



ČVUT

FSv



**sborník 4. studentské  
vědecké konference**

**Zapálení2021**

Fakulta stavební | 3.–4. 6. 2021

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 4. studentské  
vědecké konference**

**Zapálení2021**

Fakulta stavební | 3.–4. 6. 2021  
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., Hejtmánek, P., Wald, F., Mózer, V., Štefan, R., Pechová, P., Koubková, I.,  
Cábová, K., Velebil, L., Sokol, Z., Netušil, M., Benýšek, M., Novák, J., 2021**

**ISBN 978-80-01-06849-6**



## **PŘEDMLUVA**

Čtvrtý ročník konference Zapálení2021 pořádaný ve dnech 3. a 4. června 2021 na Fakultě stavební ČVUT v Praze je zaměřen na aktuální poznatky v oboru požárního inženýrství a bezpečnosti staveb. Záměrem konference je vytvořit místo pro setkání a diskuzi Zapálených – studentů, pedagogů i praktiků.

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

Na konferenci jsou zváni všichni pro požární obor Zapálení! Z řad studentů jsou zváni zejména naši mladší studenti 3. a 4. ročníku 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 předdiplomních prací a vyučující na „Qvéčku“, 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 „Qvéčka“ 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 Zapálení2021 vznikla za podpory interního projektu SVK č. 03/21/F1 na ČVUT v Praze pro rok 2021. Zapálení tímto srdečně děkují!

**kolektiv vedoucích předdiplomních prací**





## OBSAH

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

### SEKCE A | POŽÁRNÍ BEZPEČNOST STAVEB

BURIAN, M.   Analýza chování účinku požáru ve větrané dutině u fasádních systémů.....	9
TICHAVA, F.   Revize požadavků na požární bezpečnost ETICS.....	13
ŠAFRÁNKOVÁ, M.   Analýza národní kategorizace do druhu konstrukční části.....	17
VORLÍČKOVÁ, E.   Požární rizika při výstavbě dřevostavby .....	21
HABĚTÍNEK, A.   Elektromobilita – nabíjecí stanice z hlediska požární bezpečnosti .....	25
BARTONÍČEK, O.   Hlasové výstražné systémy pro vyhlášení požárního poplachu .....	29

### SEKCE B | NAVRHOVÁNÍ KONSTRUKCÍ ZA POŽÁRU

KOHOUTOVÁ, A.   Využití metody konečných prvků pro teplotní a mechanické výpočty .....	35
MACHÁČ, M.   Měření pórového tlaku v betonu vystaveném vysokým teplotám .....	39
HOLEČEK, P.   Vliv chemické degradace betonu na požární odolnost železobetonových konstrukcí .....	43
VYLEŤAL, D.   Experimentální analýza betonu a betonových prvků vystavených vysokým teplotám .....	47
LUŠTINEC, F.   Modelování požáru a sdílení tepla na mostních konstrukcích .....	51
KOVÁŘÍK, T.   Modelování požáru a analýza požární odolnosti konstrukcí se zohledněním náhodnosti vstupních parametrů.....	55
PROKOPOVÁ, E.   Pokročilé stavební materiály v požární ochraně .....	59
RADCHUK, M.   Citlivostní analýza přestupu tepla v dřevěném spoji s vloženou ocelovou deskou pomocí pokročilého modelování.....	63
SROKOVÁ, A.   Požární návrh tesařského spoje dřevěné konstrukce .....	67
KRÁSNICKÝ, V.   Analýza vlivu otevíravých otvorů v systému ZOKT a přirozeném odvětrání multifunkční haly .....	71

### SEKCE C | AKTIVNÍ POŽÁRNÍ OCHRANA

KOVÁŘ, M.   Detekce požáru v dřevěných historických objektech.....	77
MERTL, J.   Sprinklerová hasící zařízení v budovách pro bydlení .....	81
VLASÁKOVÁ, A.   Stabilní hasící zařízení v garážích.....	85
TRNKOVÁ, P.   Sprinklerové SHZ ve skladovacích prostorech.....	89
KIRSCHBAUM, J.   Sprinklerové SHZ v administrativních budovách.....	93
BOLKOVÁ, L.   Srovnání stabilního hasícího zařízení mlhového a sprinklerového.....	97

## TABLE OF CONTENTS

### SECTION A | FIRE SAFETY OF BUILDINGS

BURIAN, M.   Analysis of Fire Behavior in Ventilated Cavities in Facade Systems .....	9
TICHAVA, F.   Revision of Fire Safety Requirements for ETICS .....	13
ŠAFRÁNKOVÁ, M.   Analysis of the National Categorization of the Construction Component Type .....	17
VORLÍČKOVÁ, E.   Fire Risks of Timber Buildings.....	21
HABĚTÍNEK, A.   Electromobility – Charging Stations IN TERMS OF FIRE SAFETY .....	25
BARTONÍČEK, O.   Voice Warning Systems for Fire Alarm.....	29

### SECTION B | STRUCTURAL DESIGN IN FIRE

KOHOUTOVÁ, A.   The Usage of Finite Element Method in Thermal and Mechanical Calculations .....	35
MACHÁČ, M.   Methods of Measurement of Pore Pressure in Concrete Exposed to High Temperatures .....	39
HOLEČEK, P.   Influence of Chemical Degradation of Concrete on Fire Resistance of Reinforced Concrete Structures.....	43
VYLEŤAL, D.   Experimental Analysis of Concrete and Concrete Structures Exposed to High Temperatures .....	47
LUŠTINEC, F.   Fire Modelling and Heat Transfer on Bridge Structures.....	51
KOVÁŘÍK, T.   Fire Modelling and Fire Resistance Analysis of Structures Taking into Account the Randomness of Input Parameters .....	55
PROKOPOVÁ, E.   Advanced Building Materials in Fire Protection.....	59
RADCHUK, M.   Sensitivity Analysis of Heat Transfer in Steel to Timber Joint Using Advanced Modelling .....	63
SROKOVÁ, A.   Fire Design of a Carpenter's Joint of a Wooden Structure .....	67
KRÁSNICKÝ, V.   Analysis of The Influence of Opening Vents in the SHEVS and Natural Ventilation Multifunctional Halls .....	71

### SECTION C | ACTIVE FIRE PROTECTION

KOVÁŘ, M.   Fire Detection in Wooden Historical Structures .....	77
MERTL, J.   Sprinkler Fire Extinguishers in Residential Buildings .....	81
VLASÁKOVÁ, A.   Fixed Extinguishing System in Parking Garage .....	85
TRNKOVÁ, P.   Sprinkler Systems in Warehouse.....	89
KIRSCHBAUM, J.   Fixed Firefighting Systems in Office Buildings .....	93
BOLKOVÁ, L.   Differences between Mist Fire Extinguishing Systems and Sprinkler Fire Extinguishing Systems .....	97







## ANALÝZA CHOVÁNÍ ÚČINKU POŽÁRU VE VĚTRANÉ DUTINĚ U FASÁDNÍCH SYSTÉMŮ

### ANALYSIS OF FIRE BEHAVIOR IN VENTILATED CAVITIES IN FACADE SYSTEMS

**Bc. Michal Burian**

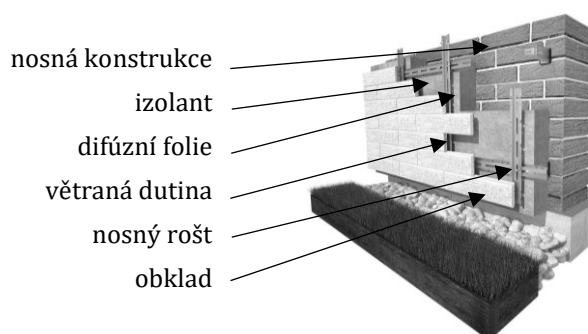
#### **Abstract**

*Facade systems form an integral part of the building envelope, as their properties greatly affect the quality of the indoor environment, but also the overall visual perception of the building. Although ETICS is more often preferred, ventilated facade systems have an important position in the field of construction. Due to the large number of materials, assembly technologies and design procedures that are commonly used, the current state of knowledge is insufficient, and the standards are not able to respond adequately to it. The introduction of this article summarizes the current state of knowledge of fire behavior in ventilated cavity with pointing to the catastrophic example of poor design of a ventilated façade, namely the fire of the Grenfell Tower. The second part is dedicated to the mathematical model. The ventilated cavity model is compiled and validated for a specific study so that it can be further worked with. The model monitors the incident heat fluxes on the surface of structures, temperature, and the velocity of flowing hot gases.*

**Key words:** fire safety; ventilated façade; cavity; flame spread; FDS

#### **ÚVOD**

Fasádní systémy tvoří nedílnou součást obálky budovy, neboť svými vlastnostmi velmi ovlivňují kvalitu vnitřního prostředí, ale také celkový vizuální vjem z budovy. Ačkoliv ve většině případů se uplatňují kontaktní zateplovací fasádní systémy (ETICS), větrané fasádní systémy (obr. 1) mají svou nezbytnou pozici na poli výstavby. V současné době existuje velké množství materiálů, montážních technologií a návrhových postupů, které se běžně používají při návrhu a provádění větraných fasádních systémů, na něž české technické normy jsou vzhledem k současnému stavu poznání chování účinků požáru ve větrané dutině schopny reagovat pouze omezeně.

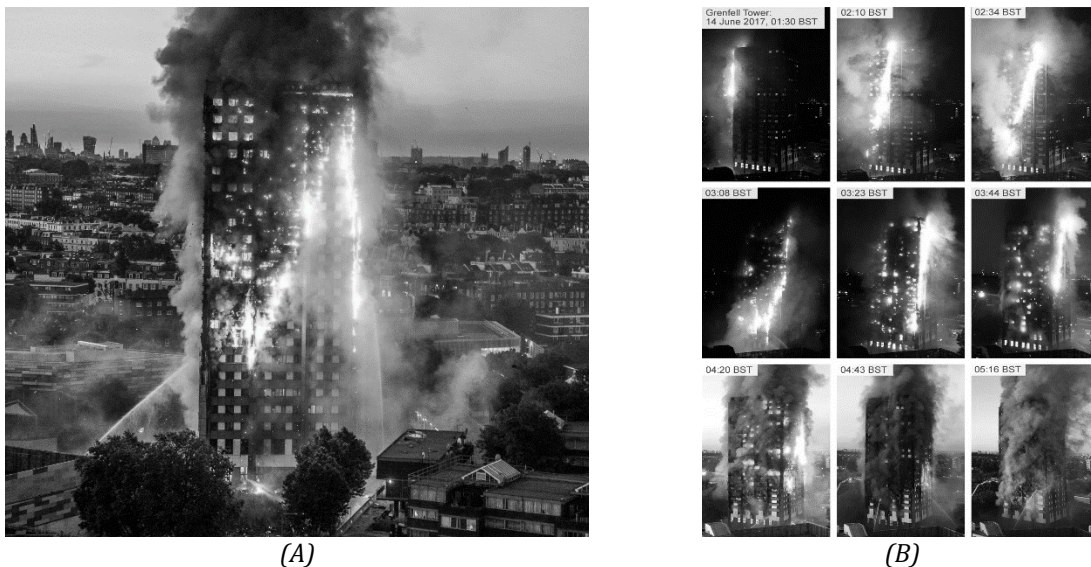


*Obr. 1 (A) Běžná skladba větraného fasádního systému  
Fig. 1 (A) A common layer of a ventilated façade system*

#### **VĚTRANÁ DUTINA**

Větraná dutina je elementárním prvkem, který zajišťuje správnou funkčnost větraného fasádního systému. Obvykle dosahuje šířky 40 až 60 mm, primárně slouží k odvodu vodní páry, ale rovněž umožňuje snižovat tepelné zisky během letních měsíců, které jinak vedou ke zhoršení kvality vnitřního prostředí. Otázkou v současné době ovšem zůstává, jak minimalizovat riziko šíření požáru ve větrané dutině. Fatálním případem špatně navrženého a provedeného větraného fasádního systému z hlediska požární bezpečnosti je například událost z roku 2017, a to požár Grenfell

Tower v Londýně (obr. 2A). Při této události došlo k velmi rychlému šíření požáru dutinou větraného fasádního systému po celé výšce (viz obr. 2B) objektu vlivem použití hořlavého izolantu, hořlavého obkladu a absenci požárních bariér, dále vzhledem k předsazené montáži oken i rychlému rozšíření do jednotlivých požárních úseků, což vedlo k velkému množství zraněných a mrtvých.



Obr. 2 (A) Požár Grenfell Tower, zdroj: Design Building Wiki; (B) Časový sled požáru, zdroj: BBC  
 Fig. 2 (A) Grenfell Tower fire, source: Design Building Wiki; (B) Time sequence, source: BBC

### CHOVÁNÍ POŽÁRU VE VĚTRANÉ DUTINĚ

Chování požáru ve větrané dutině při proměnlivé šířce popisuje studie z roku 2017 [1]. Při zkoumání chování požáru v dutině byla hodnocena výška plamene (vizuálně), hustota dopadajícího tepelného toku na povrch jedné z desek ohraničujících dutinu a dále rychlost proudících plynů při vyústění dutiny do okolního prostředí.



Obr. 3 Fotografie výšky plamene v sestavách s proměnnou šířkou dutiny zleva: 100, 60, 50, 40, 30 a 20 mm [1]  
 Fig. 3 Photographs of flame height in variable cavity width assemblies from the left: 100, 60, 50, 40, 30 a 20 mm [1]

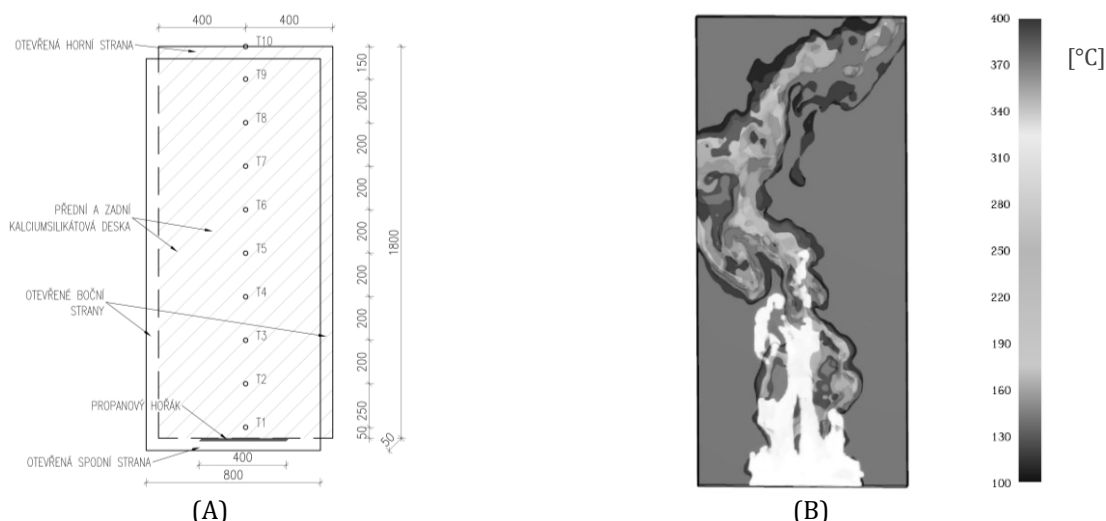
Experimentální sestava byla složena ze dvou kalciumsilikátových desek tloušťky 20 mm, které byly opatřeny vrstvou keramické izolace o tloušťce 2 mm. Rozměry sestavy byly 0,8 m délky,

1,8 m výšky s proměnlivou šířkou dutiny od 20 do 100 mm. V těsné blízkosti jedné desky byl umístěn úzký propanový hořák o délce 0,4 m a s konstantním tepelným výkonem od 16,5 do 40,4 kW/m. Bylo provedeno několik sérií experimentů, přičemž každý trval 3 minuty. Výsledkem vizuálního hodnocení byl fakt, že v dutinách šířek 40 mm až 100 mm nebyl plamen schopen obsáhnout celou délku dutiny (0,8 m) a s rostoucí šířkou dutiny se snižuje výška plamene (patrné z obr. 3). Nejvyšších hodnot dopadajícího tepelného toku bylo dosaženo v užších stavebních dutinách. Rychlost proudících plynů byla proměnná po délce dutiny, nejvyšších rychlostí bylo dosaženo uprostřed délky dutiny (v ose) a při okrajích se značně snižovala.

Studie z roku 2020 ze Záhřebské univerzity [2] se věnuje zkoumání vlivu osazení vodorovných a svislých požárních bariér do větraného fasádního systému spolu s nehořlavým obkladem a kombinací nehořlavých a hořlavých tepelných izolantů. Experimenty byly prováděny jako velkorozměrová zkouška dle BS 8414. Celkem bylo provedeno sedm zkoušek s rozdílným počtem a umístěním požárních bariér a za použití rozdílných izolantů. Sledovaným parametrem byly teploty měřené v jednotlivých vrstvách fasádního systému 2,5 m a 5,0 m nad komorou s dřevěnou hranicí. Větší počet požárních bariér vedl ke značnému zmenšení dosahovaných teplot v měřených bodech. Dále bylo zjištěno, že při použití nízkého počtu požárních bariér nejsou větrané fasádní systémy schopny splnit požadavky ohledně rychlosti šíření požáru dle stavebních předpisů BR 135 (britské Building Regulations) o chování fasádních systémů za požáru. Autoři studie závěrem zmiňují, že je vždy nutné vzít v potaz vztah rozmístění a počtu požárních bariér vzhledem k použitým izolačním materiálům, neboť jejich požárně technické vlastnosti se velmi různí a mají zásadní vliv na rozvoj a šíření požáru v dutině.

#### ANALÝZA CHOVÁNÍ POŽÁRU V DUTINĚ MATEMATICKÝM MODELEM

Předmětem analýzy této práce je sledování a hodnocení chování účinku požáru ve větrané dutině. Pro simulaci byla zvolena laboratorní sestava z výše zmíněné studie [1] z důvodu možnosti validace získaných výpočetních dat. Příklad je řešen pomocí matematického modelu požáru za použití programu Fire Dynamics Simulator (FDS 6.7.5), který spadá do tzv. modelů typu pole (CFD) postavených na algoritmech výpočtového proudění tekutin. Příklad je simulován za použití laboratorní sestavy s rozměry výpočetní oblasti 0,8 m délky, 0,05 m šířky a 1,8 m výšky a je rozdělena do 6 sítí o celkovém počtu 72 000 kontrolních objemů ve tvaru krychle o hraně 10 mm.



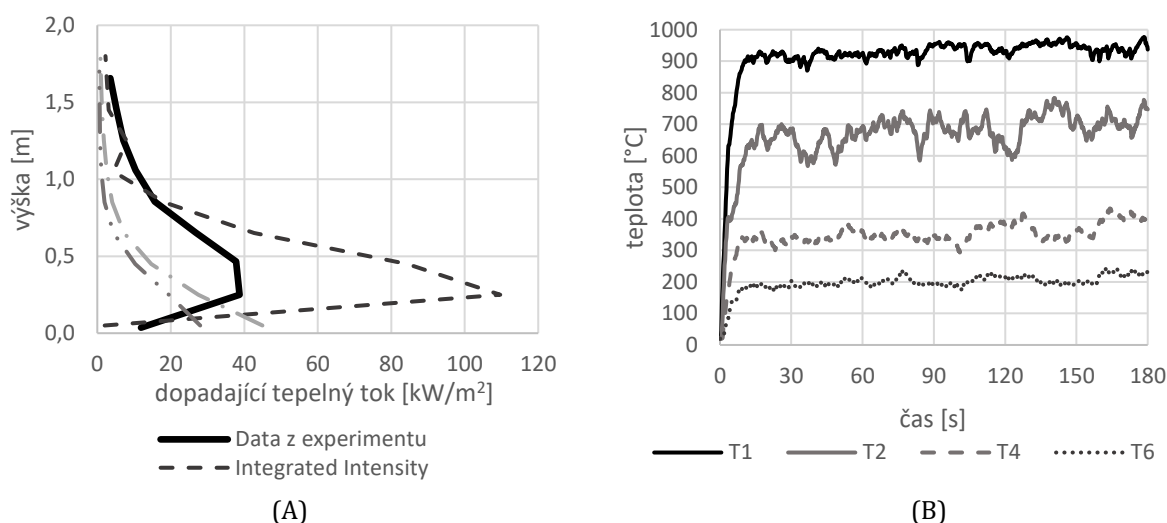
Obr. 4 (A) Geometrie modelované dutiny; (B) pohled na plamen v dutině  
Fig. 4 (A) Geometry of the modelled cavity; (B) view of the flame in the cavity

Sestava je ohraničena dvěma kalciumsilikátovými deskami (Promatect – H) tloušťky 20 mm z přední a zadní strany, ze všech ostatních stran je dutina zcela otevřena. V těsné blízkosti jedné desky je umístěn hořák délky 400 a šířky 10 mm s konstantním výkonem  $Q' = 40,4$  kW/m

(tj.  $Q = 16,16 \text{ kW}$ ). V dutině jsou umístěny měřící zařízení do totožné polohy jako ve studii, a to radiometr měřící hustotu dopadajícího tepelného toku, sonda měřící rychlost proudění plynů, termočlánky měřící teplotu a diferenční tlakový snímač měřící změnu tlaku.

## DISKUZE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ

Pro porovnání (validaci) modelu a experimentu byla vybrána hustota dopadajícího tepelného toku na desku přilehlou k hořáku. Radiometry v modelu byly rozmístěny totožně jako termočlánky ve studii (obr. 4A). Ze simulovaných hodnot byl proveden aritmetický průměr a provedeno grafické porovnání s hodnotami publikovaných ve studii; srovnání je patrné v následujícím obr. 5A. Dále také v dutině byly měřeny teploty a rychlost proudění plynů. Tyto dva parametry je důležité sledovat, protože se jedná o hlavní faktory rychlosti šíření požáru v dutině.



Obr. 5 (A) Porovnání dopadajících tepelných toků; (B) teplota plynu v dutině (model)  
Fig. 5 (A) Comparison of incident heat fluxes; (B) gas temperature in the cavity (model)

Pro měření dopadající hustoty tepelných toků v modelu byla použita tři rozdílná měřící zařízení (obr. 5A). V jednom případě z nich lze pozorovat velmi dobrou shodu, pokud je pominuta oblast plamenného hoření (oblast cca 0,6 m nad hořákem). Dále z obr. 4B a 5B je patrné, že v dutině je dosahováno vysokých teplot, které jsou schopny způsobit vzplanutí většiny běžně používaných hořlavých komponentů větraných fasádních systémů, a to i při relativně nízkém výkonu hořáku.

## ZÁVĚR

Cílem práce je analyzovat dosud získané poznatky ohledně chování požáru v dutině a rovněž stručně představit rizika pramenící z chybného návrhu provětrávaných fasádních systémů z pohledu požární bezpečnosti. V rámci práce byl sestaven matematický CFD model, který byl validován na již provedeném experimentu. Tento model bude sloužit v rámci navazující práce pro predikci chování požáru při použití různých komponentů v rámci větraného fasádního systému.

