmenší hasící zařízení najde uplatnění především v elektrických spotřebičích, které člověk používá v každodenním životě. Dle výrobce se může jednat o myčky, sušičky, počítače, rozvaděče a světelná zařízení. V průmyslu se E-bulb může uplatnit v počítačových skříních, elektrických skříních a obecně na jakýchkoliv plochých základních deskách, které se nachází téměř ve všech elektronických zařízeních. V těchto zařízeních E-bulb detekuje a hasí požáry v elektrických obvodech, které jsou rozsahem malé nebo jsou v rané fázi.

Prvním spotřebičem pro koncové zákazníky, který je vybaven pojistkou E-bulb, se stal televizor společnosti Walton Group v říjnu roku 2022. Pojistka E-bulb se instaluje přímo na základovou desku televizoru a během následujících let by měla být součástí více než půl milionu televizorů. E-bulb se již také používá v lékařské a mediální technice po celém světě, kde chrání kritickou elektroniku.

V německém Mnichově se konala případová studie, kdy bytové družstvo mělo zájem osadit novou moderní elektronickou nástěnkou místo klasické. Toto bohužel nebylo možné z důvodu přísným předpisům o požární ochraně pro památkově chráněné objekty, protože dřevem obložené únikové cesty se počítají mezi citlivé oblasti, ve kterých by i ten nejmenší elektronický požár se mohl rychle rozšířit a zkomplikovat evakuaci. S použitím pojistky E-bulb byla nástěnka schválena i přes náročné předpisy. [4]

### Postup zakomponování do elektrického obvodu

Nejlepší umístění E-bulb je v nějaké uzavřeném prostoru (skříně), při větrání dané skříně efektivnost hašení klesá. Čím uzavřenější je elektronická skříň, tím lépe a pravděpodobněji, že se podaří požár uhasit. Skleněná baňka E-bulb se vyrábí ve třech velikostech (viz tab.1), pro efektivnější hašení daného prostoru.

Pro zvýšení účinnosti hašení pomáhá identifikace možných horkých míst, aby bylo možné optimálně umístit pojistku E-Bulb. Čím blíže je E-Bulb umístěna k potenciálnímu zdroji požáru, tím dříve praskne.

V zásadě by měla být skleněná baňka E-bulb umístěna co nejvýše na základové desce. Hasicí médium Novec je těžší než vzduch, a proto automaticky klesá na dno skříně. Kromě toho teplý vzduch při požáru stoupá. Skleněná baňka E-Bulb by proto měla být umístěna v proudění horkého vzduchu. To umožní rychlejší aktivaci.

Tab. 1 Velikosti ampulek E-bulb [3]

Tab. 1 Ampoule sizes E-bulb [3]

	Velikosti ampulek (průměr × délka)		
	Ø 5 × 20 mm	Ø 5 × 40 mm	Ø 7 × 40 mm
Objem plynu $V_{\text{Gas}}$ [ml]	16,6	42,0	88,5
Ochráněný objem	416	1,049	2,212
Citlivost [s] <sup>1</sup>	48	48	48

Pozn.: 1) Testováno v aerodynamickém tunelu při rychlosti 2,54 m/s a teplotě vzduchu 135 °C.

### Novec 1230

Hasící medium Novec 1230, které je použito v E-bulb, je patentovaným výrobkem firmy 3M a byl vynalezen jako náhrada za pro životní prostředí nebezpečná halonová hasiva. Slouží pro všechny možné druhy aplikace, které dříve využívali halony. Dnešní poptávka volá po rychle hasícím, čistém a z dlouhodobého hlediska udržitelném hasivu. Hasivu s nejnižší možnou emisí skleníkových plynů, které bude možné použít k lokálnímu i totálnímu zaplavení prostor a pro člověka nebude nebezpečné. [5]

Typickými aplikacemi Novec v SHZ jsou serverovny a telekomunikační střediska.

Systémy stabilního hasícího zařízení, kde se Novec využívá, pracují velmi rychle. Hasí požár chemickou reakcí, která rozloží řetězec hoření. Přesněji umožňuje vytěsnit vzduch z prostoru, tím odvede kyslík od požáru. Zároveň rychle odvádí teplo, tím dokáže zchladit prostor.

Vliv hasících prostředků na lidské zdraví je klíčovým ukazatelem pro určení, zda je lze použít v místech, kde se nacházejí lidé. Škodlivost plynových hasících prostředků na lidské zdraví zahrnuje vlastní toxicitu, senzibilizační účinek na srdce a spotřebu kyslíku. Díky velmi nízké projektové koncentraci při hašení (4–6 %) není hasivo pro lidský organismus toxické okamžitě, ani z dlouhodobého hlediska. Z toho důvodu Novec 1230 patří mezi nejbezpečnější alternativy halonových hasiv. Použití Novec 1230 v E-bulb z pohledu toxicity je zanedbatelné díky malému objemu kapaliny v pojistce a zároveň nízké koncentraci Novec při hašení. [6]

### ZÁVĚR

Pojistka E-bulb je velice nová technologie k zabezpečení elektronických spotřebičů proti požáru. V budoucnu ji bude možné použít v celé řadě elektronických zařízení jako televize, počítače, servery. Již teď chrání kritickou elektroniku v nemocnicích a dále pomáhá schvalovat použití elektroniky na jinak nemožných místech z důvodů přísných předpisů o požární ochraně. Při designu použití E-bulb je důležitá dbát na umístění pojistky na základové desce k umožnění co nejrychlejší aktivaci zařízení a následnému uhašení požáru.

### LITERATURA

- [1] BĚL, Matyáš Fotky E-bulb
- [2] E-bulb. [obrázek]. In. www.job-group.com. JOB - Simply. More. Safety. [online]. [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: [https://www.jobgroup.com/fileadmin/Images/Content/Products/EBulb/E-Bulb\\_installation2.png](https://www.jobgroup.com/fileadmin/Images/Content/Products/EBulb/E-Bulb_installation2.png)
- [3] JOB GROUP. E-Bulb. JOB - Simply. More. Safety. [online]. Dostupné z: <https://www.jobgroup.com/en/products/e-bulb>
- [4] CASE STUDY. JOB GmbH [online]. Dostupné z: <https://jobgroup.wolkesicher.de/s/TCrpKcn-jxLDHEA7>
- [5] PAGLIARO, J. L. a G. T. LINTERIS. Hydrocarbon flame inhibition by C6F12O (Novec 1230): Unstretched burning velocity measurements and predictions. Fire safety journal. 2017, roč. 87, s. 10–17.
- [6] Properties and Characteristics of C6F12O [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://encyclopedia.pub/entry/21739>



## **POROVNÁNÍ ÚČINNOSTI HAŠENÍ RŮZNÝMI TYPY SPRINKLEROVÝCH HLAVIC V ADMINISTRATIVNÍ BUDOVĚ**

### **COMPARISON OF EXTINGUISHING EFFICIENCY OF DIFFERENT TYPES OF SPRINKLER HEADS IN AN OFFICE BUILDING**

**Bc. Naděžda Andryšová**

#### **Abstract**

*This article deals with a brief description of the sprinkler system, including the use of residential heads in office buildings. Office buildings usually fall into hazard class OH, i.e., medium hazard. According to ČSN EN 12 845, the location, number of sprinkler heads and individual parameters of the sprinkler system in a given office space are designed based on the hazard class. The space was modelled using the FDS software. The fire was located in the room at the least favourable, but at the same time most probable place of occurrence. Several simulations of combustion and subsequent self-extinguishing fire were run and finally evaluated and compared.*

**Key words:** *sprinkler systems; residential heads; administrative building; K factor; FDS*

#### **ÚVOD**

Sprinklerové stabilní hasící zařízení, zkráceně označovány jako „sprinklerové SSHZ“, je jedním z aktivních prostředků požární ochrany společně s požárními hlásiči, hasícími přístroji atd. Dle požární bezpečnosti staveb spadají sprinklerové SSHZ do vyhrazených požárně bezpečnostních zařízení. Jedná se o vybavení objektu, které se dle projektové dokumentace pevně nainstaluje do budovy a slouží svému účelu po celou dobu životnosti stavby. Jak již název napovídá, účelem této technologie je uvést vzniklý požár pod kontrolu, eliminovat rozšíření, anebo ho úplně uhasit. [1] Principem požární bezpečnosti, a tím i sprinklerového SSHZ, je zabránit ztrátám na životech lidí, zvířat, ale také i minimalizovat škody na majetku. Při použití se snižují nejen přímé majetkové škody, ale i škody způsobené nuceným přerušением činnosti provozu objektu. V neposlední řadě je dobré zmínit, že tento způsob hašení přispívá ke snížení ekologických škod požárem. [1] Sprinklerové SSHZ se navrhuje pro předem stanovené požární nebezpečí, které je dáno provozem objektu. Rozhodující je pro nás technická charakteristika hořlavé látky nebo výrobku, rozložení v námi chráněném prostoru a v neposlední řadě provozní podmínky. Tyto všechny části mají podstatný význam při projektování a jsou navrženy danému objektu přesně na míru. [1]

#### **SPRINKLEROVÉ HLAVICE**

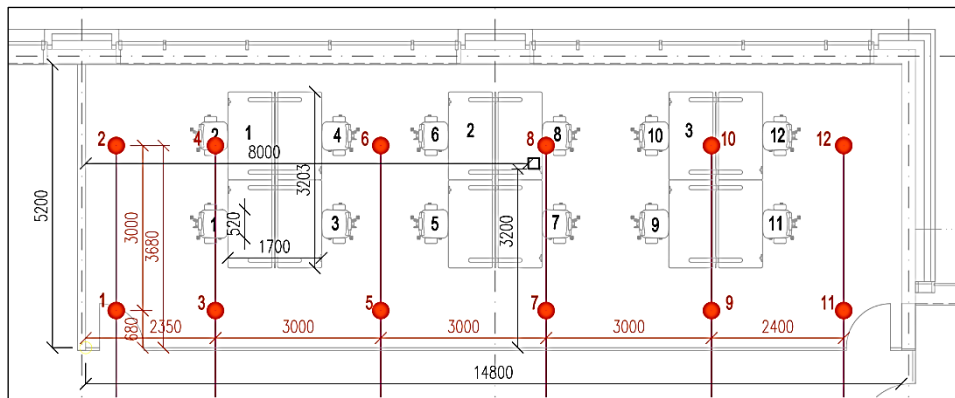
Sprinklerové hlavice jsou samočinné ventily na rozvodných potrubí, které reagují na vzniklý požár, nebo teplotu v okolí a zajišťují dodávku vody v chráněném prostoru. Jakmile je sprinkler aktivován, poklesne tlak v potrubí a uvedou se do činnosti všechny části sprinklerového SSHZ. [2] Výstřikové hlavice musí zajistit kromě rovnoměrného rozprostření vody, také dodávku množství o určité intenzitě. Pro průtok je rozhodující zejména K faktor. Ten se u nás pohybuje obvykle mezi 57-115 a stanovuje ho návrhový předpis ČSN EN 12 845 na základě třídy nebezpečí. Sprinklery s nižším K faktorem jsou pro menší objekty s menším požárním zatížením. Naopak se sprinklery, které mají číslo 115 a výše, se můžeme setkat ve skladovacích nebo výrobních prostorech. [2] Obecně hlavice můžeme podle instalace rozdělit do třech základních skupin a to stojaté, zavěšené a horizontální. Nejrozšířenějším typem jsou sprinklery stojaté. Jejich výhodou je použití jak u suchých, tak u mokrých systémů. Avšak v kancelářských budovách, kde se můžeme setkat se stropním podhledem, použijeme nejčastěji hlavice zavěšené.