## LITERATURA

- [1] LIVKISS, Karlis, Stefan SVENSSON, Bjarne HUSTED a Patrick VAN HEES. Flame Heights and Heat Transfer in Façade System Ventilation Cavities. *Fire Technology* [online]. 2018, 54(3), 689–713. ISSN 0015-2684, 1572-8099. Dostupné z: doi:10.1007/s10694-018-0706-2.
- [2] ČOLIĆ, Antonela a Ivana Banjad PEČUR. Influence of Horizontal and Vertical Barriers on Fire Development for Ventilated Façades. *Fire Technology* [online]. 2020, 56(4), 1725–1754. ISSN 0015-2684, 1572-8099. Dostupné z: doi:10.1007/s10694-020-00950-w.

**REVIZE POŽADAVKŮ NA POŽÁRNÍ BEZPEČNOST ETICS****REVISION OF FIRE SAFETY REQUIREMENTS FOR ETICS****Bc. Filip Tichava****Abstract**

*The change of Czech fire safety requirements for ETICS, that took place in 2016, sparked a debate among the community of fire safety engineers. Some claim the new changes are too benevolent, while others consider them to be strict. This article shows different approaches used in other countries and compares them to that one of Czechia. To show differences clearly, reference building was randomly picked and then insulated using regulations from Germany, England, Scotland, and Northern Ireland.*

**Key words:** ETICS; façade; fire safety; Great Britain; Germany

**ÚVOD**

Kontaktní zateplovací systémy jsou důležitou součástí budov, zároveň se dá předpokládat, že tento trend bude pokračovat. Revize požárních požadavků ETICS v ČSN 73 0810 [1], která proběhla v roce 2016 vyvolala v kruzích věnujících se vnějšímu zateplení debatu. Zatímco někteří by rádi požadavky zpřísnili, jiní by je požadovali mírnější. Kontaktní zateplení se musí řešit i v ostatních zemích a hlavní rozdíly mezi požadavky v Česku a v těchto zemích jsou předmětem tohoto článku. Samotné české požadavky předmětem článku nejsou. Pro jejich porozumění lze využít například [1], [2] a [3]

**ROZDÍLY V NĚMECKÉM PŘÍSTUPU**

Německo je federativní republika. Požadavky na ETICS si stanovují jednotlivé země samostatně. Existují však meze, do kterých se země musejí vejít. Tyto meze jsou určeny nařízením Musterbauordnung a jsou přehledně shromážděny v technické příručce Technische Systeminformation [4]. Mezi další změny patří měření požární výšky. V Česku je měřena od prvního nadzemního podlaží po podlahu nejvýše umístěného užitného podlaží. V Německu se měří od úrovně přilehlého terénu po nejvýše položené užitné nadzemní podlaží. Samotné hranice rozdělující požadavky jsou si podobné. Pro Česko dosahují hodnot 12,5 m a 22,5 m a pro Německo 7 m a 22 m. Požadavky pro nízké a vysoké budovy jsou stejné. Co se liší, jsou požadavky pro budovy v rozmezí těchto dvou hodnot. V Německu se povoluje více řešení požárních pruhů. Ty mohou být průběžné přes každé dvě podlaží, pouze na nadpraží každého otvoru s daným přesahem anebo na nadpraží a po stranách každého otvoru. Změnou je i jejich minimální výška, v Německu se za dostačující považuje výška pruhů 200 mm. Posledním rozdílem je dělení požadavků v Německu i na základě tloušťky izolantu. V případě, že je zateplení tenčí než 100 mm, nepožadují se požární pruhy vůbec ani u staveb s požární výškou  $7 \text{ m} \leq h \leq 22 \text{ m}$ .

**ROZDÍLY V ANGLICKÉM PŘÍSTUPU**

Základní koncepce se shoduje s německým i českým přístupem. Požadavky jsou uvedeny ve veřejně přístupném dokumentu The Building Regulations 2010 – Fire safety: Approve document B – Volume 1 [5]. Na objekt se vztahují požadavky vyplývající z jeho požární výšky. Ta je v případě Anglie měřena stejně jako v Německu. První rozdílností je opět hodnota těchto hladin. V Anglii se objekty dělí pouze na vyšší či nižší 18 m. Další změnou je závislost požadavků na vzdálenosti od tzv. relevantní hranice, což je ve většině případech vzdálenost od hranice pozemku. U objektů, jejichž fasáda je této hranici blíže než 1,0 m se požadavky zpřísnují. Anglická legislativa narozdíl od české i německé nepožaduje požární pruhy. Třída reakce na oheň A1/A2 je požadována pouze



v případech, že je v objektu byt nebo místnost sloužící pro pobyt osob (s výjimkou pokojů v ubytovnách, penzionech a hotelech), a to ve výšce  $h > 18$  m. V ostatních případech se požaduje B nebo C s ohledem na požární výšku a vzdálenost k relevantní hranici.

### ROZDÍLY VE SKOTSKÉM PŘÍSTUPU

Další země Velké Británie se příliš neliší od té předchozí. Požadavky jsou ve veřejně přístupném dokumentu Building standards technical handbook 2020 [6]. Zůstává zachována myšlenka relevantní hranice a také se nepožadují požární pruhy. I dělení budov podle výšky pouze na dvě skupiny je zachováno, velký rozdíl je však ve výškové hladině. Ve Skotsku se budovy dělí na nižší a vyšší 11 m. To ale neznamená, že se po všech budovách s výškou  $h \geq 11$  m požaduje zateplení třídy reakce na oheň A1/A2. To je požadováno pouze pokud se jedná o objekty sloužící k bydlení s požární výškou  $h > 11$  m. Čili neplatí například pro shromažďovací prostory.

### ROZDÍLY V SEVEROIRSKÉM PŘÍSTUPU

Ani v poslední zemi Velké Británie nedochází k velkým rozdílům základní koncepce oproti jejím sousedům. Dokument stanovující požadavky je The Building Regulations 2006 – Fire safety: Technical Guidance Document [7]. Požární výška se měří stejně a hranice odpovídají těm v Anglii. Požární pruhy se také nepožadují. Zarážecí je ale skutečnost, že na rozdíl od Anglie a Skotska se v Severním Irsku nepožaduje třída reakce na oheň A1/A2, a to v žádném případě. Nejprísnější požadavek je pouze třída reakce na oheň B. Požadavky oproti těm českým působí velmi mírně. Například objekt, který slouží jako shromažďovací prostor a má požární výšku  $h < 18$  m má požadavek na třídu reakce na oheň ETICS pouze C.

### REFERENČNÍ BUDOVA

Pro názornou ilustraci jednotlivých případů byla vybrána budova, která se zateplila v souladu s požadavky jednotlivých zemí. Tato referenční budova byla vybrána zcela náhodně. Jedná se o panelový bytový objekt, který má celkem 9 nadzemních podlaží a je nepodsklepený. Nejvyšší nadzemní podlaží není užitné. Na západní straně se nachází přilehlá pozemní komunikace, na straně východní pak další bytový dům. Z jižní strany jsou lodžie a ze severní strany pouze okenní otvory. V prvním nadzemním podlaží jsou umístěny sklepní kóje a společné prostory. Na každém podlaží se nachází tři bytové jednotky, které ústí do společné chodby, která slouží jako vertikální úniková cesta. Chodba je vybavena osobním výtahem, ten ale není evakuační. K evakuaci slouží pouze jednoramenné schodiště. Při zateplení budovy dle českých požadavků je minerální vatou zatepleno 70,08 %, tento případ je k vidění na Obr. 1.

V Německu je referenční budova zateplena převážně EPS. Z minerální vaty jsou pouze požární pruhy. Z celkového zateplení tvoří minerální vata pouhých 6,15 %. Zateplená fasáda je na Obr. 2.

Úplně jiná je situace v Anglii, kde je objekt zateplen pouze z minerálních vláken. EPS se používá pouze na ostříkové zóny. Ostříkové zóny jsou na této fasádě tvořeny pouze soklovou oblastí v založení. Stejně řešení jako v Anglii je i ve Skotsku. Z celkového zateplení je v minerální vlákno jako izolant použito pro 96,76 % povrchů severní fasády. Pro lepší představu slouží Obr. 3.

Poslední řešení se blíží německé alternativě. Rozdíl je pouze v požárních pruzích, které nejsou, jak již bylo zmíněno výše, v Severním Irsku požadovány. Celá fasáda je tím pádem zateplena pouze EPS a izolant z minerálních vláken zaujímá z celkové plochy 0 %. Řešení v Severním Irsku je patrné z Obr. 4.

Legenda:

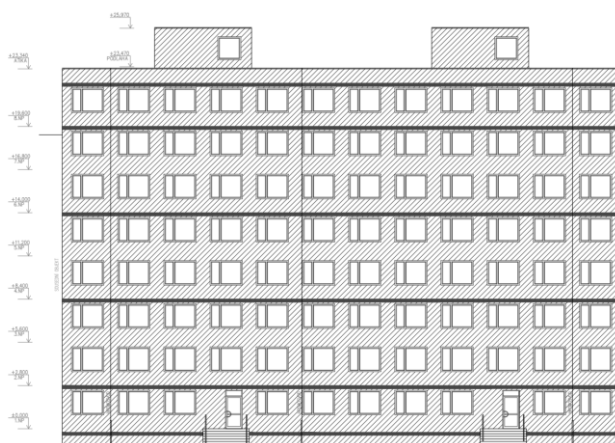


Třída reakce na oheň A1/A2

Třída reakce na oheň B



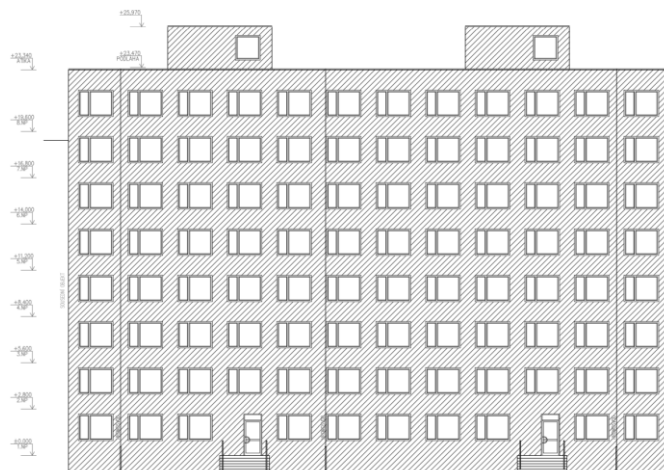
Obr. 1: Zateplení referenčního objektu dle českých požadavků  
Fig. 1: Insulation according to Czech regulations



Obr. 2: Zateplení referenčního objektu dle německých požadavků  
Fig. 2: Insulation according to German regulations



Obr. 3: Zateplení referenčního objektu dle anglických a skotských požadavků  
Fig. 3: Insulation according to English and Scottish regulations



Obr. 4: Zateplení referenčního objektu dle severoirských požadavků  
Fig. 4: Insulation according to Northern Irish regulations

## ZÁVĚR

Nejpřísnější požadavky jsou bezpochyby v Anglii a Skotsku. Referenční objekt v těchto zemích musel být zateplen pouze minerální vatou. Na druhé straně jsou paradoxně požadavky třetí země Velké Británie, ve které se požadavky velmi liší. Severní Irsko nepožaduje žádné zateplení minerální vatou. Mezi těmito extrémami pak stojí německý a český přístup. Oba požadují základní zateplení z EPS, které je doplněno pruhy z minerální vaty pro zvýšení požární bezpečnosti fasády. Hlavní rozdíl je ve výšce těchto pruhů a také v tom, že v Německu se dělají ob podlaží, kdežto v Čechách nad každým podlažím. Rozdíl je ještě umocněn nutností zateplení vatou v případě vertikální únikové cesty, a to po celé výšce objektu. Za zmínku také stojí, že Česko je jedinou ze zmíněných zemí, která měří požární výšku od podlahy 1.NP, všechny ostatní země jí měří od úrovně přilehlého terénu.

## LITERATURA

- [1] ČSN 73 0810:2016 *Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení*
- [2] HEJTMÁNEK, P. a POKORNÝ, M. *Požární hledisko kontaktních zateplovacích systémů dle ČSN 73 0810:2016*. In: tzb-info.cz [online]. 1.8.2016 [cit. 17.5.2021]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/14515-pozarni-hledisko-kontaktnich-zateplovacich-systemu-dle-csn-73-0810-2016>
- [3] HOŠEK Z. *Požárně zabezpečovací aspekty zateplovacích systémů*. In: izolace.cz [online]. 9.8.2018 [cit. 19.5.2021]. Dostupné z: <https://www.izolace.cz/clanky/pozarne-zabezpecovaci-aspekty-zateplovacich-systemu/>
- [4] *Technische Systeminformation WDCS und Brandschutz Kompendium* [online]. [vid. 08. dubna 2021]
- [5] *The Building Regulations 2010 – Fire safety: Approved document B – Volume 1* [online]. [vid. 25. dubna 2021]. ISBN 978 1 914124 02 0. Dostupné z: <https://www.gov.uk/government/publications/fire-safety-approved-document-b34>
- [6] *Building standards technical handbook 2020: domestic* [online]. [vid. 09. května 2021]. Dostupné z: <https://www.gov.scot/publications/building-standards-technical-handbook-2020-domestic/>
- [7] *The Building Regulations 2006 – Firesafety: Technical Guidance Document* [online]. [vid. 09. května 2021]. ISBN 978 1 914124 02 0. Dostupné z: <https://www.gov.uk/government/publications/fire-safety-approved-document-b>

## ANALÝZA NÁRODNÍ KATEGORIZACE DO DRUHU KONSTRUKČNÍ ČÁSTI

## ANALYSIS OF THE NATIONAL CATEGORIZATION OF THE CONSTRUCTION COMPONENT TYPE

Bc. Markéta Šafránková

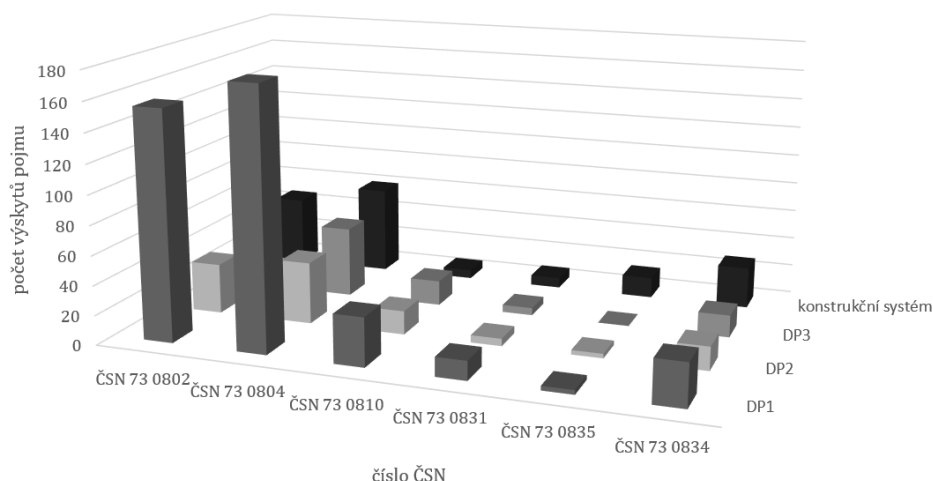
**Abstract**

The aim of this article is to familiarize the reader with the contemporary Czech national categorization of the construction component type related to fire safety of buildings and the issues that are coming up regarding the application of certain construction products on the Czech market. New technologies are using components which are troublesome when subdued to the legislative requirements. The origin of these requirements dates back to the 1980s, when the technological progress was impossible to foresee. The issue resulted in a debate on the solution that would fix the discrimination of the manufacturers on the Czech market and facilitate the approval process of the usage of these technologies. Multiple options come up as a possible approach, however none of which can easily span across the wide usage of the categorization in the Czech regulations.

**Key words:** construction component type; type of building construction; class of reaction to fire performance; fire protection ability; covering

## ÚVOD

Přístup jednotlivých států k omezení výstavby za účelem zvýšení požární bezpečnosti se různí po celém světě. V tehdejší Československu byl v 80. letech unikátně zaveden systém posuzování jednotlivých konstrukčních dílců a prvků a následně celého objektu z hlediska jejich chování při požáru. Zavedení této kategorizace druhu konstrukční části (DP1, DP2, DP3) bylo provedeno na základě iniciativy Výzkumného ústavu pozemních staveb (VÚPS) v kolektivu pod vedením Ing. Vladimíra Reichela, DrSc. V návaznosti na parametr druh konstrukční části normotvůrci definovali také konstrukční systém objektu. Na oba tyto pojmy je pak navázána dlouhá řada normativních požadavků specifických pro českou a slovenskou výstavbu. Četnost výskytu těchto pojmů ve vybraných ČSN je ilustrována na Obr. 1.



Obr. 1 Graf četnosti užití pojmů v ČSN

Fig. 1 Graph illustrating the amount of use of the national categorization

Novodobý posun technologií však vede k čím dál častějšímu výskytu téhož problému a klade si nejasnou otázku, jak zatřídit nové konstrukce s jejichž inovativností tradiční způsob kategorizace

nepočítal. Relativně striktní podmínky znesnadňují kategorizaci nových výrobků a technologií na trhu jako například:

- karbonové lamely pro zvýšení únosnosti železobetonových konstrukcí lepené pryskyřicí
- textilní rolety s intumescentními složkami
- intumescentní zpěňující gely v požárně odolných sklech
- požární ucpávky s intumescentními složkami
- iso-nosníky přerušující tepelné mosty předsazených konstrukcí s kompozitní výztuží ad.

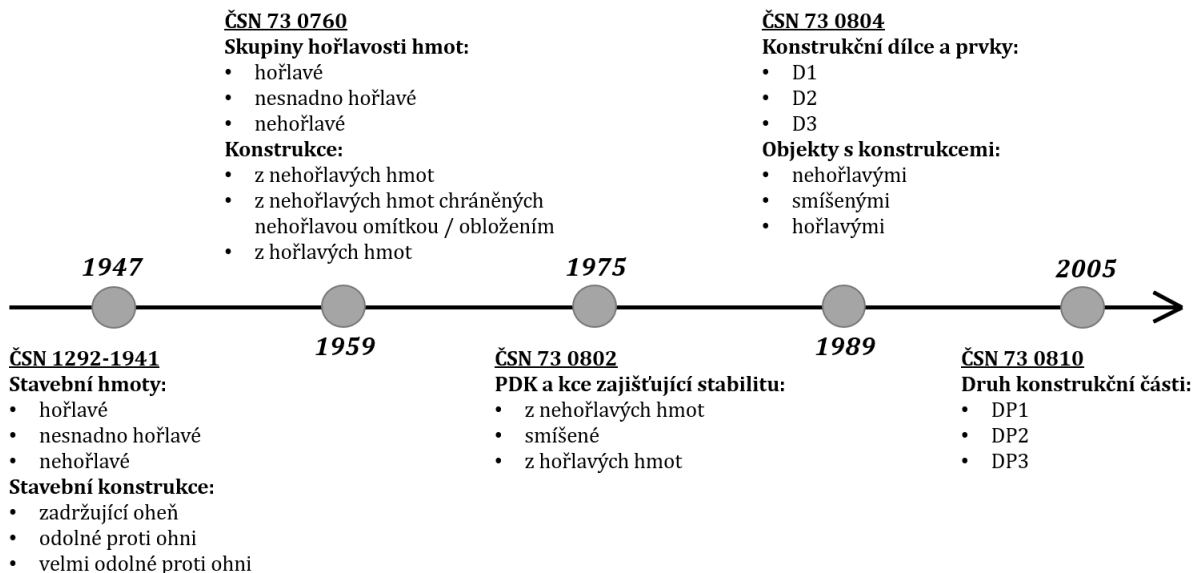
V reakci na tyto komplikace vyvstává mezi výrobci, dodavateli a normotvůrci hlasitá diskuse. Výrobci disponují argumentací založenou na jedinečnosti národní kategorizace, která dle názoru některých je nahraditelná jen velice obtížně.

Cílem obou stran je bezesporu zachovat a nijak nesnížit vysoký standard požární bezpečnosti staveb v ČR, nicméně současně reagovat flexibilně na vývoj technologií a nestát v cestě progresivním moderním řešením.

## HISTORIE NÁRODNÍ KATEGORIZACE DO DRUHU KONSTRUKČNÍ ČÁSTI

Po druhé světové válce tuzemská normotvorba poprvé definuje konstrukce ve vztahu k jejich hořlavosti [1]. Stavební hmoty byly rozděleny na hořlavé, nesnadno hořlavé a nehořlavé, stavební konstrukce pak na konstrukce zadržující oheň, odolné proti ohni a velmi odolné proti ohni. Historický vývoj třídění je pro přehlednost znázorněn na časové ose na obr. 2 níže.

V následujících desetiletích v dělení nenastal zásadní posun, až v roce 1975 [2] kdy se objevují požárně dělicí a nosné konstrukce z nehořlavých, smíšených a z hořlavých hmot, tedy dělení podobné tomu, které využíváme dnes s tím rozdílem, že současný druh konstrukční části stále není zaveden. Jako kritérium zde slouží obsah a případné uzavření hořlavých hmot v konstrukci, vliv hořlavých hmot na stabilitu a únosnost dílce a celkový podíl hmotnosti hořlavých či nesnadno hořlavých hmot požárně dělicích a nosných konstrukcí v požárním úseku.



Obr. 2 Časová osa vývoje pojmů v ČSN

Fig. 2 Timeline of the development of the national categorization

Třídění konstrukčních dílců a prvků na druhy D1, D2, D3 se poprvé objevuje koncem 80. let v nové ČSN 73 0804 [3] s následujícími definicemi. Konstrukce druhu D1 nezvyšují intenzitu požáru a obsahují pouze nehořlavé hmoty nebo hořlavé hmoty, na nichž není závislá stabilita a únosnost kon-

strukce, přičemž hořlavé hmoty jsou zcela požárně uzavřeny uvnitř konstrukce nehořlavými hmotami a v požadované době požární odolnosti nedojde k jejich vzplanutí a uvolnění tepla. Konstrukce D2 nezvyšují v požadované době požární odolnosti intenzitu požáru, ale obsahují i hořlavé hmoty, na kterých je závislá stabilita a únosnost konstrukce; hořlavé hmoty jsou zcela požárně uzavřeny uvnitř konstrukce nehořlavými nebo nesnadno hořlavými hmotami a v požadované době požární odolnosti nedojde k jejich vzplanutí a uvolnění tepla. A nakonec konstrukce D3 zvyšují v požadované době požární odolnosti zpravidla intenzitu požáru a nesplňují požadavky na konstrukce D1 a D2. Současně je zavedeno dělení objektů v závislosti na definicích konstrukcí D1, D2 a D3 na objekty s konstrukcemi nehořlavými, smíšenými a hořlavými.