## REZIDENČNÍ SPRINKLERY

Rezidenční sprinklery nejsou v ČR příliš rozšířené. Jedná se o speciální typ, který má vzhledem ke klasickým sprinklerovým hlavici rozdílnou charakteristiku výstřikového proudu. Tento typ sprinklerů byl vyvinut speciálně pro ochranu osob při evakuaci. Hlavice jsou konstruovány tím způsobem, že výstřikový proud zasahuje stěny místnosti a ochlazuje prostor včetně přilehlých konstrukcích. Výhodou použití je i rychlejší tepelná odezva (RTI) pod 50. Díky tvaru proudu a jemnosti rozstříku dokáže sprinkler minimalizovat škody na majetku. Proto se jejich použití zvažuje i u administrativních budov, kde kromě bezpečné evakuace osob hraje důležitou roli i vybavení objektu. [3]

## MODELOVÝ PŘÍKLAD V FDS

Za účelem ověření rozdílu mezi hašením běžně používanými hlavici a hlavici rezidenčními, byla vybrána reálná místnost v kancelářské budově. V místnosti jsou umístěné tři stoly s kancelářskými židlemi. Tento prostor byl vymodelován pomocí softwaru FDS a do pohledu byly zasaženy sprinklerové hlavice dle příslušné normy platné na území ČR.



Obr. 1 Půdorys řešené místnosti

Fig. 1 Floor plan of the room

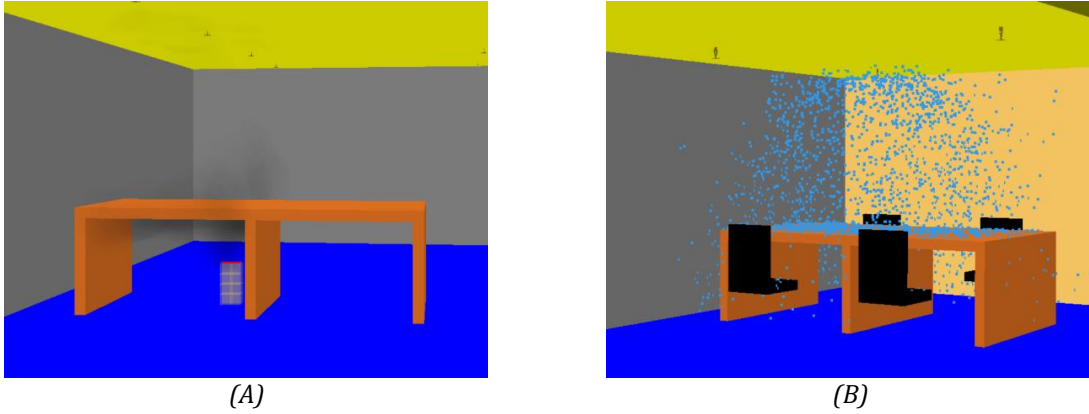
Pro ověření efektivnosti hašení byl do místnosti situován požár na špatně přístupném místě. Jednalo se o umístění požáru pod kancelářským stolem patrné z Obr. 1. Zdroj hoření simuluje kancelářský koš s papírem, který je jeho iniciátorem a zapříčiní vznik požáru v místnosti. Maximální hodnota HRR křivky zdroje hoření je 18,1 kW [4]. Požár koše zapříčiní zapálení a odhořívání kancelářského nábytku. Výpočetní čas simulace byl stanoven na 350 s.

Než došlo k samotnému výpočtu takto velké a plně vybavené kanceláře, bylo provedeno několik menších pokusných výpočtů. Ty měly zajistit přesnost a reálné chování simulace. Zdroj požáru byl proto nejprve odzkoušen v prázdné místnosti malých rozměrů. Dále byl přidán kancelářský stůl nad zdroj hoření a sledovalo se postupné odhořívání a rozvoj požáru. V posledním kroku se osadily sprinklerové hlavice pod stropní konstrukci a zkoušela se přesnost hašení. Pro náš výpočet byly použity hlavice TYCO závěsné TY 3241 K80 [5] a rezidenční TY 4234 [6].

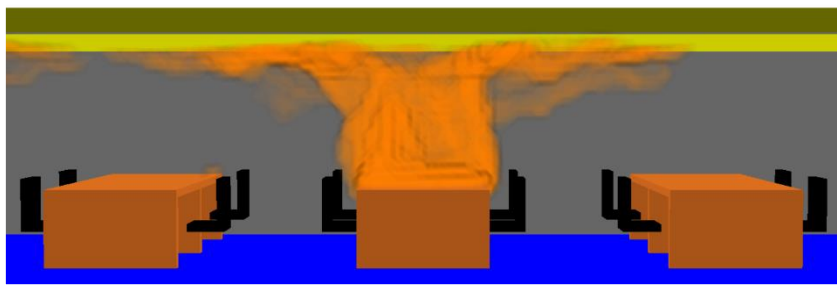
## VÝSLEDKY VÝPOČTU V FDS

Finální výpočet byl proveden pro několik variant. Jako první byl zaznamenán průběh samotného hoření, bez vlivu sprinklerů. Tento průběh ukazuje požár, pokud by sprinklery nezafungovaly, nebo by se v místnosti vůbec nevyskytovaly viz Obr. 3,4. Dalšími výstupy jsou průběhy požárů s aktivací sprinklerů. Navržené druhy hlavice a jejich účinnost byla porovnána a zanesena do grafu společně s HRR křivkou požáru. Jak je vidět z Obr. 5, výpočetní čas zcela postačil a požár kolem 280 s zcela uhasíná.

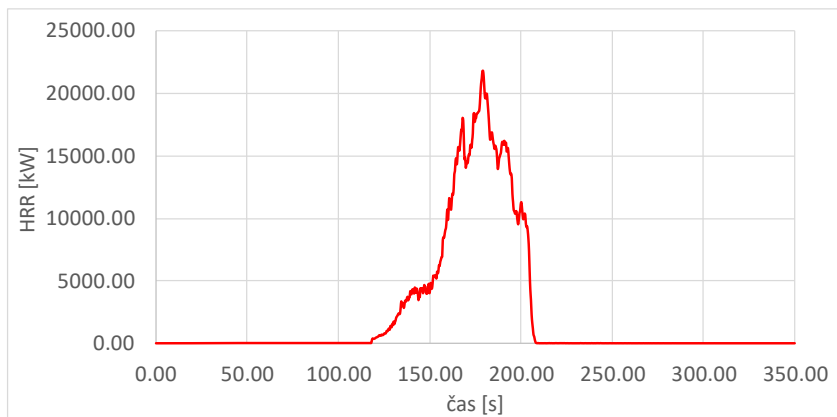




Obr. 2 (A) Zkouška požáru v čase 120 s; (B) Zkouška sprinklerových hlavice v čase 170 s  
 Fig. 2 (A) Fire test in 120 s; (B) Sprinkler heads test at 170 s

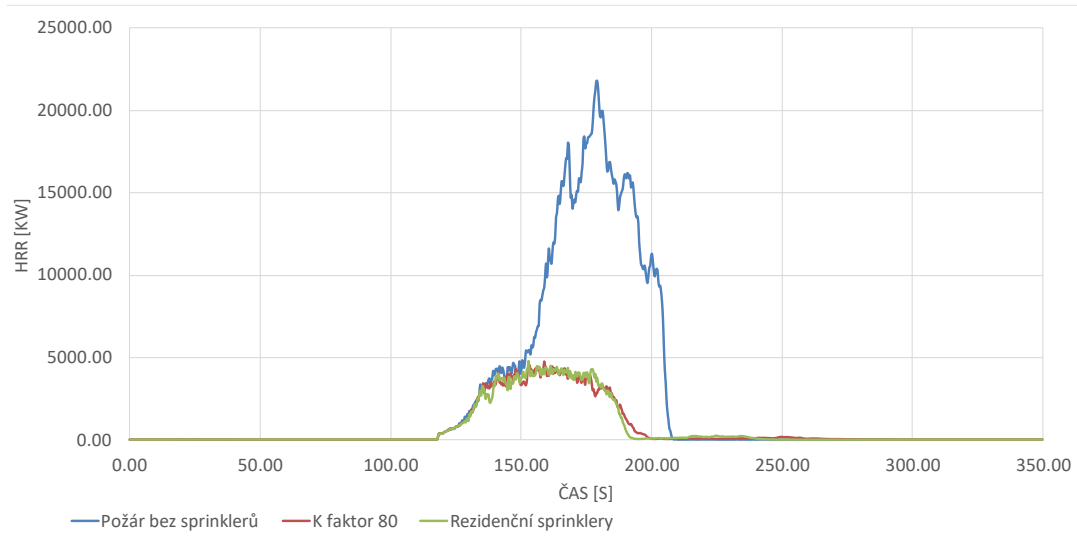


Obr. 3 Průběh požáru v 170 s  
 Fig. 3 Fire progress in 170 s



Obr. 4 HRR křivka požáru  
 Fig. 4 HRR fire curve

Jak je vidět na Obr. 5, průběh požáru s absencí sprinklerů zcela převyšuje ostatní HRR křivky. Při porovnání průběhu požárů, kde došlo k aktivaci sprinklerů, je na první pohled patrný podobný průběh, avšak při podrobnější analýze můžeme pozorovat nepatrné rozdíly. Obecně se dá říct, že se potvrdila rychlejší tepelná odezva RTI, oproti klasickému sprinkleru s K faktorem 80, a to s rozdílem 5 s. Dalším rozdílem byl odlišný čas uhašení, a to s rozestupem 20 s. Kvůli speciální konstrukci residenčních hlavice, dokáže sprinkler uhasit požár efektivněji a s menšími škodami na majetku. Na základě těchto informací mohu říci, že celková účinnost residenčních hlavice je lepší, pro mnou vytvořenou modelovou situací.