Od roku 2005 dochází v ČSN 73 0810 [4] k nahrazení pojmu Dx pojmem DPx. Tato změna byla zřejmě snahou odlišit Dx s hodnocením dle stupňů hořlavosti a DPx s rozdílnou klasifikací – třídou reakce na oheň. DPx pak tvoří podklad pro hodnocení konstrukčních systémů ve smyslu norem řady ČSN 73 08xx a pro specifikaci projektových požadavků na jednotlivé konstrukční části.

## PŘÍSTUPY V ZAHRANIČÍ

Častým argumentem hlasů volajících po změně národní klasifikace je, že třídění podobné našemu se v zahraničních legislativách nevyskytuje. Nicméně například ve Spojených státech amerických se setkáváme s pojmem „*Types of Building Construction*“ [5], který dělí konstrukce v závislosti na materiálech v nich použitých – nehořlavých, omezeně hořlavých a hořlavých. Toto dělení je vázáno na množství uvolněného tepla při hoření a dosažené hustotě tepelného toku. Konstrukce jsou tedy děleny na typ I až V od nejméně hořlavých po dřevěné konstrukce, nelze tedy zpochybnit podobnost s českým přístupem.

Dalším argumentem je omezování maximální výšky budovy, obzvláště v problematice dřevostaveb. V ČR jsou požadavky na výšku dřevostavby vázány právě na konstrukční systém a dále jsou upravovány podle typu využití objektu. Například ve Velké Británii se limity výšky budovy nevážou na konstrukční systém, jsou však omezeny jinými způsoby, například v závislosti na zmíněném využití objektu [6], kdy od určitých výšek se příslušný druh stavby nesmí realizovat, popř. omezeně se zvýšením požárního zabezpečení instalací sprinklerových systémů.

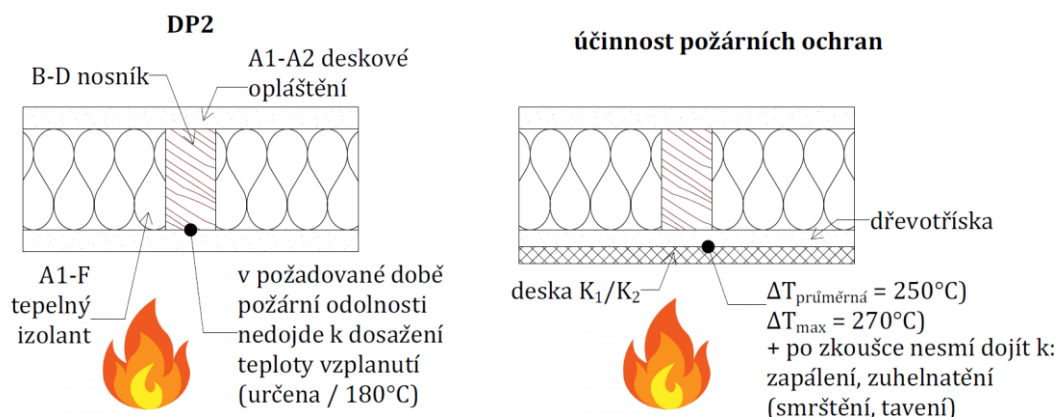
## MOŽNOSTI ŘEŠENÍ

Mezi přístupy, kterými se dá zařídění inovativních konstrukcí řešit, lze zařadit vícero možností. Je však nutné zdůraznit, že žádná z nich sama o sobě nezaručí a ani nemůže zaručit komplexní nahrazení stávající kategorizace.

Proces zpřesňování a úpravy definic druhu konstrukční části můžeme sledovat již v současných legislativních požadavcích. Aktuálně platné již jsou taxativní definice pro provětrávané fasády s hořlavým obkladem a pro lehké střešní pláště s hořlavým tepelným izolantem typické pro halové objekty, jejichž primárním cílem je zachovat nehořlavý konstrukční systém při současném udržení nízké hmotnosti tepelněizolačního souvrství střešního pláště. Při splnění výčtu podmínek uvedených v ČSN 73 0810 (čl. 3.2.3.1 a čl. 3.2.3.2) [7] je možné tyto konstrukce uvažovat jako druhu DP1, i přestože se ve své podstatě vymykají základní definici druhu konstrukční části. V této souvislosti vyvstává otázka, zda by rozšíření empirických definic neusnadnilo aplikaci některých problematických výrobků (viz výčet výše v kapitole ÚVOD).

Jako další možná cesta se jeví zakomponování klasifikace účinnosti požárních ochranných označovaných jako  $K_1$  a  $K_2$ . Tato klasifikace se u nás dosud nevyužívá, je na ni však odkazováno v ČSN 73 0810 [7]. Mezi účinnostmi požárních ochranných konstrukčních částí se objevuje paralela ilustrativně znázorněná na Obr. 3 (A1/A2, B-F značí třídu reakce na oheň). Výhoda mezního stavu K spočívá v tom, že je převzat z evropských norem [8], jeho aplikace je tedy mezinárodní

v rámci Evropy ve srovnání s národním omezením DPx. Nutno podotknout, že mezní stav K je zkoušen na vodorovné konstrukci, avšak tento případ tepelného namáhání je možné hodnotit jako kritický.



Obr. 3 Grafické porovnání definic DP2 a  $K_1$ ,  $K_2$  na stropní konstrukci  
Fig. 3 Comparison of the DP2 and  $K_1$ ,  $K_2$  definitions on a ceiling

Výzkumná organizace SP Švédský technický institut pro výzkum publikoval výsledky testování různých desek na bázi dřeva pro parametr K [9], které byly schváleny [10] a jsou nyní považovány za vyhovující bez zkoušení, pokud se používají k obkládání stěn a stropů. Konkrétně se jedná o tvrdé dřevovláknité desky, OSB desky, dřevotřískové desky atd.

## ZÁVĚR

Nahrazení národní kategorizace druhu konstrukční části není jednoduše proveditelné. Existují cesty, jimiž se budoucí změny normativních požadavků mohou ubírat s cílem zefektivnit a zjednodušit aplikaci progresivních stavebních výrobků a systémů na český trh. Jednoduché vypuštění kategorizace nicméně nepřipadá v úvahu vzhledem k velké četnosti požadavků, které jsou na druh konstrukční části přímo navázány, a to mnohem obsáhleji, než se zdá bez detailního prostudování problematiky.

## LITERATURA

- [1] ČSN 1292-1941 *Odolnost stavebních hmot a konstrukcí proti ohni a vysokým teplotám*. 1947.
- [2] ČSN 73 0802 *Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení*. 1975.
- [3] REICHEL, V. *Zabraňujeme škodám Svazek 17 Navrhování požární bezpečnosti výrobních objektů*. Praha: Česká státní pojišťovna, 1987.
- [4] ČSN 73 0810 *Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení*. 2005.
- [5] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. *NFPA 220: Standard on Types of Building Construction*, 2021.
- [6] DEPARTMENT FOR COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT. *APPROVED DOCUMENT B: fire safety - volume 2*. S.l.: RIBA PUBLISHING, 2020. ISBN 978-1-914124-03-7.
- [7] ČSN 73 0810 *Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení*. 2016. Opr. 1 2020.
- [8] ČSN EN 13501-2 *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 2: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti kromě vzduchotechnických zařízení*. 2017.
- [9] ÖSTMAN, B., HILLING, R. a BOSTRÖM, L. *Fire protection ability of wood products*. SP Technical Research Institute of Sweden. 2014
- [10] ÚŘEDNÍ VĚSTNÍK EVROPSKÉ UNIE. *NAŘÍZENÍ KOMISE V PŘENESENÉ PRÁVOMOCI (EU) č. 1291/2014 o podmínkách klasifikace bez zkoušení desek na bázi dřeva podle normy EN 13986 a vnějších a vnitřních obkladů z rostlého dřeva podle normy EN 14915, pokud jde o jejich požární odolnost, pokud se používají k obkládání stěn a stropů*.



## POŽÁRNÍ RIZIKA PŘI VÝSTAVBĚ DŘEVOSTAVBY

### FIRE RISKS OF TIMBER BUILDINGS

**Bc. Eliška Vorlíčková**

#### **Abstract**

*This paper focuses on fire risks of timber buildings. Related requirements and methods of determination are described step by step. From the point of view of Czech fire legislation, these criteria include type of construction system, fire load, degree of fire safety, fire resistance of building structures, separation distances evaluation and falling out of burning parts. The next part refers to design of wood structures in the Great Britain. Requirements of both states are implemented on a case study (office building) and the results are compared.*

**Key words:** fire safety; wood buildings; timber; multi-storey buildings; regulations

#### ÚVOD

Stále častěji se mluví o environmentálních problémech. Je tedy vhodné zamyslet se nad těmito tématy i ve stavebnictví a navrhovat stavby ohleduplné k životnímu prostředí – studie prokazují, že dřevostavby mají mnohem menší dopad na životní prostředí než stavby z jiných běžných (beton, ocel) materiálů [1]. Vzhledem k rostoucí populaci je pak výhodné stavět vyšší budovy, což však může být u dřevostaveb kvůli jejich vlastnostem problémem.

#### NÁVRH DŘEVOSTAVEB V ČESKÉ REPUBLICE

Na rozdíl od některých zahraničních států se v České republice neumožňuje dle požární legislativy stavět dřevostavby s požární výškou nad 12 m. Není to ale pouze požární výška, která může být pro stavbu omezující, navíc při zohlednění všech kritérií se tato výška může snížit. Tato kritéria jsou následující:

- **Druh konstrukčního systému;** Dřevostavby se řadí mezi hořlavé konstrukční systémy a jsou omezeny požární výškou  $h \leq 12$  m. V případě staveb s požární výškou  $h > 9$  m se však neubráníme ani jiným konstrukcím, jelikož taková stavba vyžaduje použití CHÚC (chráněná úniková cesta) a je nutné ohraničit ji konstrukcemi druhu DP1.
- **Požární zatížení;** Do výpočtu výpočtového požárního zatížení  $p_v$  vstupuje mimo jiné i stálé požární zatížení  $p_s$ , do kterého se musí započítat všechny hořlavé konstrukce, které nejsou nosné nebo požárně dělicí. Určení přesného množství takových konstrukcí může nejen výrazně zvýšit konečné  $p_v$  a zvýšit tím požadavky na požární odolnost konstrukcí, ale může být komplikované. Zejména když se PBR zpracovává ve stupni DSP, jelikož při realizaci mohou být konstrukce odlišné.
- **Stupeň požární bezpečnosti (SPB);** Dřevostavby jsou v tomto ohledu omezeny a mohou být dle tabulky 8 v ČSN 73 0802 [2] zařazeny maximálně do V. SPB, čehož není vzhledem k navýšení  $p_s$  obtížné dosáhnout. Vzhledem k požární odolnosti dřevěných konstrukcí je však toto rozumné, viz dále. Dle stejné tabulky je také zřejmé, že nejen konstrukční systém, ale i vyšší požární zatížení může rozhodnout o požární výšce objektu, což potvrdila i případová studie (viz dále).
- **Požární odolnost stavebních konstrukcí (PO);** Dle Tabulky 12 v ČSN 73 0802 [2] je zřejmé, že dřevostavby musí vzhledem k častému V. SPB vyhovět na PO maximálně 90 minut. Tohoto požadavku je složité dosáhnout, jelikož běžné konstrukce splňují PO maximálně 45–60 minut [3]. Požadavek však není nemožný, jelikož se na trh dostávají nové technologie, které toto umožňují.

- **Požární odolnost stavebních konstrukcí v exteriéru;** Podle požadavků téže tabulky musí být navíc nosné konstrukce vně objektu, které zajišťují stabilitu a jsou součástí PÚ zařazeném do V. SPB, druhu DP1. Tohoto požadavku není možné dosáhnout, pokud bychom chtěli konstrukce pouze ze dřeva. Nastává opět situace, kdy musíme ke stavbě dřevostaveb použít kombinaci materiálů.
- **Požární otevřenost;** Požárně otevřené plochy (POP), respektive odstupové vzdálenosti a požárně nebezpečný prostor (PNP), se primárně určují od otvorů v obvodových konstrukcích. Pokud je však obvodová konstrukce (případně obklad) z hořlavých materiálů a hustota tepelného toku  $I > 60 \text{ kW/m}^2$ , považuje se obvodová konstrukce za zcela POP. Hustotu tepelného toku lze určit výpočtem, který však nemusí být přesný, jelikož nelze dopředu s přesností určit, jak se bude konstrukce při požáru chovat, a pro získání přesných hodnot by musela být provedena zkouška. Pokud se zhodnotí, že se jedná o POP, musí se PNP určit pro tu část stavby, kde se POP nachází – u dřevostaveb jsou právě POP časté, čímž vznikají razantně vyšší odstupové vzdálenosti.
- **Odpadávání hořících částí;** Při určení odstupových vzdáleností se v případě hořlavých konstrukcí posuzuje také možnost odpadávání hořících částí, které by mohly šířit požár mimo vymezený PNP, tzv. torzní stín budovy. Posuzování torzního stínu u dřevostaveb však může postrádat smysl. V případě, že jsou obvodové konstrukce hořlavé (POP), případně je na nehořlavých konstrukcích hořlavý obklad, jsou odstupové vzdálenosti dostatečně velké a odpadávající hořící části tak dopadnou do tohoto prostoru.

## NÁVRH DŘEVOSTAVEB VE VELKÉ BRITÁNII

Ve Velké Británii nejsou na dřevostavby z větší části kladeny žádné speciální požadavky, jako je tomu v České republice. Stavby se zde hodnotí podle účelu užití a nezáleží na tom, z jakých konstrukcí se stavba postaví, pokud splní požadovanou požární odolnost.

Požadovaná požární odolnost konstrukcí a výška stavby (měřeno k podlaze posledního NP) se určuje dle tabulky B4 dokumentu The Building Regulations [4], požadavky pro kancelářské prostory viz tabulka 1 níže.

Tab. 1 Požární odolnost konstrukcí – administrativní budovy (kanceláře)

Tab. 1 Fire resistance – offices

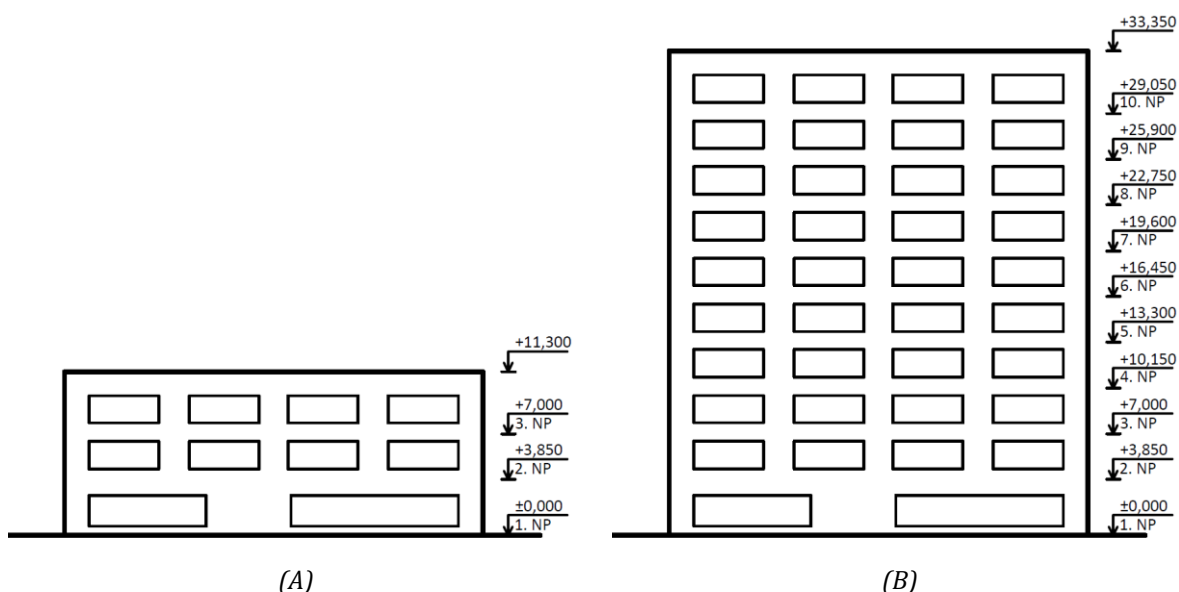
	Podzemní podlaží		Nadzemní podlaží				
	> 10 m	≤ 10 m	≤ 5 m	≤ 11 m	≤ 18 m	≤ 30 m	> 30 m
Bez sprinklerového systému	90 min	60 min	30 min	60 min	60 min	90 min	Nelze
Sprinklerový systém	60 min	60 min	30 min	30 min	30 min	60 min	120 min

Dále se určují minimální vzdálenosti od ostatních staveb, případně od fiktivních či reálných hranic. Tyto hranice se mohou určit zjednodušenými metodami popsány v již zmíněném dokumentu [4]. Pokud stavba nesplní kritéria, která umožňují použití těchto zjednodušených metod, musí se použít metody složitější popsané v BR 187 [5].

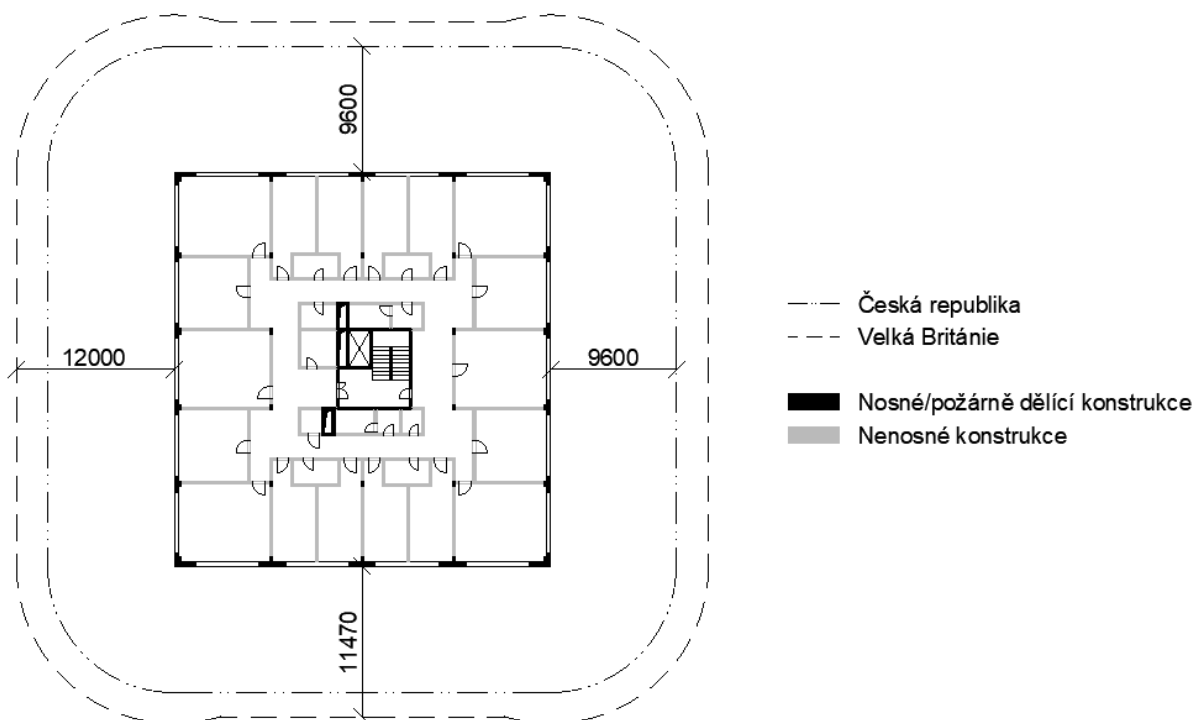
Složitější metody zahrnují také určení odstupových vzdáleností „tabulkově“, jako je tomu i v České republice. Rozdílem je fakt, že se ve Velké Británii tyto vzdálenosti neurčují podle rozměrů PÚ, nýbrž podle rozměrů celé stavby, resp. požárně otevřených ploch.

## PŘÍPADOVÁ STUDIE

Pro příklad, na kterém se ukáže, jak se mohou dřevostavby stavět v České republice a ve Velké Británii, byla vybrána administrativní budova Žarošická v Brně, kde jsou převážně kanceláře. Budova je původně podsklepená, pro příklad se tato budova uvažuje nepodsklepená. Budova je dále původně ze železobetonu, který byl v příkladu nahrazen dřevěnými konstrukcemi. Nosné a požárně dělící konstrukce jsou chráněny SDK obkladem a jejich PO je 90 minut. Rozměry budovy jsou 30 m × 26,8 m.



Obr. 1 Porovnání výšek staveb: (A) Česká republika; (B) Velká Británie  
 Fig. 1 Comparing of the building's height: (A) Czech Republic; (B) Great Britain



Obr. 2 Porovnání odstupových vzdáleností  
 Fig. 2 Comparing of separation distances

Pro budovu umístěnou v České republice bylo ze začátku patrné, že může mít vzhledem k požární výšce  $h \leq 12$  m pouze 4 NP. Tento fakt se ovšem změnil po výpočtu požárního zatížení, které se určilo jako  $p_v = 51,56$  kg/m<sup>2</sup>. Dle tabulky 8 v ČSN 73 0802 [2] je možné stavět takový objekt s požární výškou  $h \leq 9$  m a tato budova tak může mít pouze 3 NP. Obvodová stěna se uvažuje jako zcela POP. Odstupové vzdálenosti proto byly určeny od celé obvodové konstrukce, respektive rozměrů PÚ dle tabulky F.1 v ČSN 73 0802 [2].

V případě Velké Británie se neuvažuje sprinklerový systém a budova může mít 10 NP. Obvodové konstrukce se uvažují hořlavé tloušťky více jak 1 mm, takže byly vzdálenosti od ostatních staveb určeny pro celou konstrukci. Aby bylo následné porovnání spravedlivé, uvažuje se pro určení této vzdálenosti stavba, která může být postavena v České republice, tj. výšky 11,3 m (obr. 1 (A)), a postupuje se dle tabulky D v BR 187 [5].

Výsledkem případové studie je porovnání stavby z hlediska výšky (obr. 1) a odstupových vzdáleností (obr. 2).

## ZÁVĚR

Z porovnání je patrné, že ve Velké Británii se mohou stavět výrazně vyšší stavby oproti České republice. Odstupové vzdálenosti u této konkrétní stavby jsou rozdílné zhruba o 2,5 m, což sice může být rozhodující, na druhou stranu při takto velkých vzdálenostech rozdíl není takový, vezmeme-li v úvahu, že odstupová vzdálenost v České republice se určuje dle rozměrů PÚ, kdežto ve Velké Británii se vzdálenosti určují dle rozměrů celé stavby.

## Literatura

- [1] HEEREN, N., et. al. Environmental Impact of Buildings – What Matters? *Environmental Science & Technology* [online]. 2015. ISSN 1520-5851, 49(16), 9832-9841 [cit. 15.05.2021]. DOI: 10.1021/acs.est.5b01735
- [2] ČSN 73 0802 *Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty (2020)*
- [3] ZOUFAL, R. *Hodnoty požární odolnosti stavebních konstrukcí podle Eurokódu*. Praha: PAVUS, 2009. ISBN 9788090448100
- [4] GREAT BRITAIN. *The Building Regulations 2010, Fire safety – Approved document B – Volume 2: Buildings other than dwellings (2019 edition incorporating 2020 amendments – for use in England)*. ISBN 9781914124037
- [5] CHITTY, R. *External fire spread: building separation and boundary distances (BR 187 2nd edition)*. Watford: IHS BRE Press, 2014. ISBN 978-1-84806-319-8

**ELEKTROMOBILITA – NABÍJECÍ STANICE Z HLEDISKA POŽÁRNÍ BEZPEČNOSTI****ELECTROMOBILITY – CHARGING STATIONS IN TERMS OF FIRE SAFETY****Bc. Adam Habětínek****Abstract**

The work is focused on fire safety of electric vehicle, namely designing new charging stations. In general, there is made survey of the number of electric vehicles in Czech Republic and neighboring states of EU. It is a description of specifics and peculiarities of fire extinguishing of electric vehicle and charging station. It is also described recent recommendation of General Directorate of FRS CR relating to fire prevention precaution in areas with battery presence. The final part is dedicated to assessment of two built charging stations and comparison to the mentioned recommendations.

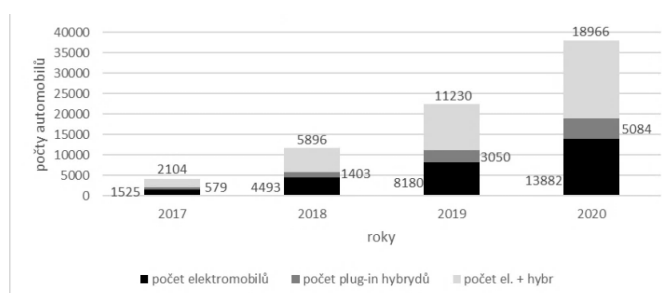
**Key words:** Fire safety; Electric vehicle; Fire safety equipment; Charging station; Fire extinguishing

**ÚVOD**

Hrozící nedostatek ropy a zvyšující se společenské tlaky na životní prostředí postupně v posledních dekádách nutí automobilový průmysl k velikým změnám. Tyto změny se upínají a nasvědčují k používání elektromobilů. Tyto vyhlídky společně s již se zvětšujícím počtem elektromobilů mezi námi [1] otvírají nové problémy pro bezpečnostní inženýrství, potažmo konkrétně pro požární bezpečnost staveb. Použití elektromobilů je závislé na jejich dobíjení a s tím úzce související budování nabíjecích stanic. A právě požární bezpečnosti umístování nabíjecích stanic a bodů se věnuje tato práce.

**MNOŽSTVÍ ELEKTROMOBILŮ A STÁTNÍ PODPORA**

Již zmíněný zvětšující se počet elektromobilů je zachycen na grafu na obr. 1. Graf zobrazuje počty v elektromobilů a plug-in hybridů registrovaných na území ČR [1]. Jak ukázal průzkum trhů vybraných evropských zemí, zásadní roli v rozvoji elektromobility hrají státní podpory. V ČR proběhlo již několik podpor od ministerstva životního prostředí a ministerstva průmyslu a obchodu [2, 3]. Tyto dotační výzvy však vždy platili pouze pro samosprávné celky (obce, kraje), neziskové org., vysoké školy a také pro podniky. Zatím se tedy v ČR neobjevila podpora soukromníků v nákupu elektromobilů, na rozdíl od ostatních evropských států. Například v Německu je možné získat až 9 000 € na nákup elektromobilu, ve Francii to je dokonce až 12 000 €, nemluvě o daňových zvýhodněních. V absolutních číslech počtů to dělá pro Francii 10× větší počet automobilů a pro Německo dokonce 20× více.



Obr.1 Graf vývoje počtu elektromobilů v ČR

Fig.1 Graphics of progression of numbers electric vehicles in the Czech Republic

Lze tedy předpokládat, že Česká republika se v následujících letech vydá podobnou cestou a nárůst elektromobilů se ještě více připodobní těmto státům, které jsou v elektromobilitě napřed. Ruku v ruce s nárůstem elektromobilů jde zvyšování počtů nabíjecích stanic.

## POŽÁRNÍ NEBEZPEČÍ NABÍJECÍCH STANIC

Riziko požáru a jeho závažnost plyne hlavně z rizika požáru baterie. K poškození a vzplanutí baterie může nastat hned několika způsoby: mechanickým poškozením (např. autonehoda); elektrickým namáháním (např. použití nevhodné nabíječky), tepelným namáháním (např. požár interiéru vozidla působící na baterii) [4].

Mechanický způsob poškození byl testován hned několika studiemi, např. Crashtest studií společnosti Dekra [5], která testovala 4 elektromobily na čelní a boční náraz, ve větší rychlosti a s menší plochou nárazu, než je běžné a v žádném z testů nedošlo k vznícení baterie a ve všech případech došlo k automatickému odpojení sítě s vysokým napětím. Nedá se tedy říct, že v pohybu na silnici je riziko požáru vyšší než u automobilů s tradičními pohonnými kapalinami.

Zásadním je právě riziko elektrickým a tepelným namáháním, ke kterému může dojít v procesu nabíjení, tedy i třeba v podzemních garážích, což může výrazně zkomplikovat postup zásahu jednotek požární ochrany. Toto riziko je o to závažnější, neboť ve většině případů se automobil ponechává v procesu nabíjení bez dozoru.

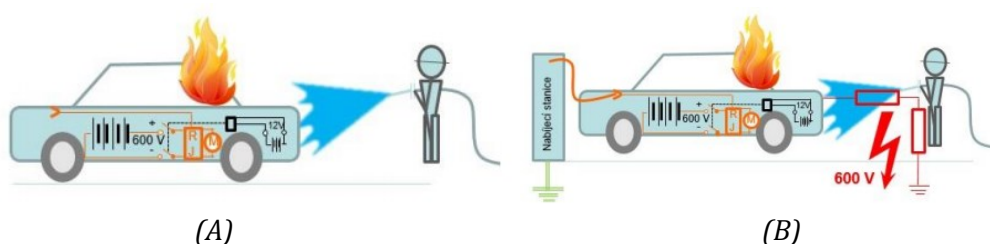
Riziko rychlého nabíjení zmiňuje i studie švédského RISE [6], kdy v studii je shrnut test několika rychlonabíjení a přebytí baterií, kdy je byl přijat obecný závěr zvýšeného rizika při nabíjení 0,5 C a rychleji. Nabíjení 1 C je rychlost nabíjení, potřebná pro plné nabití baterie za 1 hodinu. Zároveň je ale důležité říct, že rychlost nabíjení při stejném proudu postupně s nabitou kapacitou baterie klesá. Jinými slovy např. 80 % baterie může být nabito za 50 minut, ale zbylých 20 % se bude nabíjet dalších 50 minut (nižším proudem).

## POŽÁRNÍ ZÁSAH V PŘÍTOMNOSTI ELEKTROMOBILŮ

Již zmíněné složitosti u zásahů s elektromobily plynou tedy z požáru baterie a přítomnosti vysokého napětí, a hlavně z nestability baterie.

Obecně při požáru volně stojícího elektromobilu je možné postupovat běžným způsobem a použitou hasební látkou může být i voda s příměsí smáčedel a pěnidel, které zvyšují vodivost vody. A to z toho důvodu, že přestože na svorkách baterie může být napětí až 600 V, potenciál vůči zemi je nulový, i při porušení pneumatik a karoserie nelze mluvit o dokonalém spojení. Zasahující osoba je tedy mimo riziko.

To však neplatí pro elektromobil připojený k nabíjecí stanici, či do zásuvky. Neboť skrze stanici/zásuvku je automobil dokonale uzemněn a při poruše vysokonapěťových částí vozidla, může dojít k vzniku potenciálu v plné výši, tedy až přibližně 600 V. Toto riziko přetrvává i v momentě vypnutí hlavního vypínače nabíjecí stanice, uzemnění je stále přítomno. Nutno tedy používat vodu bez příměsí. Rozdíly těchto případů jsou nastíněny na obrázku 2.



Obr. 2 (A) Hašení nepřipojeného vozidla; (B) Hašení připojeného vozidla [4]  
Fig. 2 (A) Extinguishing of unplugged car; (B) extinguishing of plugged in car [4]

Dalším rizikovým faktorem je možnost samovznícení či opětovné samovznícování baterie. To lze předpokládat i zcela neporušených baterií, které byly vystaveny teplotám vyšším než 80 °C [4].

Nejproblematičtějším faktorem tohoto procesu je, že k němu může dojít i několik hodin či dní po požáru vozidla. Je tedy nutné monitorovat teplotu baterie, je doporučeno použití termální kamery a zvolit způsob ochlazování.

Jedním ze způsobů je ochlazování proudnicí typu C po dobu 10 min, následně 5 min pozorovat stav baterie, zda dochází k samovolnému zahřívání a pokud ano znovu opakovat proces chlazení. Doporučuje se tento cyklus opakovat, dokud baterie nevydrží 45 minut bez známek zahřívání [4]. Společnost Tesla doporučuje 60 min [7]. Tento způsob je dalo by se říct šetrnější a je možné uchránit nezasazenou část vozidla požárem.

Druhým způsobem je ponoření auta do vodní lázně. Při ponoření je charakteristické šumění a bublání, způsobené elektrolýzou skrze vodu mezi elektrodami elektrické instalace vozidla. Výše popsaná elektrolýza rozkládá molekuly vody na vodík a kyslík, ty se mohou hromadit v uzavřených částech vozidla a přejít až nad dolní mez výbuchu, je nutné zajistit podmínky pro únik těchto plynů. Tento způsob způsobuje totální škodu na vozidle, mělo by se k ní tedy přistupovat, pokud nelze automobil účinně ochlazovat jinak.

### **NABÍJECÍ STANICE Z HLEDISKA PBS**

Výše popsaným rizikům je nutné přizpůsobit návrh preventivních opatření již ve fázi projektování nabíjecích stanic. Prozatím pro tyto potřeby nebyla vydána závazná norma, která by charakterem zapadala do kontextu požárního kodexu. Avšak GŘ HZS letos v dubnu vydalo metodické doporučení [8] pro informování odborné veřejnosti a zajištění těchto opatření. Níže v několika bodech uvedeny zásadní body pro prostory parkování a dobíjení:

- 1) Při stanovení SPB je doporučeno minimálně IV. SPB pro prostory s přítomností bateriových systémů.
- 2) V požárních úsecích takovýchto garáží je doporučena instalace EPS a v prostorách pro dobíjení se doporučuje umístit systémy ZOKT a SSHZ. V případě změn se ZOKT doporučuje až od 4 dobíjecích míst.
- 3) Pro bezpečné provedení požárního zásahu se doporučuje stání pro dobíjení realizovat v šířce jako parkovací stání pro osoby tělesně postižené (nejméně 3,5m).
- 4) Místa pro dobíjení se doporučuje umístit pouze v prostorách pevných podlah. Ne, v základních a podobných zařízeních, nelze zde zajistit požární zásah.
- 5) PBR by mělo obsahovat zhodnocení způsobu transportu vozidla s baterií v nestandardním stavu z prostoru hromadné garáže. S přihlédnutím k vybavení místně příslušného HZS kraje. V případě absence techniky, stanovit podmínky vybavenosti a opatření pro majitele/provozovatele objektu/garáže.
- 6) Pro PÚ jednotlivých a řadových garáží se nestanovují požadavky nad rámec norem požární bezpečnosti norem.

Dále je ze strany GŘ HZS připravována technická normalizační informace, která bude věnována provozům s přítomností bateriových systémů, a to nejen pro garážová stání ale i prostory výroby a skladování. Tento dokument již daleko více zkonkretizuje požadavky požární prevence.

### **Zhodnocení již realizovaných nabíjecích stanic**

Řešeným příkladem této práce je posouzení vybraných již realizovaných nabíjecích stanic vůči vydanému doporučení GŘ HZS. Pro posouzení byli vybrány následující objekty:

- Budova Flow na Václavském Náměstí: 3 stojany rychlonabíjecích stanic v 2.PP (50 kW)
- OC Nový Smíchov: 3 stojany rychlonabíjecích stanic v 2.PP

Dále byla zjištěna vzdálenost od vnitřních zásahových cest k nabíjecím stanicím a od nabíjecích stanic mimo objekt. Výsledky těchto porovnaní jsou prezentovány v tabulkách 1 a 2. Obě budovy v částečně odpovídají metodickému doporučení GŘ HZS z hlediska elektromobility, zásadním nedostatkem je však nezhodnocení možnosti transportu vozidla mimo garáž.



Tab. 1 Umístěná opatření v řešených objektech

Tab. 1 Applied precaution in examined buildings

Opatření	Budova Flow	OC Nový Smíchov
SPB.	IV. SPB	III. SPB
EPS	Ano	Ano
ZOKT	Ano	Ano
SSHZ	Ne	Ano
Šířka stání >3,5 m	Ne	Ne
Pevné podlahy	Ano	Ano
Možný transport vozidla	Nezhodnoceno	Nezhodnoceno

Tab. 2 Vzdálenosti vnitřních zásahových cest a mimo objekt

Tab. 2 Distances of internal fire routes and outside the building

Objekt	Vzdálenost od zásahových cest [m]	Vzdálenost na volné prostranství [m]
Budova Flow	20,7	100,4
OC Nový Smíchov	10,5	195,6

## ZÁVĚR

Dosaženým cílem této práce bylo získání přehledu a shromáždění informací z již publikovaných zdrojů. Zachycení chystaných požadavků pro požární kodex a prevenci požární bezpečnosti staveb spojených s používáním elektromobilů. Toto značně ztěžují probíhající a nejnovější vydávané předpisy, reagující na již potřebnou situaci projektantů v běžné praxi. V řešených objektech vidíme, že doporučení byla částečně splněna, dokonce vnitřní zásahové cesty ústí v blízkosti nabíjecích stanic pro usnadnění zásahu. Avšak vzhledem k velkým vzdálenostem od vjezdu do objektů by mohli nastat komplikace transportování zasaženého automobilu mimo objekt.

## LITERATURA

- [1] *Dopravní ročenky Ministerstva dopravy* [online]. Dostupné z: <https://www.sydos.cz/cs/rocenky.htm>
- [2] *Úřady mají další výhodnou šanci na pořízení eko-vozidel, dokonce i nákladních 10. 02. 2020* [online]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/news\\_20200210\\_Dalsi-dotace-na-ekologické-pohony](https://www.mzp.cz/cz/news_20200210_Dalsi-dotace-na-ekologické-pohony)
- [3] *NÍZKOUHLÍKOVÉ TECHNOLOGIE - Elektromobilita - V. výzva* [online]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/podnikani/dotace-a-podpora-podnikani/oppik-2014-2020/vyzvy-op-pik-2019/nizkoughlikove-technologie---elektromobilita---v--vyzva--251085/>
- [4] MALKOVSKÝ, Zdeněk, Jan KARL, Ondřej SUCHÝ a Pavel THIN. *Aktuální poznatky z elektromobility pro potřeby HZS ČR*. B.m.: Ministerstvo vnitra ČR, GŘ HZS ČR
- [5] *High Safety Level of Series-Produced Electric Cars Confirmed in DEKRA Crash Tests - Press Release* [online]. B.m.: DEKRA e.V. Dostupné z: <https://media.dekra.com/media/2019-11-12-dekra-press-release-crash-tests-electric-cars.pdf>
- [6] BISSCHOP, Roeland, Ola WILLSTRAND, Francine AMON a Max ROSENGREN. *Fire safety of lithium-ion batteries in road vehicles*. Borås, Sweden: RISE Research Institute of Sweden, 2019. ISBN 978-91-88907-78-3.
- [7] *MODEL 3 EMERGENCY RESPONSE GUIDE* [online]. Dostupné z: [https://www.tesla.com/sites/default/files/downloads/2017\\_Model\\_3\\_Emergency\\_Response\\_Guide\\_en.pdf](https://www.tesla.com/sites/default/files/downloads/2017_Model_3_Emergency_Response_Guide_en.pdf)
- [8] *Požární bezpečnost staveb - elektromobilita* [online]. B.m.: Ministerstvo vnitra ČR, GŘ HZS ČR. duben 2021. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/metodicke-doporuceni-elektromobilita-a-pozarni-bezpecnost-staveb.aspx?fbclid=IwAR235VRPP0jj-WF6m2GiTCFu-etn28Q9oojYLRCKfzPw7cEfEF8mrVjvGsY>

## HLASOVÉ VÝSTRAŽNÉ SYSTÉMY PRO VYHLAŠOVÁNÍ POŽÁRNÍHO POPLACHU

### VOICE WARNING SYSTEMS FOR FIRE ALARM

**Bc. Ondřej Bartoníček**

#### **Abstract**

*Once a fire has started in a building and has been detected, it is essential that people are evacuated as quickly as possible. To make people aware of the emergency situation, fire alarm devices and systems are installed in buildings. The announcement shall be made acoustically or by voice alert messages. These systems can be interconnected with the electrical fire alarm system and, together with it, constitute a relatively significant item in the capital cost of the building. It is therefore important that their planning, design and installation, including functional and coordination tests, are carried out carefully and prudently. If the design and installation principles are followed, the system can then help save lives in an emergency situation. The modern systems we know today, which are governed by European norms and standards, were preceded by devices with a similar function, i.e. primarily to notify persons in a building or area of an emergency situation.*

**Key words:** *Electronic fire signalisation; evacuation of persons; voice alarm system; emergency sound system; fire safety of buildings; fire alarm; reaction; radio.*

#### **ÚVOD**

Hlavní funkcí zařízení a systémů pro vyhlášení požárního poplachu je upoutat pozornost osob nacházejících se v objektu a v případě hlasové zprávy následně koordinovat jejich evakuaci z objektu. V souvislosti s popisem lidského chování během mimořádné situace v objektu se lze setkat s chybným označením panika, na toto téma je zaměřena část věnující se chování osob při vyhlášení požárního poplachu. Dále jsou popsána zařízení a systémy pro vyhlášení požárního poplachu definována v rámci českých technických norem požární bezpečnosti staveb.

#### **CHOVÁNÍ OSOB BĚHEM POŽÁRNÍHO POPLACHU A BĚHEM EVAKUACE**

Na rozdíl od dříve předpokládaného panické chování osob, lze toto chování charakterizovat jako rozhodovací proces. Paniku lze charakterizovat iracionálním chováním, které může skončit fatálně, například skokem z výškové budovy nebo návratem do budovy [1], [2]. S ohledem na to, jak osoby chápou dané riziko požáru, uplatňují racionální rozhodování. Při zpětné analýze chování osob při požáru lze nalézt určitá chybná rozhodnutí, která mohla hrát negativní roli, nejednalo se však o projev panického chování. Chování a pocity, které osoby při požáru zažívají lze lépe popsat jako strach, nervozitu nebo úzkost a chybná rozhodnutí pak lze připsat omezené znalosti o vývoji požáru, požární dynamice a omezenému času, který osoby mají na tato rozhodnutí [3].

#### **AKUSTICKÉ VYHLÁŠENÍ POŽÁRNÍHO POPLACHU**

Studie [2] pozoruje, jak mohou různé frekvence, hlasitost a zvukové tóny ovlivnit osoby během spánku a jak může zvuk ovlivnit probuzení těchto osob. Studie ukazuje, že osoby jsou během signalizace požárního poplachu schopny spát v důsledku hlasitého zvuku na pozadí (signál požárního poplachu není dostatečně slyšitelný) nebo v důsledku útlumu zvuku kvůli chybnému umístění hlásiče. Řešením na útlum zvuku je umístit hlásič i do jiných místností, například přímo do ložnice. Opožděná reakce osob byla také způsobena tím, že je akustický signál často používán i k jiným účelům, například k vyhlášení poplachu během vloupání a osoby nemusí na tento signál v případě požáru reagovat adekvátně. Je proto nutné přesně definovat povahu signálu pro vyhlášení požárního poplachu [2]. Pokud v objektu dojde k vyhlášení požárního poplachu pouze akusticky,

nemusí být osoby seznámeny s tím, co akustický signál znamená a nemusí být zajištěna účinná a bezpečná reakce obyvatel během poplachu [1].

### ZAŘÍZENÍ PRO VYHLÁŠOVÁNÍ AKUSTICKÉHO POŽÁRNÍHO POPLACHU

Pro akustické vyhlášení požárního poplachu lze použít autonomní detekci a signalizaci a sirénu. Autonomní detekce a signalizace je jednoduché zařízení, které se obvykle skládá z části, která je určena k přímé montáži například do stropu, dále z baterie, pokud není integrovaná a samotné měřící a vyhodnocovací jednotky. Mezi hlavní důvody instalace autonomních hlásičů v domácnostech patří omezení vysokého počtu úmrtí osob při požárech. Výhodou autonomních hlásičů ve smyslu normy ČSN EN 14604 jsou nízké pořizovací náklady, nízké provozní náklady a poměrně snadná montáž. Na akustické signalizační zařízení systému EPS (sirény) se vztahují požadavky normy ČSN EN 54-3. Nevýhodou je pouze akustická signalizace bez možnosti hlasové zprávy. Tento způsob vyhlášení je tak vhodný především do prostor, který jsou osoby znalé prostor a jsou schopny pohotově reagovat při evakuaci i bez hlasových pokynů, například administrativní budova, kde jsou trvalí zaměstnanci. Na obrázku 1 lze pozorovat autonomní detekci a signalizaci (vlevo) a akustické poplachové zařízení sirénu (vpravo).



(A) Autonomní detekce a signalizace



(B) Siréna

Obr. 1 Zařízení pro akustické vyhlášení požárního poplachu

Fig. 1 Acoustic fire alarm device

### HLASOVÉ VYHLÁŠENÍ POŽÁRNÍHO POPLACHU

Hlasové zprávy mohou být vnímány odlišně pokud se jedná o předem nahranou nebo živě vysílanou zprávu. Předem nahrané zprávy (syntetizovaný hlas) nemusí být považovány za tak důvěryhodné jako živě vysílané zprávy. Výhodou živě vysílané hlasové zprávy je možná reakce nebo aktualizace podávané informace tak, aby odpovídala aktuální situaci [3], [4]. Toho může být využito například v situaci, kdy je v objektu prováděna postupná evakuace a požár se mezitím rozšíří do dalšího podlaží. Osoby, které měly podle původní zprávy vyčkat na místě mohou být pomocí živě vysílané zprávy upozorněny, aby se evakovaly. Při živém vysílání je nutné, aby daná osoba hovořila plynule a srozumitelně. Pokud bude zpráva podána nesrozumitelně, nebudou osoby schopny správně reagovat na pokyny a budou se spoléhat na sociální podněty od ostatních. Podobný problém může nastat u lidí, kteří nejsou rodilí mluvčí a mohou mít u zprávy problém s porozuměním [5].