Obr. 5 Porovnání HRR křivek  
Fig. 5 Comparison of HRR curves

## ZÁVĚR

V závěru je důležité říct, že pro přesnější a podrobnější výsledky, by bylo nutné vytvořit model mnohem propracovanější a časově náročnější, než jaký byl použit v tomto případě. Obvykle jsou v administrativních budovách, spadající do třídy nebezpečí OH, navrhovány hlavice s K faktorem 80. Pro menší kancelářské prostory, podobající se spíše rezidenčním objektům, mohou být rezidenční sprinklery velice účinné a zabránit větším škodám na majetku než sprinklery klasicky používané.

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat doc. Ing. Vladimíru Mózerovi, PhD., za rady poskytnuté při programování v softwaru FDS.

## LITERATURA

- [1] RYBÁŘ, Pavel. *Příklady použití stabilních hasicích zařízení v ochraně majetku a technologií*. 2014. vyd. Praha: Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, nedatováno. ISBN 978-80-86466-71-2.
- [2] Sprinklerová stabilní hasicí zařízení - I. díl. TZB-info [online]. [vid. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/pozarni-vodovod/13971-sprinklerova-zarizeni-i-dil>
- [3] KRATOCHVÍL, Václav, Šárka NAVAROVÁ a Michal KRATOCHVÍL. *Požárně bezpečnostní zařízení ve stavbách. Stručná encyklopedie pro jednotky PO, požární prevenci a odbornou veřejnost*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2021. ISBN 978-80-7385-238-2.
- [4] WALD, František a kol. *Modelování dynamiky požáru v budovách*. B.m.: České vysoké učení technické v Praze, Leden 2017. ISBN 978-80-01-05633-2.
- [5] Řada TY-B – faktor K 57, 80 a 115, Vzpřímené a závěsné sprinklery, Speciální reakce, standardní pokrytí [www.tyco-fireproducts.com](http://www.tyco-fireproducts.com) [online]. Dostupné z: [https://www.tyco-fsbp.com/TFP\\_translate/TFP672\\_CS.pdf](https://www.tyco-fsbp.com/TFP_translate/TFP672_CS.pdf)
- [6] RAPID RESPONSE Series LFII Residential Sprinklers 6.9 K-factor, Pendent/Recessed Pendent/Concealed, NFPA 13 Optimized Wet Pipe Systems. [www.tyco-fire.com](http://www.tyco-fire.com) [online]. Dostupné z: [https://wormald.com.au/wp-content/uploads/2020/04/LFII-Pendent\\_6.9\\_K-factor\\_9\\_94\\_metric\\_Optimised\\_Wet\\_Pipe\\_Systems\\_.pdf](https://wormald.com.au/wp-content/uploads/2020/04/LFII-Pendent_6.9_K-factor_9_94_metric_Optimised_Wet_Pipe_Systems_.pdf)

## SPRINKLEROVÁ STABILNÍ HASÍCÍ ZAŘÍZENÍ VE SKLADOVACÍCH HALÁCH SE ZAMĚŘENÍM NA POROVNÁNÍ RŮZNÝCH DRUHŮ SPRINKLEROVÝCH HLAVIC V ZÁVISLOSTI NA VÝŠCE USKLADNĚNÍ

### SPRINKLER FIXED EXTINGUISHING SYSTEMS IN STORAGE HALLS WITH A FOCUS ON THE COMPARISON OF DIFFERENT TYPES OF SPRINKLER HEADS DEPENDING ON THE STORAGE HEIGHT

Bc. Jan Lutovský

#### **Abstract**

*The work is focused on sprinkler stable fire extinguishing systems in storage areas with the dependence on the possibility of changing the storage height. The first part is devoted to the theoretical part, which aims to gain an overview of the issue for the follow-up to the second part, dealing with the research problem of the influence of the change of storage height on the effectiveness of sprinkler extinguishing using simplified models in Fire Dynamics Simulator (FDS). The results are intended to be a practical guide and aid for the selection of sprinkler heads and the securing system depending on the specific storage height of the material in the storage area.*

**Key words:** Sprinkler stable extinguishing systems; storage height; spray sprinkler; ESFR sprinkler; K factor

#### **ÚVOD**

Tento článek se zabývá problematikou zaměřenou na sprinklerová stabilní hasící zařízení (SSHZ) ve skladovacích halách s ohledem na výšku uskladnění materiálu. V těchto prostorech se obvykle vyskytují velmi cenné výrobky, a proto je potřeba dbát na jejich co nejefektivnější ochranu. Sprinklerová stabilní hasící zařízení jsou dle vyhlášky ministerstva vnitra č. 246/2001 Sb., o požární prevenci zařazena do vyhrazených požárně bezpečnostních zařízení a mají podstatný vliv na celkovou požární ochranu budov. Jejich funkce a vlastnosti jsou ovlivněny mnoha faktory, které jsou výrazným aspektem a vlivem na efektivitu hašení těchto zařízení. Jedním z těchto faktorů je výška uskladnění skladového materiálu, na kterou je práce detailně zaměřena.