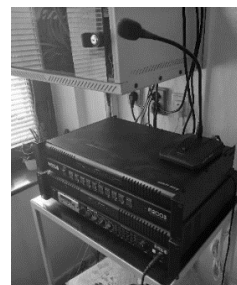
### ZAŘÍZENÍ A SYSTÉMY PRO HLASOVÁ VYHLÁŠOVÁNÍ POŽÁRNÍHO POPLACHU

V rámci českých technických norem je definován rozhlas (např. [6], [7]) a nouzový zvukový systém (např. [8]). Rozhlas není samostatné zařízení, ale sestava zařízení poskytující předání hlasové zprávy osobám v objektu. Požadavky vychází z historických norem a předpisů v rámci norem požární bezpečnosti staveb. Sestava je typicky složena z ústředny, koncových prvků (reproduktorů) a pro možnost živého vysílání také mikrofону. V rámci platných českých technických norem požární bezpečnosti staveb je rozeznáván rozhlas domácí, rozhlas domácí s nuceným poslechem a rozhlas evakuační. Rozhlasem lze vyhlášení požárního poplachu provést prostřednictvím hlasových zpráv a pokynů. Požadavek na vybavení objektu sestavou rozhlasu pro určité objekty stanovuje přímo

vyhláška o technických podmínkách požární ochrany staveb dle charakteru provozu. Normy požadují jednotlivé typy rozhlasů, ovšem nejsou nastaveny jednoznačné funkční požadavky, návaznosti na systém EPS a další parametry, které jsou důležité pro funkčnost a účinnost toho systému za požáru. To je z pohledu projektanta požárně bezpečnostního řešení nejasné a v praxi se lze setkat se záměnou terminologie. Na obrázku 2 lze pozorovat nástěnný reproduktor (vlevo) a ústřednu rozhlasu s mikrofonem (vpravo)



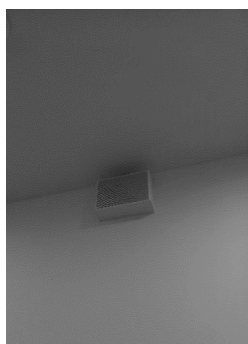
(A) Nástěnný reproduktor



(B) Ústředna rozhlasu s mikrofonem

Obr. 2 Součásti rozhlasu  
Fig. 2 Radio components

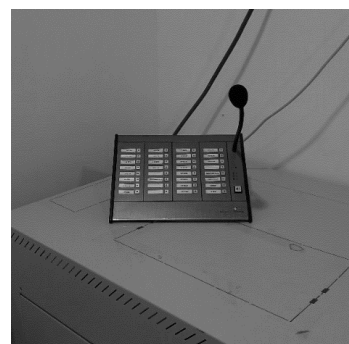
Nouzový zvukový systém je naproti tomu komplexní systém, umožňující vyhlášení požárního poplachu pomocí hlasových zpráv. Jak bylo v této práci uvedeno, na nouzový zvukový systém se vztahovaly požadavky evropské normy ČSN EN 60849 Nouzové zvukové systémy [9]. Rozsahem normy pokryla systémy používající tónové signály a na systémy s hlasovými hlášeními pro nouzové účely. Použití systému i pro běžné nenouzové využití norma nevyklučovala. Hlavním cílem normy bylo stanovit technické požadavky na zvukové systémy, které jsou určeny především k vysílání informací pro ochranu života rozhlasem v jedné nebo více stanovených oblastech při stavu nouze [9]. Normě však byla ke dni 03.03.2020 ukončena platnost a nahrazena byla evropskou normou ČSN EN 50849 Nouzové zvukové systémy [10]. Přestože je název normy zachován, norma již nepokrývá rozsahem nouzové zvukové systémy určené k použití pro EPS. Pro návrh těchto zařízení je odkazováno na technickou specifikaci CEN/TS 54-32 [11], evropskou normu EN 54-16 a národní, oblastní a místní předpisy. Výše uvedená technická specifikace je věnována hlasovým výstražným systémům. Na obrázku 3 lze pozorovat části nouzového zvukového systému.



(A) Nástěnný reproduktor



(B) Ústředna nouzového zvukového systému



(C) Mikrofonní pult

Obr. 3 Součásti nouzového zvukového systému  
Fig. 3 Components of an emergency sound system

## HLASOVÝ VÝSTRAŽNÝ SYSTÉM

Hlasový výstražný systém umožňuje poskytnout hlasové zprávy osobám v objektu. Vztahují se na něj doporučení technické specifikace ČSN P CEN/TS 54-32 z roku 2015 [11]. Technická specifikace poskytuje pouze doporučení, která se však mohou stát závazná. Soulad s touho specifikací mohou

například vyžadovat místní, regionální nebo národní zákony. V současné době pojem hlasový výstražný systém české technické normy neznají a na TS 54-32 je odkazováno pouze evropskou normou pro nouzové zvukové systémy ČSN EN 50849 [10]. Doporučení technické specifikace se dále mohou stát závaznými ve smlouvě mezi kupujícím a dodavatelem. Hlasový výstražný systém umožňuje stejně jako předchozí nouzový zvukový systém poskytnout hlasovou zprávu.

## ZÁVĚR

Pro hlasové vyhlášení požárního poplachu je v českých technických normách definován domácí rozhlas, domácí rozhlas s nuceným poslechem, evakuační rozhlas a nouzový zvukový systém. V této oblasti však dochází k terminologickému vývoji a s ním i ke změně parametrů a funkcionalit těchto zařízení a systémů. S domácím rozhlasem se můžeme setkat v historické normě ČSN 73 0802 Společná ustanovení z roku 1975 a s domácím rozhlasem s nuceným poslechem v historické normě ČSN 73 0831 Shromažďovací prostory z roku 1979. V případě evakuačního rozhlasu a nouzového zvukového systému dochází v praxi k záměně terminologie, kdy jsou komponenty nouzového zvukového systému označovány jako evakuační rozhlas, například „ústředna evakuačního rozhlasu“. Tento nesoulad terminologie je nežádoucí a může být matoucí. Pokud je v objektu dle požadavku požárně bezpečnostního řešení instalován nouzový zvukový systém, musí být každá jeho část certifikována dle příslušné části normy EN 54. Jak již bylo uvedeno, norma ČSN EN 50849 se nevztahuje na nouzové zvukové systémy používané při evakuaci v případě požárů bez ohledu na připojení k elektrické požární signalizaci. Na systémy připojené k elektrické požární signalizaci ovšem reaguje technická specifikace části 32, která je součástí řady norem EN 54 pro elektrickou požární signalizaci. V případě hlasového systému připojeného na systém elektrické požární signalizace je řešením postupovat dle této specifikace, která definuje projektování, montáž, uvedení do provozu, používání a údržbu hlasových výstražných systémů.

## LITERATURA

- [1] KULIGOWSKI, Erica D. a Hidemi OMORI. General Guidance on Emergency Communication Strategies for Buildings, 2nd Edition [online]. NIST TN 1827. B.m.: National Institute of Standards and Technology. 2014 [vid. 2021-05-15]. Dostupné z: doi:10.6028/NIST.TN.1827
- [2] GRACE, T. Improving the Waking Effectiveness of Fire Alarms in Residential Areas [online]. 1997 [vid. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://ir.canterbury.ac.nz/handle/10092/8271>
- [3] PROULX, G. Occupant behaviour and evacuation. [online]. 2001 [vid. 2021-05-09]. Dostupné z: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.11.202>
- [4] PROULX, G. Strategies for ensuring appropriate occupant response to fire alarm signals [online]. 2000, 6 p. ISSN 1206-1220. Dostupné z: [http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2008/nrc-cnrc/NR25-2-43E.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2008/nrc-cnrc/NR25-2-43E.pdf)
- [5] BRYAN L., Hoskins a Mueller NICHOLAS. Eval of the Responsiveness of Occupants to Fire Alarms in Buildings | NFPA [online]. [vid. 2021-05-09]. Dostupné z: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Data-research-and-tools/Detection-and-Signaling/Evaluation-of-the-Responsiveness-of-Occupants-to-Fire-Alarms-in-Buildings-Phase-1>
- [6] ČSN 73 0835 ed.2: 2020 Požární bezpečnost staveb – Budovy zdravotnických zařízení a sociální péče
- [7] ČSN 73 0804 ed.2: 2020 Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty
- [8] ČSN 73 0831 ed.2: 2020 Požární bezpečnost staveb – Shromažďovací prostory
- [9] ČSN EN 60849: 1999 Nouzové zvukové systémy + Z1: 2017
- [10] ČSN EN 50849: 2017 Nouzové zvukové systémy
- [11] ČSN P CEN/TS 54-32: 2015 Elektrická požární signalizace – Část 32: Projektování, montáž, uvedení do provozu, používání a údržba hlasových výstražných systémů







## VYUŽITÍ METODY KONEČNÝCH PRVKŮ PRO TEPLOTNÍ A MECHANICKÉ VÝPOČTY

### THE USAGE OF FINITE ELEMENT METHOD IN THERMAL AND MECHANICAL CALCULATIONS

**Bc. Alžběta Kohoutová**

#### **Abstract**

*This paper focuses on the finite element method (FEM) and its application in structural engineering. Its content is formally divided into two parts. In the first part the origin and basis of the finite element method will be covered. In the second part we will take a closer look on thermal and mechanical analysis using FEM. The explanation will be accompanied with illustrative examples in order to better understand the problematic.*

**Key words:** *Finite element method (FEM); structural analysis; thermal analysis; direct stiffness method; heat transfer; linear finite element analysis; nonlinear finite element analysis*

#### **ÚVOD**

Metoda konečných prvků (MKP) je jednou z numerických metod řešení diferenciálních rovnic. Ačkoliv původně vznikla pro účely mechanické analýzy, velice rychle se rozšířila do dalších odvětví, a dnes již patří mezi základní nástroje v oblasti mechaniky, vedení tepla, dynamiky tekutin či elektromagnetismu. Její původ sahá do 60. let 19. století, kdy byla vydána první kniha s názvem *The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics* zabývající se základy této stále se vyvíjející metody [1]. Dnes je metoda konečných prvků významným a celosvětově uznávaným prostředkem řešení parciálních diferenciálních a integro-diferenciálních rovnic. Za zmínku stojí její mnohostrannost oproti mnohým jiným metodám, která umožňuje řešení různorodých praktických příkladů v celé škále oborů a odvětví. V neposlední řadě je její nespornou výhodou právě konečný počet prvků obsažený v modelech, který i při složitějších analýzách s velkým množstvím prvků umožňuje dosáhnout výsledků s použitím digitálních výpočetních nástrojů v relativně krátkém čase.

#### **PRINCIP METODY KONEČNÝCH PRVKŮ**

Základním konceptem metody konečných prvků je rozložení systému, v případě mechanické analýzy konstrukce, na jednotlivé součástky neboli prvky. Následně je konstrukce z těchto prvků znovu poskládána a analyzována. Mnoho systémů lze dostatečně výstižně popsat pomocí modelu složeného z konečného počtu správně zvolených prvků. Toto řešení nazýváme *diskrétní*. V jiných případech neexistuje konečný počet prvků a systém lze pouze modelovat pomocí matematické fikce nekonečna. V tomto případě se jedná o řešení *kontinuální*.

V oblasti analýzy diskrétních problémů se v průběhu let vyvinula standardní metodika řešení. Ať už se jedná o analýzu mechanickou, elektrickou či hydraulickou, vždy se uplatňuje obecně aplikovatelný vzorec. Proto lze definovat pojem *standardní diskrétní systém*, jehož vývoj můžeme sledovat v mechanickém inženýrství zejména v 19. a 20. století [1].

#### **MKP V MECHANICKÉ ANALÝZE**

Pro seznámení s diskrétním systémem uvažujme konstrukci s lineárním elastickým chováním.

Obr. 1 (A) znázorňuje příhradovou konstrukci složenou z prutových prvků, na jejichž koncích jsou tzv. uzly. Pruty jsou uloženy kloubově a rovněž jsou spolu kloubově spojeny, tudíž nepřenáší moment. Předpokládejme, že známe charakteristiku obou prvků. Pokud analyzujeme typický prut,

vnější síly působící v uzlech připojených k danému prutu jsou definovány pomocí posunů těchto uzlů, jejich počáteční deformace a vnitřních sil v prutu. Síly a příslušné posuny definujeme v globálním souřadnicovém systému  $x, y$ .

Pokud uzlové posuny definujeme jako vektor  $\mathbf{u}$ , pak za předpokladu lineárního elastického chování prvku je charakteristický vztah vždy

$$\mathbf{K}\mathbf{u} = \mathbf{f} \quad (1)$$

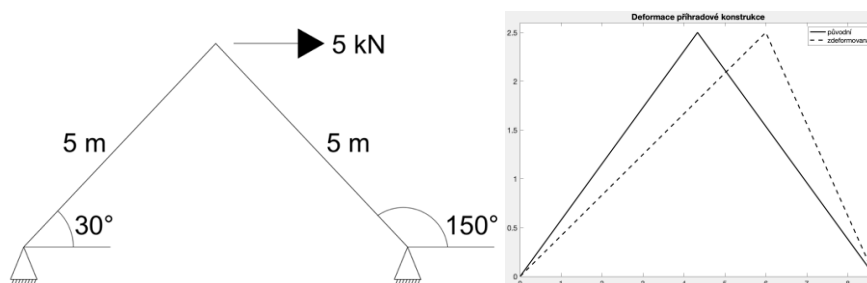
kde  $\mathbf{f}$  reprezentuje vektor vnějších sil působících v jednotlivých uzlech. Matice  $\mathbf{K}$  je pak čtvercová matice tuhosti prvku, jejíž počet řádků a sloupců je určený počtem stupňů volnosti prvku. Ve dvou-dimenzionálním příkladu je každý uzel charakterizován dvěma stupni volnosti, prvek s jedním připojeným uzlem na každém svém konci má tudíž čtyři stupně volnosti.

Toto je tedy základní rovnice popisující všechny mechanické příklady, které jsou v tomto textu uvedeny.

## LINEÁRNÍ MECHANICKÝ VÝPOČET

Uvažujme příklad definovaný v předchozí kapitole. Jedná se o část příhradové konstrukce znázorněné na obr. 1 (A), složené ze dvou prutových prvků, zatížené v prostředním uzlu horizontální silou  $F = 5 \text{ kN}$ . Cílem je zjistit, jakým způsobem se konstrukce zdeformuje za předpokladu, že známe průřez  $A$ , modul pružnosti  $E$  a délku  $L$  obou prvků.

Nejprve byly očíslovány jednotlivé prvky (1–2) a uzly (1–3). Dále byl definován vektor vnějších sil  $\mathbf{f}$  a sestavena globální matice tuhosti  $\mathbf{K}$ . Konstrukce má celkem šest stupňů volnosti (dva v každém uzlu), jedná se proto o matici  $6 \times 6$ . Následně byl spočten vektor posunů v globálním souřadnicovém systému s použitím základní rovnice představené v předchozí kapitole. Výsledná deformace je patrna z grafu na obr. 1 (B).



Obr. 1 (A) Příhradová konstrukce; (B) Deformace konstrukce  
Fig. 1 (A) Truss structure; (B) Structure deformation

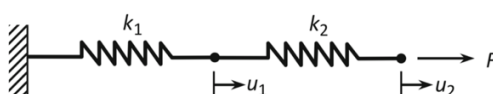
## NELINEÁRNÍ STRUKTURÁLNÍ VÝPOČET

Předchozí kapitoly se zabývaly lineárním systémem, tedy takovým, ve kterém existuje lineární vztah mezi vstupem a výstupem. Konstrukci lze nazývat lineární, pokud veškeré vztahy mezi zatížením, napětím, přetvořením a posuny jsou lineární [2].

Pokud mezi jakýmikoliv z výše uvedených veličin neexistuje lineární vztah, jedná se o nelineární systém. Nelinearit existuje několik druhů, v mechanické analýze se nejčastěji setkáváme s nelinearitou geometrickou, materiálovou, kinematickou a silovou. Pro účely tohoto článku se budeme dále zabývat pouze nelinearitou materiálovou, tedy takovou, ve které je vztah mezi napětím a přetvořením nelineární. Tento vztah je nejčastěji zobrazován pomocí tzv. *pracovních diagramů*.

V následujícím jednodimenzionálním příkladu uvažujeme dvě sériově zapojené pružiny tažené silou  $F = 100 \text{ N}$  (viz obr. 2). Cílem je opět zjistit posuny  $u$  jednotlivých uzlů za předpokladu, že známe tuhosti jednotlivých pružin definovaných jako  $k_1 = 50 + 500u$  a  $k_2 = 100 + 200u$ . Je zřejmé, že tuhost závisí na prozatím neznámých uzlových posunech a výsledné rovnice jsou tudíž nelineární.

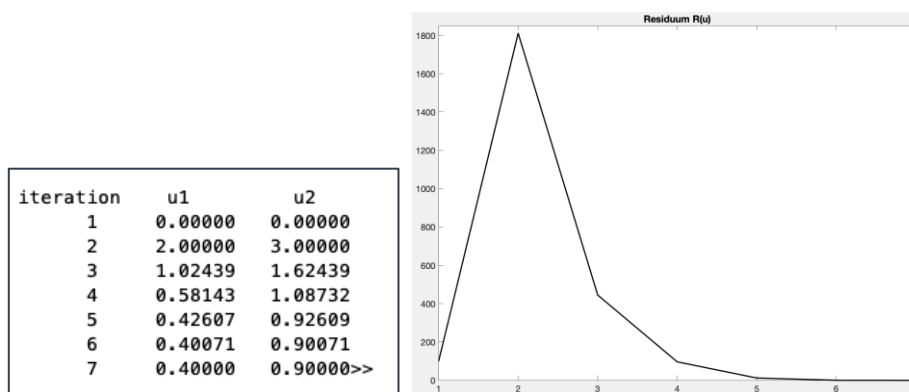
Zatímco za předpokladu lineárního chování konstrukce jsme dostali neznámý vektor posunů vyřešením rovnice  $\mathbf{K}\mathbf{u} = \mathbf{f}$ , při nelineární analýze nelze získat výsledek přímým výpočtem, ale postupně se k němu přibližujeme pomocí iterací. Existuje mnoho metod řešení, v tomto případě bylo postupováno podle tzv. Newtonovy či Newton-Raphsonovy metody. Jedná se o velice oblíbenou iterační metodu, hojně využívanou v numerických analýzách pro řešení nelineárních rovnic. Vychází z prvotního odhadu neznámých a lokální aproximace nelineárních rovnic rovnicemi lineárními. V každé iteraci je vyřešením těchto lineárních rovnic získán přírůstek k prvotnímu odhadu neznámých, a tímto způsobem výsledek postupně konverguje k přesnému řešení. Výpočet je ukončen, jakmile je nalezen výsledek nelineárních rovnic s námi předem zvolenou přesností.



Obr. 2 Dvě nelineární pružiny  
Fig. 2 Two nonlinear springs

V tomto příkladu byl zvolen odhad vektoru neznámých  $\mathbf{u} = [2, 3]$ .

Nelineární rovnice  $\mathbf{K}(\mathbf{u})\mathbf{u} - \mathbf{f} = \mathbf{0}$  byla přepsána na tzv. residuální tvar  $\mathbf{R}(\mathbf{u}) = \mathbf{0}$ . Z Obr. 3 (A) je zřejmé, že výsledku s požadovanou přesností 0,001 bylo dosaženo po šesti iteracích. Rovněž z grafu na obr. 3 (B) je patrné, že residuum  $\mathbf{R}(\mathbf{u})$  s každou iterací konverguje k nule.



Obr. 3 (A) Výsledek jednotlivých iterací; (B) Residuum  $R(u)$   
Fig. 3 (A) Result in each iteration; (B) Residual  $R(u)$

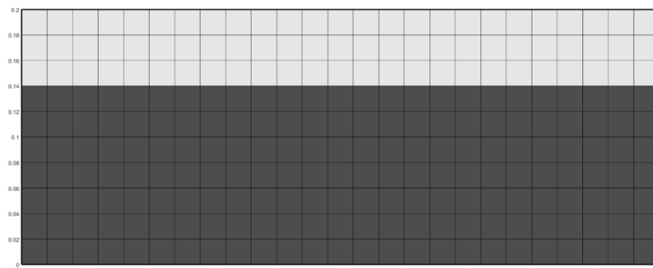
## TEPLOTNÍ VÝPOČET

Princip řešení vedení tepla v konstrukcích pomocí metody konečných prvků je vysvětlen v následující ilustrativní úloze. Předmětem teplotní analýzy je část stropní konstrukce tloušťky 200 mm a délky 500 mm. Konstrukce se skládá ze železobetonu tloušťky 150 mm a nášlapné vrstvy podlahy tloušťky 50 mm. Jsou známy materiálové parametry hustota, měrná tepelná kapacita a tepelná vodivost obou materiálů. Konstrukce je vystavena tepelnému toku dopadajícímu lokálně na její spodní povrch. Tepelný tok je definován jako lineární funkce v čase dosahující maximální hodnoty  $3 \text{ kW/m}^2$  v čase  $t = 15 \text{ min}$ . Vedení tepla v konstrukci popisuje rovnice

$$\mathbf{C}(\mathbf{x}^n) \frac{\mathbf{x}^{n+1} - \mathbf{x}^n}{\Delta t} + \mathbf{K}(\mathbf{x}^n) \mathbf{x}^{n+1} + \mathbf{f} = \mathbf{0}. \quad (2)$$

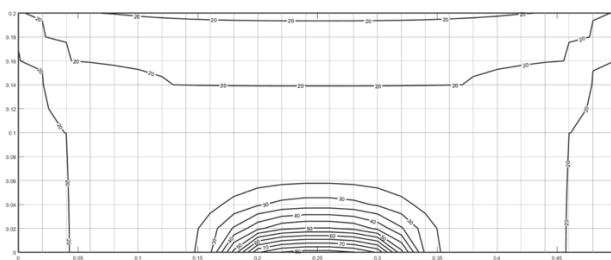
Kde  $\Delta t$  reprezentuje časový krok (v tomto případě byl zvolen časový krok 10 s),  $\mathbf{x}^n$  a  $\mathbf{x}^{n+1}$  vektor teplot v uzlech v daném a následujícím časovém kroku [°C] a  $\mathbf{f}$  teplotní zatížení [kW].  $\mathbf{C}$ , respektive  $\mathbf{K}$  značí matici kapacity, respektive konduktivity.

V prvním kroku je třeba vytvořit síť. Je třeba mít na paměti, že čím jemnější síť, tím přesnější výsledek, avšak delší výpočetní čas. Pro účely této úlohy byla vytvořena síť o celkem 250 prvcích. Ve druhém kroku byly přiřazeny materiálové parametry jednotlivým prvkům sítě. Na obr. 4 je pro přehlednost tmavě znázorněn železobeton a světle vrstva podlahy.



Obr. 4 Síť  
Fig. 4 Mesh

Následně byly na základě známých materiálových charakteristik definovány matice kapacity a konduktivity. Obr. 5 vykresluje rozložení teplot v konstrukci v čase  $t = 30$  min.



Obr. 5 Rozložení teplot v konstrukci v čase  $t = 30$  min  
Fig. 5 Temperature distribution in the structure in time  $t = 30$  min

## ZÁVĚR

V tomto článku bylo představeno využití metody konečných prvků v mechanických a teplotních analýzách. Prozatím byly úlohy řešeny zvlášť, mým záměrem je v navazující diplomové práci tyto příklady rozšířit a propojit do komplexnější sdružené úlohy řešící teplotní i mechanické zatížení současně. Důvodem je skutečnost, že nejen silové, ale i teplotní namáhání ovlivňuje mechanickou odezvu konstrukce. Diplomová práce bude dále rozšířena o RBSM (Rigid Bodies-Spring Model) metodu, která umožňuje lépe analyzovat vazby mezi betonem a betonářskou výztuží a mikrotrhliny v železobetonu.

## LITERATURA

- [1] ZIENKIEWICZ, O., et al. *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*. 6th ed. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. ISBN 9780080472775.
- [2] KIM, N. *Introduction to Nonlinear Finite Element Analysis*. New York: Springer US, 2015. ISBN 978-1-4419-1746-1.

## MĚŘENÍ PÓROVÉHO TLAKU V BETONU VYSTAVENÉM VYSOKÝM TEPLOTÁM

### METHODS OF MEASUREMENT OF PORE PRESSURE IN CONCRETE EXPOSED TO HIGH TEMPERATURES

**Bc. Michal Macháč**

#### **Abstract**

*Pore pressure in concrete is a well-known phenomenon that can be described using various mathematical models, it is easy to observe its consequences in the form of spalling of concrete, but it is relatively complicated to measure its value experimentally. As there is no standardized procedure for this measurement, the results and the obtained data can be significantly influenced by the measurement technique. The aim of this thesis is to design an experiment so that the measured results of pore pressure are not affected by technological influences, but only differences in the physical properties of the tested concrete mixtures.*

**Key words:** concrete; pore pressure; spalling; high temperatures; experiment

#### **ÚVOD**

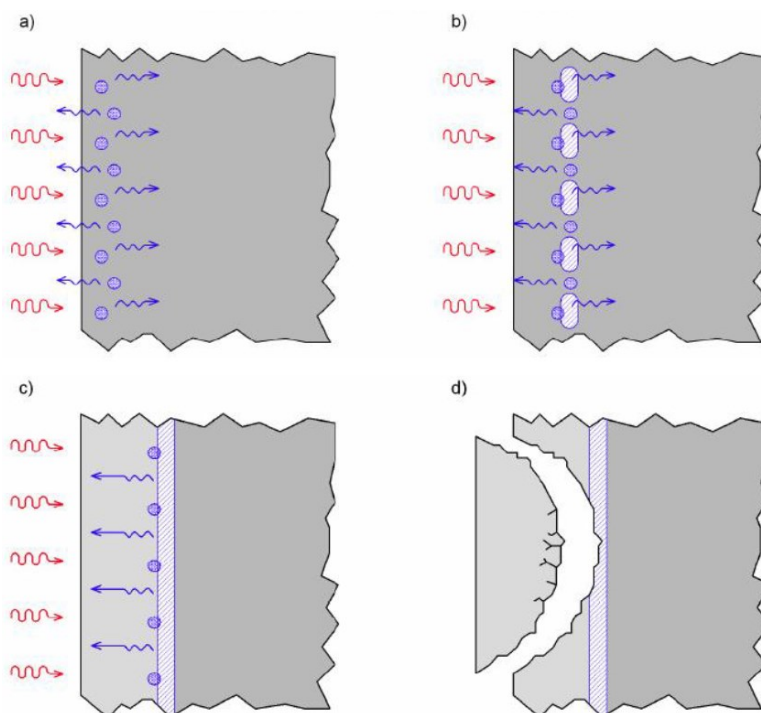
Beton je stavební materiál používaný převážně pro nosné konstrukce. Beton je nehořlavý materiál, ale působením zvýšených teplot je negativně ovlivněný. Při vystavení betonových konstrukcí zvýšeným teplotám dochází k fyzikálním, chemickým a mechanickým procesům. Tyto procesy v betonu mohou zanechat vratné nebo trvalé změny mechanických, teplotních a fyzikálních vlastností. [1]

#### **PÓROVÝ TLAK**

Za zvýšených teplot dochází v betonu k termo-mechanickým a termo-hydrálním procesům. Výsledkem těchto dvou hlavních procesů je odštěpování vrchních vrstev betonu [2].

#### **TERMO-HYDRÁLNÍ PROCES**

Termo-hydrální proces je spojen s přesunem hmoty (vzduch, vodní pára a voda) v pórovém systému betonu viz Obr. 1. Zvyšováním teploty dochází k vypařování vody obsažené v betonu a tím i zvětšení její objemu. Prvně dochází k vypařování fyzikálně vázané vody v betonu, která se vypařuje při teplotách nad 100 °C. Další zvyšování teploty způsobuje dehydrataci cementového tmelu a následné vypařování vody uvolněné z cementového tmelu. Vypařování vody způsobuje nárůst tlaku v pórovém systému betonu. Tlakový gradient je hlavní hnací silou pro přenos hmoty. Pára a vzduch jsou částečně přesouvány na ohřátý povrch, ale také migrují do středu prvku, kde pára opět kondenzuje, jakmile jsou splněny termodynamické podmínky. Dochází k vytvoření kvazi-nasycené vrstvy. Po určité době dochází k vytvoření tří vrstev v betonu od zahřívání strany, zbytek betonového prvku se nemění. Dochází k vytvoření suché/dehydratované vrstvy, sušící/dehydratační vrstvy a kvazi-nasycené vrstvy. Kvazi-nasycená vrstva působí jako nepropustná zábrana pro plyny. Nejvyšší tlak se nachází v nasycené vrstvě, která se nachází na rozmezí kvazi-nasycené vrstvy a zbytku nezměněného betonového prvku. Čím nižší je permeabilita materiálu, tím dříve (a tím blíže k ohřátému povrchu) se tato vlhkost koncentruje a tím je vyšší tlak a tlakový gradient [2, 3].



Obr. 1 Proces tvorby pórového tlaku v betonu založen na termo-hydrálním procesu [4]  
 Fig. 1 The process of pore pressure build-up in concrete based on a thermo-hydral process [4]

## TERMO-MECHANICKÝ PROCES

Termomechanický proces je spojen s teplotním polem v betonovém prvku. Teplotní gradienty indukují gradienty tepelné dilatace, které dále generují tahová napětí kolmá k vyhřívané ploše. V tomto procesu dochází k nekompatibilnímu chování cementové pasty a ostatních složek betonu. Zatím co ostatní složky betonu se roztahují, dokud nedojde k jejich chemickému rozložení, cementová pasta se smršťuje dehydratací vody. Toto rozdílné tepelné chování je důležitým zdrojem degradace matrice betonu [3].

## ODŠTĚPOVÁNÍ BETONU

Odštěpování vrchních vrstev betonu je výsledkem termo-mechanických a termo-hydrálních procesů v betonu při vystavení zvýšeným teplotám. Hlavní rizika vyplývající z odštěpování betonu jsou: exponování ocelové výztuže v betonu účinkům požáru, rychlost odštěpovaných kusů betonu pro jednotky HZS. Při exponování výztuže v betonu dochází k vyššímu nárůstu teploty ve výztuži a tím i rychlejšímu poklesu pevnosti výztuže a zhoršení schopnosti výztuže přenášet zatížení.

## EXPERIMENT

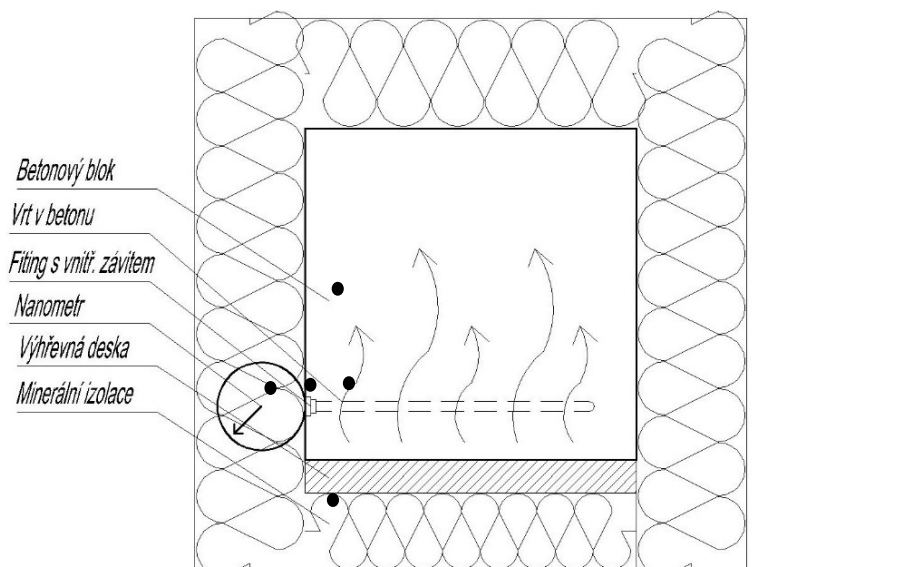
Řešený příklad v této práci bude vycházet z neúspěšného experimentu provedeného v diplomové práci [6] a experimentů popsaných v publikaci [5].

## VYHODNOCENÍ PŘEDCHOZÍHO EXPERIMENTU

Ačkoliv byl experiment popsaných v diplomové práci [6] proveden na základě úspěšných experimentů uvedených v publikaci [5], pórový tlak se nepodařilo naměřit. Při vyhodnocování byly stanoveny hlavní příčiny neúspěchu: zakončení přenosové trubičky, délka přenosové trubičky, chybějící izolace na povrchu vzorku, nedostatečný teplotní gradient zahřívání. [7]

## UPRAVENÝ EXPERIMENT

Na základě výše uvedených poznatků došlo k úpravě prováděného experimentu s ohledem na dostupné technické vybavení. Zvláštní pozornost byla věnována právě provedení sběrného místa pórového tlaku a minimalizaci přenosové části měřící soustavy. Bylo navrženo inovativní, doposud nepublikované řešení, které spočívalo v umístění kovového přípravku (fitinku) s vnitřním závitem do tělesa při betonáži a následné provedení vrtu, který je vodorovný s rovinou zahřívání vzorku (sběrný vrt se nachází v isotermě a isobaře). Toto řešení volit délku a průměr vrtu, čímž je ovlivněna plocha, ze které je pórový tlak měřen. Toto řešení vede k eliminaci vlivu nehomogenity betonu v místě měřeného místa. Schéma upraveného experimentu je znázorněno na Obr.2 [7].

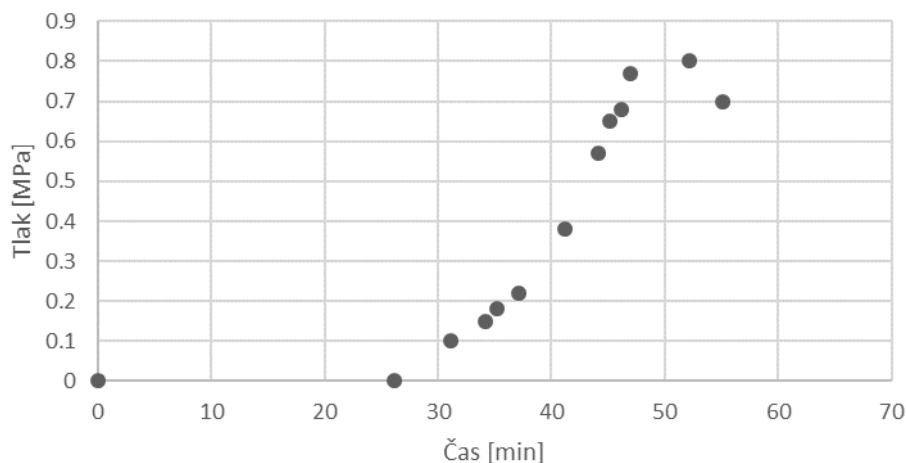


Obr. 2 Schéma upraveného experimentu  
Fig. 2 Scheme of a modified experiment



Obr. 3 Fotografie upraveného experimentu  
Fig. 3 Picture of a modified experiment

Na základě upraveného prováděného experimentu bylo provedeno první úspěšné měření pórového tlaku. V současné době probíhají další modifikace provedení experimentu, aby nebyly naměřené výsledky ovlivněné technologickými vlivy, ale jen rozdíly ve fyzikálních vlastnostech testovaných betonových směsí [7].



Obr. 4 Naměřený pórový tlak v betonu [7]  
Fig. 4 Measured pore pressure in concrete [7]

## ZÁVĚR

Beton je účinkem zvýšených teplot negativně ovlivněný. V betonu za zvýšených teplot dochází k termo-mechanickým a termo-hydrálním procesům. Výsledkem těchto dvou hlavních procesů je odštěpování vrchních vrstev betonu.

Cílem této práce a navazující magisterské práce je úprava experimentu popsaného v práci [7]. Upravením experimentu došlo k prvním úspěšným měřením pórového tlaku.

## LITERATURA

- [1] PROCHÁZKA, J., et al. Navrhování betonových a zděných konstrukcí na účinky požáru. Praha: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04613-5.
- [2] KLINGSCH, E. Explosive spalling of concrete in fire. *IBK Bericht*, 2014, 356.
- [3] KALIFA, P., et al. High-temperature behaviour of HPC with polypropylene fibres: From spalling to microstructure. *Cement and Concrete Research*. 2001, vol. 31, no. 10, s. 1487-1499. ISSN 0008-8846.
- [4] ŠTEFAN, R. Specifika návrhu prvků z vysokohodnotného betonu. Betonové konstrukce po požáru. *Prezentace pro ČVUT v Praze*, 133PSBZ, 2021.
- [5] LI, Y., et al. On measuring techniques of pore pressure in concrete at elevated temperature. *Cement & Concrete Composites*. 2020, vol. 114, s. 103737. ISSN 0958-9465.
- [6] TOMÁŠ, J. Měření pórového tlaku v betonu vystaveném vysokým teplotám. Praha, 2020. Diplomová práce (Ing.). České vysoké učení technické, Fakulta stavební, 02/2020
- [7] CHYLÍK, R. Měření pórového tlaku v betonu za vysokých teplot: poučení z prvotního neúspěchu. Ph.D. workshop. Praha: České vysoké učení technické, 2021.



## VLIV CHEMICKÉ DEGRADACE BETONU NA POŽÁRNÍ ODOLNOST ŽELEZOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

### INFLUENCE OF CHEMICAL DEGRADATION OF CONCRETE ON FIRE RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

**Bc. Petr Holeček**

#### **Abstract**

*The subject of this work is analysis of the influence of chemical degradation on the fire resistance of concrete structures. The main attention is paid to the attack of concrete structures by sulphates. Thanks to its properties, concrete is also used for constructions in strongly aggressive conditions. These are structures of a great importance, such as transportation and industrial buildings. It is very important that these structures retain their fire resistance despite the effects of negative conditions, due to the increased risk of exposure to extreme temperatures during fire. The work is divided into two parts. The first part is theoretical and describes the effects of chemical degradation of concrete structures. The effects of chlorides, the effect of carbon dioxide, decalcification, and especially the effect of sulphate attack are described. The second part is practical and deals with the preparation of an experiment, which will be the subject of a follow-up diploma thesis. It will examine samples exposed to previous sulphate attacks to assess their fire properties.*

**Key words:** reinforced concrete structures; sulphate attack; chemical degradation of concrete; material properties of concrete, high temperature

#### **ÚVOD**

V normálních příznivých podmínkách (stálá vlhkost a teplota, přiměřená zatížení) betonové konstrukce vykazují velmi dobrou životnost. Ovšem díky svým vlastnostem se betonové konstrukce využívají i v prostředích, která pro beton již tak příznivá nejsou. V celé své životnosti trpí betonové konstrukce vlivem působení okolního prostředí a tím se zhoršují jeho výhodné vlastnosti. To může mít za následek, v případě zanedbání údržby, zhoršení jejich vlastností, a dokonce i kolaps celé konstrukce.

Ačkoliv jsou moderní betonové konstrukce ve vlastnostech, které odolávají agresivnímu prostředí, v mnohém vylepšeny, stále dochází k velmi závažným poškozením. Hlavním důvodem, proč se zabývat zvyšováním trvanlivosti a životnosti betonu jsou vysoké, a především stále rostoucí náklady na výstavbu těchto konstrukcí. V případě poškození během jejich životnosti se náklady opět zvyšují, a to nejen o náklady spojené s výměnou či obnovou konstrukcí, ale i o ekonomické náklady spojené s přerušением provozu. V současné době se musí přihlídnout i na vysokou uhlíkovou pokutou spojenou s výrobou a používáním cementu. [1]

V současné době vývoje nových technologií a dalšími vlivy roste počet závažných nehod, při kterých jsou nosné konstrukce vystaveny vysokým teplotám – požáry v tunelech nebo výškových budovách. Vysokými teplotami může být nosná konstrukce vystavena i záměrně – konstrukce elektráren či složité průmyslové stavby. Požární posouzení konstrukcí je proto stále důležitější. Ovšem posouzení požární odolnosti se provádí na nových a nepoškozených konstrukcích. Vlastnosti železobetonových konstrukcí ale nemusí být po celou dobu životnosti konstrukce stálé, obzvláště pokud jsou vystaveny agresivnímu prostředí a fyzikální a chemické degradaci. Požární odolnost nosných konstrukcí může být poté určena velmi nepřesně. V tomto článku se pojednává o přehledu chemických degradací, působících na železobetonové konstrukce a přípravě experimentu, který má ověřit vlastnosti betonu za zvýšených teplot, po předchozí síranové korozi.

## DEGRADAČNÍ PROCESY ŽELEZOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

Degradaci železobetonu se rozumí zhoršení vlastností a kvality nebo znehodnocení materiálu, přičemž degradovat mohou všechny složky železobetonu – pojivo, kamenivo i ocelová výztuž. Hlavním důvodem, proč beton může degradovat je jeho porézní struktura. Póry umožňují transport látek uvnitř konstrukce. Transportními procesy jsou absorpce, difuze a penetrace, kvůli kterým mohou pronikat tekutiny, plyny nebo ionty. V případě pronikání dostatečného množství škodlivých látek se následně spouští degradační procesy. Pórovou strukturu lze ovlivnit již při výrobě betonu především vodním součinitelem, ošetřováním betonu přísadami a příměsi. [2]

Degradační procesy železobetonových konstrukcí se dělí na degradaci betonu a degradaci výztuže. Degradace betonu je způsobena buď fyzikálními, chemickými nebo chemicko-fyzikálními vlivy. Degradace výztuže je způsobena korozí. V následujících odstavcích je stručný přehled těchto degradačních vlivů a podrobnější popis vlivu zvýšených teplot a síranové koroze.

### FYZIKÁLNÍ DEGRADAČNÍ PROCESY

Fyzikální degradace může být způsobena zejména střídavým působením mrazu a rozmrazování, mechanickým opotřebením, požárem a vznikáním krystalů solí v pórech betonu. V případě působení mrazu dochází k zamrznutí vody nasáklé v pórech, kde zvětšuje svůj objem a tím vznikají vnitřní napětí a trhliny. Na stejném principu funguje i narušení pórů vznikajícími krystaly solí. Mechanické opotřebením může nastat po obrušování povrchu betonu (dopravní stavby, povrchy dopravních komunikací), narušení kavitací (rychlý proud vody), či erozí (působení kapalin s pevnými částicemi).

Vlivem zvýšených teplot za požáru v betonu probíhá spousta změn a procesů, které jsou závislé na teplotě. Do 100 °C v betonu dochází k hydrataci, kdy vznikají krystaly CSH a  $\text{Ca(OH)}_2$  (portlandit). Od 100 °C začíná dehydratace, uvolňování volné vody a rozklad hydrátů. Od 200 °C nastává uvolňování vázané vody. Od 300 °C vznikají mikrotrhliny a začíná se porušovat křemičité kamenivo. Mezi 550 a 600 °C se kvůli rozdílné tepelné roztažnosti začínají narušovat vazby mezi kamenivem a cementem. Od 800 °C se z hydraulických vazeb stávají keramické vazby a dekarbonizuje vápencové kamenivo. Při 900 °C nastává úplná dekompozice minerální struktury cementového tmelu. [3] Současně se vlivem teploty mění i fyzikální vlastnosti betonu. Nejpodstatnější pro návrh konstrukcí z betonu jsou měrná tepelná kapacita, objemová hmotnost a tepelná vodivost betonu. Zvyšuje se i poměrné přetvoření betonu. I když je beton nehořlavý materiál a při vystavení požáru má při srovnání s jinými materiály skvělé vlastnosti, dochází v něm během požáru k zásadním změnám vlastností.

### CHEMICKÉ DEGRADAČNÍ PROCESY

Chemická degradace betonu a výztuže je pro železobetonové konstrukce velmi nebezpečná. Probíhá vždy za přítomnosti vody v kapalném stavu, nebo v podobě vodní páry. I přesto je u těchto konstrukcí důležité sledovat jejich požární odolnost. Může se jednat o konstrukce tunelů a dopravních, podzemních nebo průmyslových staveb, kde degradační látky mohou působit vlivem podzemní vody, agresivní půdy nebo z agresivity prostředí, které vytváří provoz na konstrukcích.

Mezi degradaci ovlivňující látky patří chloridy, jejichž pronikání do betonu nemá přímo vliv na jeho expanzi, ale narušuje přirozenou pasivační vrstvu v okolí výztuže, která poté koroduje a tím zvětší svůj objem [1,4]. Dalším degradačním procesem je vyluhování pojiva, při kterém dochází k vyplavování iontů vápníku „hladovou vodou“ a tím beton ztrácí svou pevnost [1,4]. V neposlední řadě působí na betonové konstrukce vliv karbonatace a oxidu uhličitého [1].

## DEGRADACE VLIVEM SÍRANOVÉ KOROZE

Dlouhodobé působení síranů na konstrukce z betonu má velmi negativní vliv na jejich životnost. Síranová koroze může být způsobena sírany v podzemních, mořských nebo průmyslových vodách, [5] nebo obsahem síranů v původní betonové směsi ze surovin (kamenivo, záměsová nebo ošetřovací voda) [6]. Poškození, které způsobují sírany je kombinací chemických a fyzikálních procesů. Při chemickém působení síranových iontů dochází k reakci s cementovými materiály a ty se následně přeměňují na sádku, ettringit a thaumasit [1]. Tím se zvětšuje jejich objem, což vyvolá vznik trhlin, ztrátu pevnosti a celkové zhoršení vlastností betonu. Při fyzickém působení síranů dochází ke krystalizaci síranové soli v pórech betonu, kde vzniká vnitřní napětí [7].