#### **SPRINKLEROVÁ STABILNÍ HASÍCÍ ZAŘÍZENÍ**

Sprinklerovým stabilním hasícím zařízením se rozumí soubor systémů, instalovaných trvale na jiných technologických zařízeních nebo v objektech, za cílem uhašení požáru proudem vody, lokalizování, či jeho uvedení pod kontrolu. Hašení začíná téměř ihned po iniciaci požáru. Sestava sprinklerových stabilních hasících systémů se skládá ze zdroje hasiva, čerpadel, potrubních rozvodů, řídicích ventilů a samotných výstřikových koncovek (sprinklerových hlavíc). [1], [2]

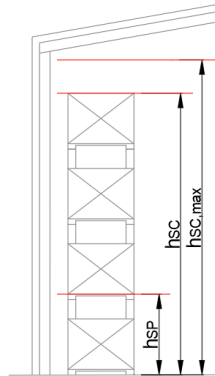
#### **LEGISLATIVA SSHZ VE SKLADOVACÍCH PROSTORECH**

Nutnost a instalaci sprinklerových stabilních hasících zařízení ve skladovacích prostorech udává ČSN 73 0845 a samotný návrh je v České republice podmíněn ČSN EN 12845+A1. [3], [4]

#### **SKLADOVACÍ VÝŠKA**

Skladovací výška je definována jako výška, na základě které lze určit významná kritéria pro návrh skladovacích hal. Rozeznáváme tři typy skladovacích výšek – celkovou, souvislou a mezní. Celková skladovací výška je souvislá vzdálenost od podlahy, k nejvýše umístěnému skladovacímu materiálu, značí se  $h_{sc}$ . Souvislá skladovací výška je vzdálenost mezi přepážkami (či jiným omezením),

kteří jsou vodorovné a můžou bránit svislému šíření požáru po povrchu, ta je značena  $h_{sp}$ . Mezní skladovací výškou je nejvyšší povolená skladovací výška dle příslušných norem, ta se značí se  $h_{sc, max}$ . Zmíněné definice skladovacích výšek z ČSN 73 0845 jsou schématicky zobrazeny na následujícím zpracovaném obrázku (obr. 1). [3]



Obr. 1 Označení skladovacích výšek  
Fig. 1 Marking of storage heights

## MODELOVANÝ PROSTOR

Pro získání výsledků byly v rámci řešeného příkladu vymodelovány tři zjednodušené modely skladového prostoru v programu Fire Dynamics Simulator (FDS) o velikosti výpočetní sítě  $0,1\text{ m} \times 0,1\text{ m} \times 0,1\text{ m}$ . Všechny tři modely měly světlé půdorysné rozměry  $18,0\text{ m} \times 18,0\text{ m}$  s rozdílnými výškami prostoru o světlosti  $5,5\text{ m}$ ,  $8,5\text{ m}$  a  $11,5\text{ m}$ . Celkové výšky uskladnění ( $h_{sc}$ ) byly stanoveny na  $4,0\text{ m}$ ,  $7,0\text{ m}$  a  $10,0\text{ m}$  pro získání relevantních dat kvůli patřičnému reflektování a celkovému průřezu touto problematikou. Do středu místnosti byly umístěny dva paletové regály se čtyřmi paletami v jedné řadě (způsob skladování dle ČSN EN 12845+A1 – ST4). Počet paletových modulů regálu na výšku je ovlivněn daným modelem řešených skladovacích výšek. Jedna regálová úroveň (souvislá skladovací výška –  $h_{sp}$ ) má výškový modul  $1,4\text{ m}$ . Skladovací materiál byl uvažován jako volné vysoce hořlavé polyuretanové izolační desky na dřevěných europaletách (napěněný plast, kategorie skladování IV dle ČSN EN 12845+A1). V programu FDS je skladový materiál naprogramován jako krychle  $1,0\text{ m} \times 1,0\text{ m} \times 1,0\text{ m}$ .

## NASTAVENÍ VLASTNOSTÍ POŽÁRU

Pro správný průběh simulace, a tedy získání patřičných a vypovídajících výsledků je za potřebí mít funkčně nastavenou iniciaci požáru v programu FDS. Jako zdroj zapálení byl na spodní část krychle umístěn tzv. „iniciátor“ (INIT) o velikosti  $0,5\text{ m} \times 0,5\text{ m} \times 0,1\text{ m}$ , která měla nastavený materiál pro již zmíněný polyuretan. Tento iniciátor zapálení charakterizuje možnou reálnou iniciaci ve skladovém prostoru. Skladovací materiál (polyuretanové desky) měly nastavené reálné materiálové vlastnosti a po zahájení požáru se na tento skladovací materiál měl požár rozšířit.

## NASTAVENÍ VLASTNOSTÍ SPRINKLEROVÝCH HLAVIC

Sprinklerové hlavice a jejich vlastnosti jsou stěžejním pilířem pro získání relevantních dat, neboť na nich jsou přímo závislé výsledky výzkumu, jejich implementace a prezentace. Pro porovnání byly zvoleny reálné varianty SSHZ ve skladovacích prostorech. První variantou byl scénář bez SSHZ, který sloužil pouze pro porovnání s ostatními. Stěžejní je komparace mezi variantou se standardními zavěšenými sprinklerovými hlavici K115 (stropní + regálové) se zavěšenými ESFR hlavici K360 (stropní), které obvykle využívají velmi vysoký průtok při hašení. Návrh hlavice respektoval ČSN EN 12845+A1 a příslušné další dokumenty pro návrh. Výjimku tvořila varianta pro použití ESFR hlavice K360 pro skladovací výšku  $10\text{ m}$ , která se dle této normy již neuplatní.

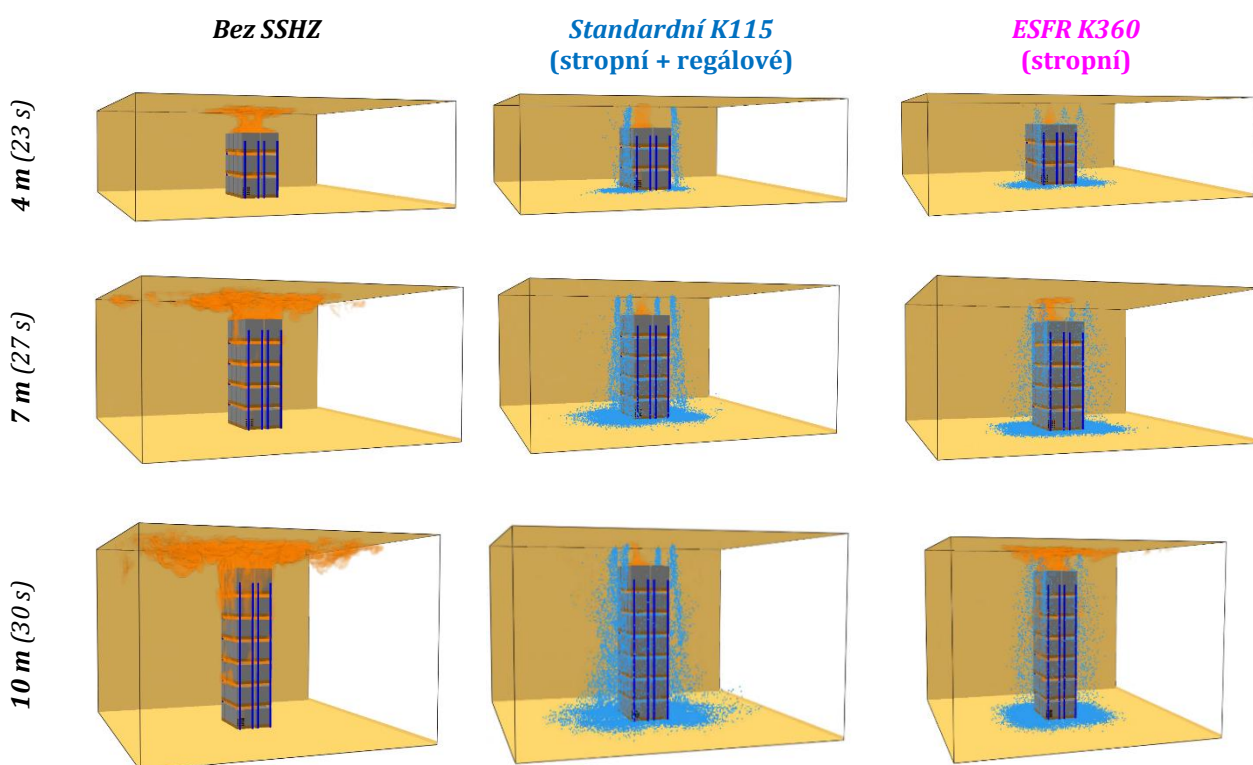
## PRŮBĚHY SIMULACE A IMPLEMENTACE VÝLEDKŮ

Předpokladem tohoto výpočtu byl velmi rychlý proces rozvoj požáru a taktéž hašení, neboť se jedná o vysoce hořlavý materiál. Následující obrázky (obr. 2) simulace zobrazují porovnání hašení jednotlivých scénářů v časech, pro jednotlivé řešené skladovací výšky. Výsledky jsou zobrazeny v následujícím grafu (obr. 3), který znázorňuje časy hašení jednotlivých řešených variant.

Tab. 1 Vstupní vlastnosti a parametry sprinklerových hlavice

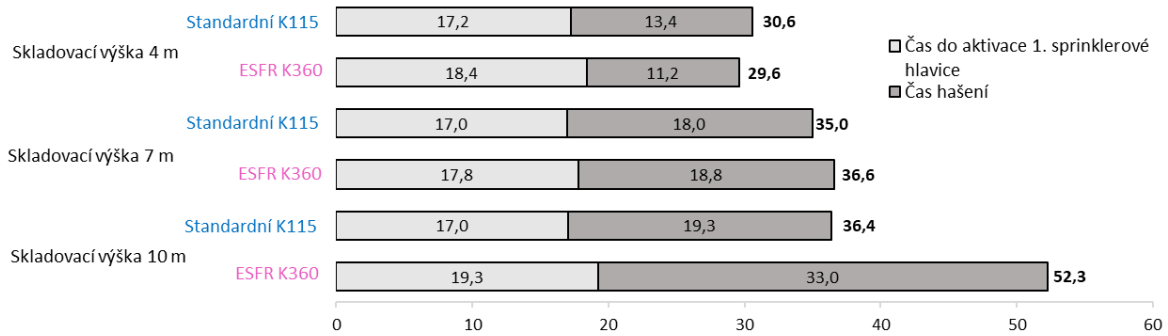
Tab. 1 Input properties and parameters of sprinkler heads

Parametr	K 115 (stropní)	K115 (regálové)	ESFR K360 (stropní)
K faktor	115	115	360
Tlak na hlavici [bar]	0,5	1,0	4,8
Průtok hlavice [l/s]	83,31	115	788,72
Velikost kapek [ $\mu\text{m}$ ]	200	200	1000
Úhel vodního kužele ve svislé rovině [°]	0 – 70	0 – 70	0 – 45
Tepelná odezva baňky (RTI)	50	50	26
Aktivační teplota [°C]	68	68	68