Byla zjištěna spousta faktorů, které ovlivňují degradaci betonu zkorodovaného sírany. Bylo dokázáno, že koncentrace síranových iontů má vliv na mechanismy degradace [7]. Zároveň v degračních procesech hraje roli složení síranových roztoků (síran sodný, síran vápenatý, síran hořečnatý) [8] a mineralogické složení použitého cementu [9]. Byly také zkoumány vlivy, které simulovaly skutečné podmínky konstrukcí z betonu jako jsou opakované sušení a smáčení [5].

## PRAKTICKÁ ČÁST

Tato část práce je zaměřena na přípravu a výrobu vzorků pro následné experimenty, ve kterých budou zkoumány vlivy síranové koroze na mechanické vlastnosti betonu za normálních teplot a za vysokých teplot simulujících teploty při požáru.

Vzorky jsou zhotovovány jako krychlové o rozměrech 50 x 50 mm ve zvláštních formách. Pro jejich výrobu je použit portlandský cement CEM I 42,5. Bylo použito přírodní drobné kamenivo s frakcí 0–4 mm a přírodní hrubé kamenivo s frakcí 4–8 mm. Vodní součinitel byl zvolen 0,33. Přesné složení betonu pro výrobu vzorků je uvedeno v Tab. 1.

Tab. 1 Poměr složek ve směsi betonu

Tab. 1 Mixture proportions of the concrete

Cement (kg/m <sup>3</sup> )	Voda (kg/m <sup>3</sup> )	Drobné kamenivo (kg/m <sup>3</sup> )	Hrubé kamenivo (kg/m <sup>3</sup> )	Plastifikátor (kg/m <sup>3</sup> )
550	183	1050	600	8

Vzorky jsou nyní v procesu výroby. Betonová směs je hutněna do speciálních forem, kde minimálně 24 hodin tuhne – obrázek 1. Poté jsou vzorky z forem vyjmuty a ponechány minimálně 28 dní důkladně zatvrdnout. Vzorky budou děleny do tří skupin, které budou následně měřeny z hlediska rozměrů a mechanických vlastností.



Obr. 1 Příprava vzorků – betonová směs ve formách  
Fig. 1 Sample preparation – concrete mixture in forms

První skupinou budou vzorky, u kterých se bude experimentálně zkoumat změna mechanických vlastností po vystavení síranové korozi. Vliv síranů bude s určitou koncentrací působit po delší časový úsek, aby bylo zajištěno rovnoměrné rozložení síranů po průřezu vzorku. Následně budou vzorky zkoušeny za pomoci vybavení laboratoře Katedry betonových a zděných konstrukcí na FSV ČVUT z hlediska modulu pružnosti, tlaku a objemových změn. Na základě získaných výsledků budou zaznamenány mechanické vlastnosti degradovaných vzorků.

Další skupina vzorků bude sloužit k experimentálnímu stanovení mechanických vlastností síranem korodovaného betonu při vysokých teplotách. Proces vystavení sírany budou probíhat podobně jako v první skupině. Hlavním rozdílem bude vystavení vzorku vysokým teplotám a následné měření jejich mechanických vlastností na horkých vzorcích. Výsledkem bude získání mechanických vlastností vzorků poškozených sírany při vysokých teplotách.

Poslední skupinou budou vzorky, které budou sloužit jako referenční, pomocí kterých se určí mechanické vlastnosti nepoškozeného betonu.

## ZÁVĚR

Degradace betonu způsobená síranovou korozi a vlivem zvýšených teplot jsou samostatně rozsáhle prozkoumány. Byla provedena spousta studií, které zkoumaly vliv síranů v kombinaci s různými degradačními vlivy. Ovšem požární odolnost konstrukcí se v praxi určuje pro ideální a nepoškozené materiály. Za celou dobu životnosti betonových konstrukcí mohou být poškozeny různými účinky degradace. Ty jsou ale při posouzení požární odolnosti zcela opomíjeny. Zejména síranová koroze má na vlastnosti konstrukcí z betonu významný vliv z pohledu pevnosti, objemových změn a degradace, a tudíž stejnou měrou ovlivňuje i jejich požární odolnost. Je proto nutný další výzkum, který by přiblížil vliv degradace na požární odolnost konstrukcí.

## LITERATURA

- [1] GLASSER, F. P., J. MARCHAND, a E. SAMSON. *Durability of concrete – Degradation phenomena involving detrimental chemical reactions*. Cem. Concr. Res., 38(2):226–246, 2008. ISSN 0008-8846.
- [2] PROCHÁZKA, J. *Trvanlivost betonových konstrukcí* [přednáška]. Praha: ČVUT, 2016.
- [3] PROCHÁZKA, J. a kol. *Navrhování betonových a zděných konstrukcí na účinky požáru*. Praha: ČVUT, 2010. ISBN 978-80-01-04613-5.
- [4] ŠČUČKA, J., P. MARTINEC. *Stavební hmoty 1 – Beton*. Ostrava: VŠB, 2013. [online] Dostupné z: [http://homel.vsb.cz/~khe0007/Predmety/Stavebni\\_hmoty\\_II/Scucka\\_Martinec-SH1-Betony.pdf](http://homel.vsb.cz/~khe0007/Predmety/Stavebni_hmoty_II/Scucka_Martinec-SH1-Betony.pdf)
- [5] LI, J, F. XIE, G. ZHAO a L. LI. *Experimental and numerical investigation of cast-in-situ concrete under external sulfate attack and drying-wetting cycles*. Constr. Build. Mater., 249:118789, 2020. ISSN 0950-0618.
- [6] CAMPOS A., C.M. L’OPEZ, A. BLANCO a A. AGUADO. *Effects of an internal sulfate attack and an alkaliaggregate reaction in a concrete dam*. Constr. Build. Mater., 166:668–683, 2018. ISSN 0950-0618.
- [7] LIU, P., Y. CHEN, W. WANG a Z. YU. *Effect of physical and chemical sulfate attack on performance degradation of concrete under different conditions*. Chem. Phys. Lett., 745:137254, 2020. ISSN 0009-2614.
- [8] NEVILLE, A. *The confused world of sulfate attack on concrete*. Cem. Concr. Res., 34(8):1275–1296, 2004. ISSN 0008-8846.
- [9] NAIK N. N., A. C. JUPE, S. R. STOCK, A. P. WILKINSON, P. L. LEE a K. E. Kurtis. *Sulfate attack monitored by microCT and EDXRD: Influence of cement type, water-to-cement ratio, and aggregate*. Cem. Concr. Res., 36(1):144–159, 2006. ISSN 0008-8846

## EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA BETONU A BETONOVÝCH PRVKŮ VYSTAVENÝCH VYSOKÝM TEPLOTÁM

### EXPERIMENTAL ANALYSIS OF CONCRETE AND CONCRETE STRUCTURES EXPOSED TO HIGH TEMPERATURES

Bc. David Vyleťal

#### **Abstract**

*The paper is focused on the tensile strength of the interface between adjacent concrete-based layers at elevated temperatures. This topic has not been fully understood and seems to be desired due to the development of 3D printing technology. The first part briefly summarizes the current findings in the field of 3D printing of concrete structures with the focus on the interface behaviour. Furthermore, the paper deals with testing methods for the observation of the tensile strength of the interface at ambient and elevated temperature. It all points to the conclusion that the further research is highly demanding in this field.*

**Key words:** layer interface; tensile strength; 3D concrete printing; fire behavior; experiments

#### **ÚVOD**

V současnosti se vysoká pozornost věnuje výzkumu 3D tisku betonových konstrukcí a je zde potenciál využití této technologie ke zhotovení stavebních objektů. Pro tuto aplikaci je nutné ověřit únosnost takto vyráběných prvků za požáru. Konstrukce vznikají vrstvením materiálu, kdy jednotlivé vrstvy jsou zhotoveny v odlišném stáří betonu. Takto vznikají problematická rozhraní, u kterých je třeba popsat jejich únosnost za zvýšené teploty. Z této oblasti existuje velmi omezené množství informací a práce tak má za cíl tyto poznatky shrnout a vyhodnotit pro další možný vývoj problematiky.

#### **3D TISK CEMENTOVÝCH KOMPOZITŮ**

Cementový kompozit je pro aplikaci aditivním nanášením (3D tiskem) složitějším materiálem oproti například materiálům na bázi plastů, jelikož se skládá z většího množství jednotlivých složek, které nemají vždy stejné vlastnosti.

Počátkem vzniku 3D tištěné konstrukce je vždy počítačový model, který je rozdělen na vodorovné vrstvy s definovanou tloušťkou. Takto připravený model je následně přenesen do samotného zařízení 3D tiskárny, které postupným nanášením materiálu v naprogramovaných vrstvách vytváří fyzický objekt.

Existují zásadní rozdíly mezi cementovými směsmi pro aditivní nanášení a běžnou výrobní technologií. Z důvodu malé velikosti nanášecích trysek je omezena maximální velikost zrna kameniva – většinou maximálně 4 mm. Směsi pro tuto aplikaci vynikají nízkým vodním součinitelem a musí mít správnou rychlost tuhnutí, aby nedocházelo k nadměrným deformacím spodních vrstev při tisku vrstev následujících.

#### **ROZHRANÍ VRSTEV**

S problematikou rozhraní betonových vrstev se lze setkat v mnoha oblastech, jako jsou například prefa-monolitické konstrukce nebo sanace betonových konstrukcí. Práce se ovšem zabývá výhradně rozhraním vzniklým při aplikaci 3D tiskem, které je oproti výše uvedeným velmi specifické, jelikož se nevyskytuje pouze lokálně, ale tato rozhraní jsou rozprostřena po celé konstrukci.

Při nanášení dochází k časové prodlevě mezi tiskem jednotlivých vrstev, tím dojde k mírnému zavadnutí předchozí vrstvy, což má za následek snížení pevnosti v tomto rozhraní a vzniká tak nejslabší místo celé konstrukce [1]. Nanášecí postup je vidět na obr. 1.



*Obr. 1 Tisk cementového kompozitu [2]*

*Fig. 1 Printing of cement composite [2]*

Výslednou pevnost vazby ovlivňuje především složení cementové směsi a časový interval mezi extruzí jednotlivých vrstev [1]. Při podrobnějším pohledu na problematiku se ukáže, že faktorů ovlivňujících výslednou kvalitu výrobku je mnohem více a navzájem se prolínají. Tyto faktory lze rozdělit do dvou základních skupin. První z nich se skládá z parametrů, které přímo souvisí se samotnou výrobou, jsou to tedy vlastnosti samotné směsi a nastavení nanášecího zařízení. Druhou skupinu tvoří vlastnosti okolního prostředí, jako je teplota a relativní vlhkost vzduchu. Vždy je důležitá vzájemná konfigurace modelu, složení cementového kompozitu a nanášecího zařízení, jedině tak dojde k zajištění kvalitního výsledku [3].

### ÚNOSNOST ZA BĚŽNÉ TEPLoty

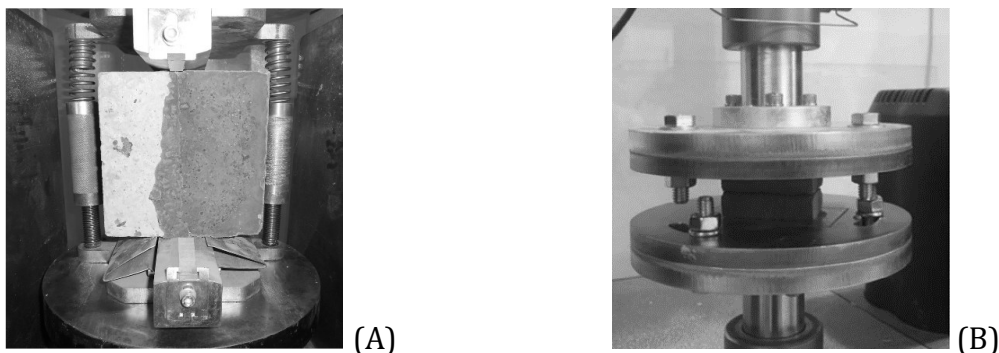
Prozatím neexistuje ustálená metodika, podle které by se cementové kompozity a výrobky vzniklé 3D tiskem testovaly. V jednotlivých výzkumech se tedy liší jak rozměry a způsoby přípravy vzorků, tak testovací metody, které jsou následně využívány. V důsledku těchto nesrovnalostí je velmi obtížné mezi sebou výsledky studií porovnávat a vytvářet adekvátní závěry o vlastnostech jednotlivých kompozitů [4].

Zkušební vzorky pro testování rozhraní vrstev mohou být vyráběny dvěma způsoby, prvním z nich je klasická betonáž do formy, kdy dojde s požadovaným časovým odstupem k vytvoření dvou samostatných vrstev. Druhým způsobem výroby je vytlačování betonu, a to buď ručním zařízením, které má simulovat nanášení při 3D tisku, nebo samotnou 3D tiskárnou, která vytvoří konstrukci, ze které jsou následně vyřezány vzorky požadovaných rozměrů. Rozměry vzorků se odvíjí od použité technologie výroby, při betonáži do forem jsou dány velikostí této formy. Při výrobě vytlačováním betonu se velikost vzorků odvíjí od šířky trysky nanášecího zařízení, tato velikost se ve většině případů pohybuje od 30 do 60 mm.

V případě vzorků betonovaných do formy je pro stanovení tahové únosnosti využívána zkouška v příčném tahu (Obr. 2A) [3]. Pro výřezy z 3D tištěných konstrukcí se využívá více metod: prostý tah (Obr. 2B), příčný tah, tříbodový a čtyřbodový ohyb. Každá z těchto metod má své výhody a nevýhody, které se mohou projevit na naměřených hodnotách únosnosti rozhraní.

Veškeré výzkumy týkající se řešené problematiky se shodují na faktu, že rozhraní vrstev tvoří nejslabší místo ve 3D tištěných betonových konstrukcích. Byl zjištěn značný vliv časové prodlevy na výslednou tahovou pevnost rozhraní [3, 5].

Míra poklesu tahové pevnosti se ale v jednotlivých experimentech značně liší, což je způsobeno právě odlišnými parametry zkoušek, zkušebních těles a samotných materiálů.



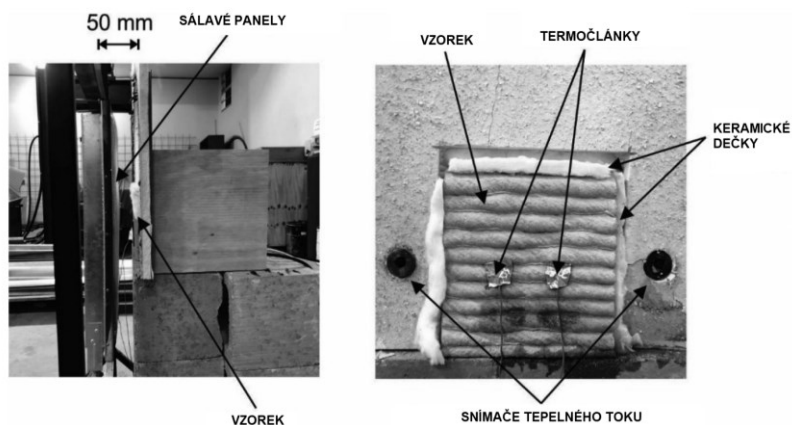
Obr. 2 (A) Zkouška v příčném tahu [3]; (B) Zkouška v prostém tahu [5]  
Fig. 2 (A) Tensile splitting test [3]; (B) Simple tensile test [5]

### ÚNOSNOST ZA ZVÝŠENÉ TEPLoty

Z problematiky únosnosti rozhraní vrstev za zvýšené teploty prozatím existuje velmi omezené množství poznatků, ovšem v posledních letech proběhly experimenty, které se snaží vliv teploty popsat. Prozatím měli vědci starosti s vývojem směsí, které by vykazovaly spolehlivé vlastnosti při běžných teplotách. Nyní už vývoj cementových směsí pokročil a pro aplikace ve stavebnictví je velmi důležité získat informace o chování těchto materiálů a konstrukcí v případě požáru.

Způsoby testování a výroby vzorků vychází z experimentů provedených za běžné teploty. Zajímavé je, že ve třech ze čtyř zkoumaných studií byl na prokázání tahové pevnosti rozhraní využit čtyřbodový ohyb a pouze v jednom případě tříbodový. Tato skutečnost se značně odlišuje od zkoušek za běžné teploty, kde byla v drtivé většině ohybových testů použita právě varianta tříbodového ohybu.

Při těchto experimentech je dalším důležitým faktorem způsob zahřívání testovaného vzorku. V dosud proběhlých experimentech byly využity 2 způsoby ohřevu. V prvním případě (Obr. 3), se jedná o jedno-dimenzionální zahřívání vzorku pomocí sálavých panelů o výkonu 50–60 kW/m<sup>2</sup>, které jsou vzdáleny 50 mm od přední strany testovaného vzorku. Vzorek je po obvodě chráněn keramickými dečkami, ve středu tloušťky je umístěn termočlánek, který měří teplotu a zahřívání probíhá, dokud teplota termočláneku nedosáhne 300 °C. [6]



Obr. 1 Zahřívání sálavými panely [6]  
Fig. 3 Heating by radiant panels [6]

Druhý způsob, který byl využit, se od předchozího značně liší. Vzorek byl zahříván uvnitř pece, tudíž docházelo k ohřevu ze všech stran. Teplota se zvyšovala rychlostí 3 °C/min na požadovanou hodnotu a poté byla udržována po určitou dobu, aby došlo k prohřátí vzorku. [7]

Při experimentech bylo zjištěno, že u velké části vzorků, které byly zahřívány sálavými panely z jedné strany, došlo vlivem teplotního gradientu mezi přední a zadní stranou ke vzniku tak vysokých tahových napětí, které již při zahřívání vedly k delaminaci vrstev a poruše vzorků. U vzorků, u kterých se podařilo pevnost rozhraní změřit, byl zjištěn pokles tahové únosnosti o 73 % oproti vzorkům, které neprošly zahřátím [5]. V případě rovnoměrně zahřívání vzorků k delaminaci při zahřívání nedocházelo a byl naměřen 25% pokles únosnosti rozhraní [7]. Vzhledem k tomu, že parametry zahřívání i samotného materiálu byly velmi rozdílné, nelze tyto dvě hodnoty poklesu únosnosti navzájem porovnávat.

## ZÁVĚR

3D tisk betonových konstrukcí je velmi aktuálním tématem dnešní doby. Tato oblast ještě zdaleka není probádána a je zde tedy mnoho možností pro další rozvoj. Již vznikají materiály a konstrukce, které vykazují dobré vlastnosti za běžných teplot, ovšem zde neexistuje předpis, který by sjednotil výrobu a testování zkušebních těles tak, aby mezi sebou mohly být jednotlivé směsi objektivně porovnávány. V případě únosnosti rozhraní za zvýšených teplot je tato problematika ještě v začátcích, a proto je nutné se dále zabývat vývojem a zkoumáním, aby bylo možné 3D tisk aplikovat jako jednu z metod pro výstavbu například menších obytných objektů. Prozatím nejvyužívanější testovací metodou je čtyřbodový ohyb a při prvních výzkumech byl zjištěn značný pokles únosnosti, případně úplná ztráta soudržnosti v rozhraní. Zdá se, že na výsledný pokles únosnosti bude mít velký vliv způsob zahřívání vzorku. Již teď je tedy jasné, že požár únosnost rozhraní ještě více negativně ovlivní, ovšem k vytvoření jasných závěrů je nutné zahrnout do požárních zkoušek všechny proměnné, stejně jako tomu bylo doposud u experimentů za běžné teploty.

## LITERATURA

- [1] TAY, D. et al., *Time gap effect on bond strength of 3D-printed concrete. Virtual and Physical Prototyping* [online]. 2019, 14(1), 104–113. ISSN 1745-2759, 1745-2767. Dostupné z: doi:10.1080/17452759.2018.1500420
- [2] DING, T., et. al. *Hardened properties of layered 3D printed concrete with recycled sand. Cement and Concrete Composites* [online]. 2020 [vid. 2021-03-21]. ISSN 09589465. Dostupné z: doi:10.1016/j.cemconcomp.2020.103724
- [3] DYBEŁ, P. a WAŁACH, D. *Evaluation of the Development of Bond Strength between Two Concrete Layers*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering [online]. 2017, 245, 032056. ISSN 1757-8981, 1757-899X. Dostupné z: doi:10.1088/1757-899X/245/3/032056
- [4] BUSWELL, R.A., et al. *3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research*. Cement and Concrete Research [online]. 2018, 112, 37–49. ISSN 0008-8846. Dostupné z: doi:10.1016/j.cemconres.2018.05.006
- [5] PANDA, B., et al., *Measurement of tensile bond strength of 3D printed geopolymers mortar* [online]. 2018, 113, 108–116. ISSN 02632241. Dostupné z: doi:10.1016/j.measurement.2017.08.051
- [6] CICIONE, A., et al., *An experimental study of the behavior of 3D printed concrete at elevated temperatures*. Fire Safety Journal [online]. 2020, 103075. ISSN 03797112. Dostupné z: doi:10.1016/j.firesaf.2020.103075
- [7] D'HONDT, M., et al., *Fire Behavior of a Printed Sample for Building*. Second RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication [online]. Cham: Springer International Publishing, 2020 [vid. 2021-03-08], RILEM Bookseries, s. 428–438. ISBN 978-3-030-49915-0. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-030-49916-7\_44



## MODELOVÁNÍ POŽÁRU A SDÍLENÍ TEPLA NA MOSTNÍCH KONSTRUKCÍCH

### FIRE MODELLING AND HEAT TRANSFER ON BRIDGE STRUCTURES

**Bc. Filip Luštinec**

#### **Abstract**

*The main scope of the article is fire modelling and heat transfer on bridge structures. First of all, information about fires of flammable liquids is provided. The next sections summarize information about the heat release rate. The main aim of the text is to focus on the description of the model of fires of flammable liquids under the bridge structures. Sensitivity analysis is conducted in order to compare the CFD outputs with the nominal temperature curves from EN 1991-1-2 standard.*

**Key words:** Bridge structures; fire modelling; heat transfer; Fire Dynamics Simulator; nominal temperature curves.

#### **ÚVOD**

Při návrhu mostních konstrukcí se uvažuje se zatížením, které může vzniknout z příčin zemětřesení, větru nebo povodní. Ohledně návrhu konstrukce na požární zatížení nejsou návrhové přístupy nijak specifikovány v současně platných předpisech. To vše je částečně způsobeno tím, že mimořádné zatížení, např. zemětřesení, bylo poměrně dobře prostudováno a existují na něj předpisy, které snižují seismické škody na mostních konstrukcích. Na základě studie je dokázáno, že ke kolapsům způsobených mimořádným zatížením mostních konstrukcí dochází dvakrát více, než v případě jiného mimořádného zatížení – zemětřesení [1].