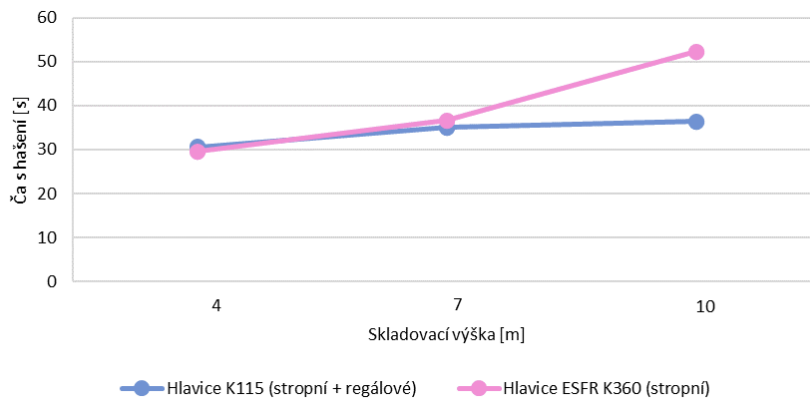


Obr. 2 Simulace pro jednotlivé skladovací výšky a typy hlavice  
Fig. 2 Simulations for individual storage heights and head types

Jednotlivé časy jsou implementovány do grafu (obr. 4), který znázorňuje efektivitu hašení pro řešené typy hlavice v závislosti na přibývajícím výšce uskladnění. Z grafu je patrné, že s přibývajícím výškou uskladnění se zhoršují podmínky pro aplikaci ESFR sprinklerových hlavice K360 (stropní jižtění), což také potvrzuje požadavky z tab. P.9, přílohy P ČSN EN 12845+A1, kdy se tyto sprinklerové hlavice pro sklad polyuretanových desek dle této normy uplatní pouze do výšky uskladnění 7,6 m. Graf názorně reflektuje, že zlomový bod mezi řešenými variantami přichází právě ve výšce uskladnění 7 m.



Obr. 3 Časy začátku a konce hašení  
Fig. 3 Start and end times of extinguishing



Obr. 4 Efektivita sprinklerových hlavice v závislosti na výšce uskladnění  
Fig. 4 Efficiency of sprinkler heads as a function of calibration height

## ZÁVĚR

V této práci je představena problematika sprinklerových stabilních hasících zařízení ve skladovacích halách se zaměřením závislosti výšky uskladnění na efektivitu sprinklerových hlavice. Po získání požadujících znalostí dané problematiky byly vytvořeny tři zjednodušené modelové prostory o různých reprezentativních skladovacích výškách, které simulovaly reálný prostor skladovací haly. Následně do každého modelového prostoru byly jednotlivě umístěny tři varianty scénářů pro porovnání časů hašení. Výsledkem je graf, který znázorňuje časy hašení jednotlivých variant v závislosti na výšce uskladnění. Je patrné, že s přibývajícím celkovou skladovací výškou je použití sprinklerových ESFR hlavice K360 (stropní jištění) oproti standardním sprejovým hlavice K115 (stropní + regálové jištění) méně vhodné z důvodu absence regálových sprinklerových hlavice. Výsledky tohoto výzkumu potvrzují požadavky z tab. P.9, přílohy P ČSN EN 12845+A1, kde se nad skladovací výšku 7,6 m pro tuto materiál již instalace ESFR K360 (stropní jištění) neuplatní.

## LITERATURA

- [1] RYBÁŘ, Pavel. *Sprinklerová zařízení*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2011. ISBN 978-80-7385-106-4.
- [2] KRATOCHVÍL, Václav; NAVAROVÁ, Šárka; KRATOCHVÍL, Michal; a KOL. *Požárně bezpečnostní zařízení ve stavbách; Stručná encyklopedie pro jednotky PO, požární prevenci a odbornou veřejnost; II. doplněné a upravené vydání*. Praha: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, z.s; KRASO, požárně technický servis, s.r.o., 2021. ISBN 978-80-7385-238-2.
- [3] ČSN 73 0845; *Požární bezpečnost staveb - Sklady*. Český normalizační institut. 2012.
- [4] ČSN EN 12845+A1; *Stabilní hasící zařízení - Sprinklerová zařízení - Navrhování, instalace a údržba*. Český normalizační institut. 2020.



**Zapálení2023**  
sborník 6. studentské vědecké konference Fakulty stavební ČVUT v Praze

**kolektiv vedoucích předdiplomních prací:**  
Pokorný Marek, Mózer Vladimír, Hejtmánek Petr, Najmanová Hana, Wald František, Štefan Radek, Pechová Pavla, Koubková Ilona, Cábová Kamila, Sokol Zdeněk, Velebil Lukáš, Benýšek Martin, Chylík Roman, Novák Josef

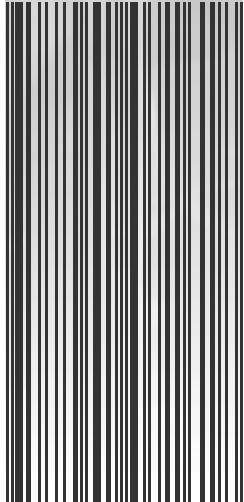
**Vydalo:** České vysoké učení technické v Praze  
**Zpracovala:** Fakulta stavební ČVUT v Praze  
Katedra konstrukcí pozemních staveb  
Thákurova 7, 166 29, Praha 6  
**Tisk:** on-line verze

94 strany | první vydání elektronicky  
ISBN 978-80-01-07161-8  
Červen 2023





ISBN 978-80-01-07161-8



**Zapálení2023**  
**sborník 6. 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

94 strany | první vydání elektronicky  
ISBN: 978-80-01-07161-8  
Červen 2023