#### **POŽÁRY HOŘLAVÝCH KAPALIN**

Hoření kapaliny se, zejména v nádobách o velkých průměrech, vyznačuje vysokým sálavým tokem. Sálavé teplo může být nebezpečné pro ostatní konstrukce, nebo pro předměty, v okolí hořící kapaliny, ve kterých se nachází nebezpečné látky, které mohou vlivem vysokých teplot taktéž vzplanout, či vybuchnout. Nebezpečné jsou také pro zasahující složky integrovaného záchranného systému. Dále je u hoření kapaliny charakteristický velmi rychlý nárůst teplot, kdy se kapalina dostává v podstatě ihned po iniciaci do fáze ustáleného hoření.

Podle ohraničené hladiny lze rozdělit způsob hoření kapaliny na dva základní případy. Hoření kapaliny v neohraničeném prostoru se nazývá tryskající požár (angl. = spill fire). Jako příklad tryskajícího požáru může sloužit např. požár při úniku kapaliny z potrubí. Naopak hoření kapaliny v uzavřeném prostoru s volnou hladinou, tedy v nádobě, se nazývá plošný požár (angl. = pool fire) [2]. Plošný požár kapaliny patří k nejčastějším havarijním projevům, právě v souvislosti s incidenty dopravních nehod, kdy je převáženo velké množství hořlavé kapaliny, která při svém spalování vyvíjí mimořádné zatížení působící na mostní objekt.

#### **RYCHLOST UVOLŇOVÁNÍ TEPLA**

Ideální způsob, jak získat hodnoty rychlosti uvolňování tepla, je tyto hodnoty samostatně změřit. K tomuto účelu se nejčastěji využívá metody kyslíkové kalorimetrie. Podstatou této metody je uvolnění konstantního množství energie na jednotku spotřebovaného kyslíku. Konstanta množství energie je stanovena na 13,1 MJ na jeden kilogram spotřebovaného kyslíku [3].

HRR je možné zjistit i neexperimentálně, a to díky analytickému výpočtu, kde je předpokladem znalost plochy ohraničující rozlitou hořlavou kapalinu, hmotnostní rychlost spalování, spalné teplo látky a materiálovou konstantu hořlavé kapaliny [4]:

$$Q = \dot{m}'' \cdot \Delta H_{c,eff} \cdot (1 - e^{-k \cdot \beta \cdot D}) \cdot A_{pool} \cdot \chi \quad (1)$$

kde v rovnici (1) je  $Q$  rychlost uvolňování tepla [kW],  $\dot{m}''$  hmotnostní rychlost odhořívání [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  $\Delta H_{c,eff}$  spalné teplo látky [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ],  $k \cdot \beta$  materiálová konstanta hořlavé kapaliny [ $\text{m}^{-1}$ ],  $D$  průměr požáru [m],  $A_{pool}$  plocha požáru [ $\text{m}^2$ ] a  $\chi$  součinitel účinnosti spalování [-].

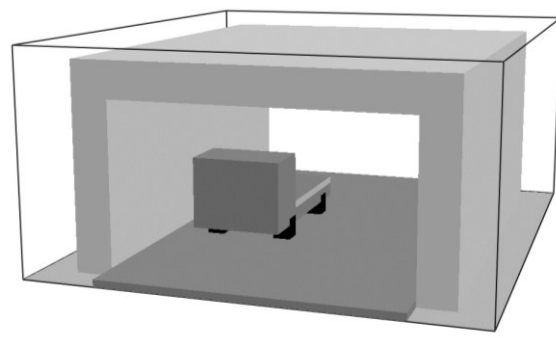
### ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

V rámci řešeného příkladu se jedná o výpočetní model mostního objektu, konkrétně o model požáru, kde jsou pozorovány teplotní křivky, množství uvolněného tepla a samotné hoření hořlavé kapaliny. Závěrem je následné vyhodnocení a porovnání výstupních dat s nominálními teplotními křivkami.

Pro vytvoření analýzy, kterou se zabývá tento článek, dochází ke značnému zjednodušení výpočetního modelu. To se jistým způsobem projevuje na úpravách skutečných rozměrů mostní konstrukce, ale i zjednodušení karoserie nákladního automobilu, které převáží hořlavou kapalinu. (Obr. 1).



(A)



(B)

Obr. 1 (A) Reálný most – vzor modelu; (B) Vytvořený model v softwaru FDS

Fig. 1 (A) Real bridge – model; (B) Model created in FDS software

Zdrojem paliva pro tuto simulaci je 2000 litrů heptanu, které se nachází na korbě nákladního automobilu, který jej převáží. Je vytvořen požární scénář, při kterém dochází k autonehodě a hořlavá kapalina tímto incidentem vzplane.

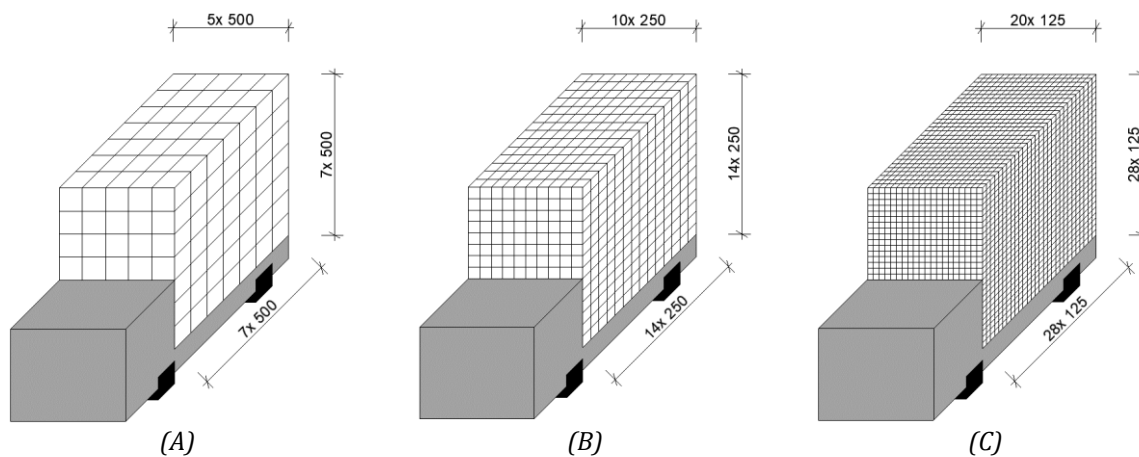
### CITLIVOSTNÍ ANALÝZA

Pro citlivostní analýzu (Tab. 1) byl použit výřez z modelu, ve kterém se nachází vymodelovaný nákladní automobil a prostor, ve kterém dochází k samotnému hoření (Obr. 2). Model je uzavřen horní hranou tak, aby byla simulována spodní hrana mostovky. Ve středu nad hořící hořlavou kapalinou této ohraničující plochy se nachází termočlánek, který snímá teploty pod mostovkou (Obr. 3).

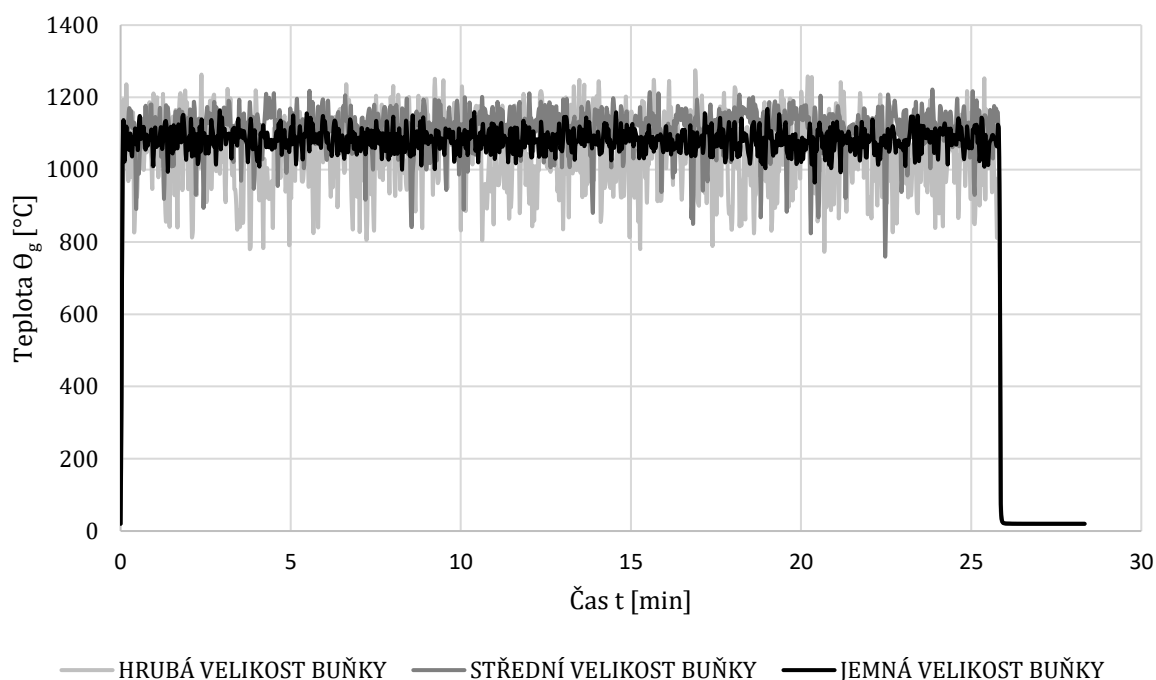
Tab. 1 Jednotlivé jemnosti výpočetních sítí

Tab. 1 The individual subtleties of computing mesh

Název	Velikost výpočetních buněk			Počet buněk matematického modelu
	x [mm]	y [mm]	z [mm]	
Hrubá velikost buňky	500	500	500	245
Střední velikost buňky	250	250	250	1 960
Jemná velikost buňky	125	125	125	15 680



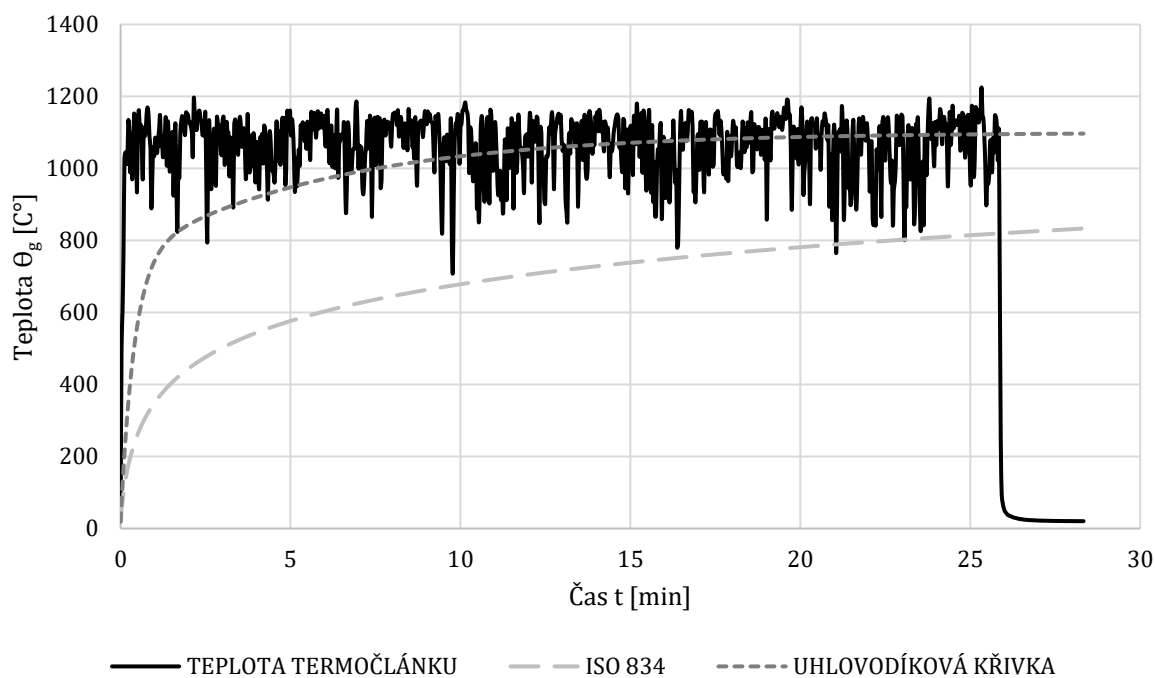
Obr. 2 (A) Hrubá velikost buňky; (B) Střední velikost buňky; (C) Jemná velikost buňky  
 Fig. 2 (A) Coarse cell size; (B) Moderate cell size; (C) Fine cell size



Obr. 3 Citlivostní analýza modelu  
 Fig. 3 Sensitive analysis of the model

## VÝSLEDKY

Vývoj maximálních teplot, které jsou snímány z termočlánku, který se nachází nad hořící kapalinou (korba nákladního automobilu) pod spodním povrchem mostovky je rychlejší než vývoj teplot nominální uhlovodíkové křivky podle ČSN EN 1991-1-2 [5]. S postupem času se oba tyto vývoje teplot přibližují a kopírují tak svůj tvar (Obr. 4).



Obr. 4 Porovnání teplotních křivek  
Fig. 4 Comparison of temperature curves

## ZÁVĚR

Článek shrnul problematiku požárů spojených s mostními konstrukcemi v návaznosti na nedostatek návrhových přístupů. Bylo popsáno chování hořlavých kapalin a rychlost uvolňování tepla, které přímo souvisí s požáry hořlavých kapalin. V řešeném příkladu se článek zabýval modelem požáru a jeho teplotami, které byly měřeny termočlánekem pod spodní hranou mostovky. Tento termočlánek je umístěn přímo nad palivem požáru. Výsledkem je porovnání maximálních hodnot snímaných termočlánekem s nominálními teplotními křivkami z ČSN EN 1991-1-2 [5].

## LITERATURA

- [1] GARLOCK, M., et. al. Fire hazard in bridges: Review, assessment and repair strategies. *Engineering Structures* [online]. 2012, 35, 89–98. ISSN 01410296. Dostupné z: doi:10.1016/j.engstruct.2011.11.002.
- [2] MARKOVÁ, I, et al. Fire Size of Gasoline Pool Fires. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. 2020, 17(2), 411. ISSN 1660-4601. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph17020411
- [3] DRYSDALE, D. *An introduction to fire dynamics*. 3rd ed. Chichester, West Sussex: Wiley, 2011. ISBN 978-0-470-31903-1.
- [4] KUČERA, P. *Požární inženýrství: dynamika požáru*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2009. ISBN 978-80-7385-074-6.
- [5] ČSN EN 1991-1-2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-2: Obecná zatížení - Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004, 56 s. Třídící znak 73 0035.

## MODELOVÁNÍ POŽÁRU A ANALÝZA POŽÁRNÍ ODOLNOSTI KONSTRUKCÍ SE ZOHLEDNĚNÍM NÁHODNOSTI VSTUPNÍCH PARAMETRŮ

### FIRE MODELLING AND FIRE RESISTANCE ANALYSIS OF STRUCTURES TAKING INTO ACCOUNT THE RANDOMNESS OF INPUT PARAMETERS

**Bc. Tomáš Kovářík**

#### **Abstract**

*The paper deals with the problem of the effect of fire on load-bearing structures using a probabilistic approach. In the introduction, the difference between the deterministic and the stochastic approaches is explained. The probabilistic approach is applied to the parametric temperature curve. A sensitivity analysis of input parameters and their influence on the maximum temperatures is performed before the actual application of the Monte Carlo method. The main part of the paper deals with a specific compartment and the application of the random input parameters. The convergence of the directional deviations of the probability of exceeding a certain value of gas temperature is investigated. The convergence of the standard deviations is compared for different numbers of simulations.*

**Key words:** fire models; fire resistance of structures; randomness; Monte Carlo method; statistic

#### **ÚVOD**

V požárním inženýrství se modely požáru dělí na fyzikální a matematické. Dále můžeme matematické modely rozdělit na deterministické a stochastické [1].

Deterministický model je takový, ve kterém je soubor proměnných dat jedinečně určen parametry v modelu a souborem předchozích hodnot těchto proměnných. Z toho vyplývá, že deterministické modely vykonávají stejné postupy pro dané vstupní podmínky. Náhodnost je zde reprezentována součiniteli [2, 3].

Ve stochastických modelech je přítomná náhodnost a pravděpodobnost. Tyto modely aplikují teorii pravděpodobnosti. Popisují jevy s předem neznámým výsledkem. Vychází se z „náhodného pokusu“. Vstupní soubor dat nebývají popsány jedinečnými hodnotami, častěji se používá pravděpodobnostní rozdělení těchto hodnot. Konkrétní hodnoty vstupů se často stanovují z dostupných statistik a inženýrského úsudku. Stochastické výstupy tvoří odhad pravděpodobnostních rozdělení potenciálních výstupů [2, 3, 4].

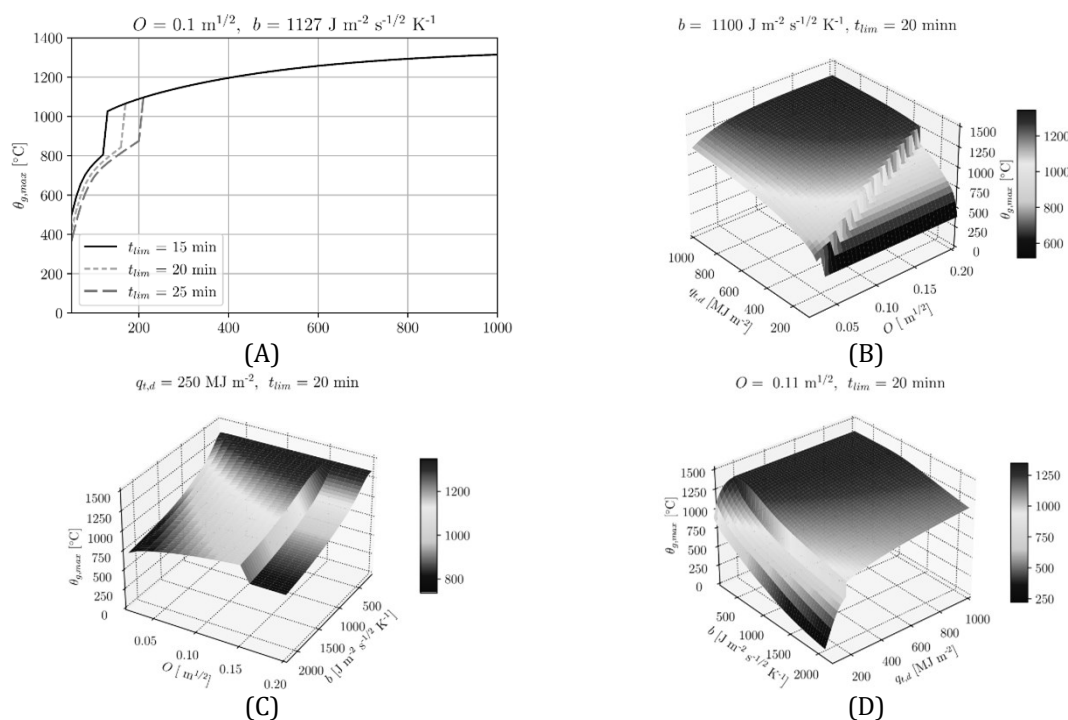
Oproti deterministickému výpočtu, pokud spustíme výpočet se stejnými vstupními údaji, dostaneme rozdílné výsledky. Stochastický model vychází z předpokladu nestejného průběhu požáru. Požár jako fyzikální a chemický proces nikdy neprobíhá stejně, nedokážeme přesně namodelovat požár ani v požárních pecích, kde si můžeme základní parametry ovládat v průběhu času [2, 3, 4].

#### **PRAVDĚPODOBNOSTNÍ PŘÍSTUP**

Pravděpodobnostní přístup zohledňuje náhodné jevy, které při průběhu požáru mohou nastat. Pro řešení příklad je použit model parametrické teplotní křivky dle ČSN EN 1991-1-2 [5]. Parametrická teplotní křivka zahrnuje 4 vstupní parametry. Jedná se o návrhovou hustotu požárního zatížení, faktor otvorů, součinitel b, rychlost rozvoje požáru. Vstupní parametry jsou modelovány s přihlédnutím k náhodnosti a variabilitě [5].

## CITLIVOSTNÍ ANALÝZA

Cílem citlivostní analýzy je zjistit, jak se mění maximální dosažené teploty plynů v požárním úseku ve vztahu k vstupním parametrům. Zejména vyšetřit monotónnost funkce. Monotónnost má vliv na rychlost konvergence použitých stochastických metod. Pomocí programovacího jazyka Python (v prostředí Spyder) byly vytvořeny 2D a 3D grafy (Obr. 1). V grafu jsou vždy vykresleny maximální dosažené teploty v závislosti na dvou neměnných parametrech a na dvou proměnných parametrech. Na Obr. 1 je vidět, že se nejedná o monotónní funkci.



Obr. 1 (A) 2D graf citlivostní analýzy; (B), (C), (D) 3D graf citlivostní analýzy  
Fig. 1 (A) 2D sensitivity analysis chart; (B), (C), (D) 3D sensitivity analysis chart

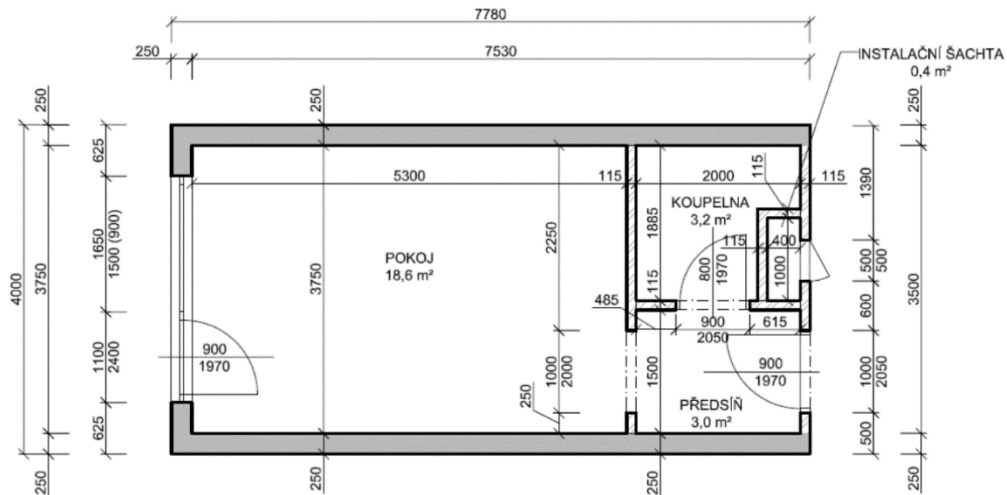
## APLIKACE METODY MONTE CARLO NA ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Řešený příklad ukazuje možnost využití stochastického přístupu při modelování požáru v konkrétním požárním úseku. Vstupní rozsah parametrů je uveden v Tab. 1 [6]. Postup výpočtu metodou Monte Carlo je následující (viz Obr. 3). Je provedeno 5 testů pro 10 a 100 cyklů výpočtu. Každý cyklus obsahuje 10, 100, 1000, 10000 simulací parametrické teplotní křivky pro náhodné vstupní parametry (viz Tab. 1). Z každého cyklu se určí pravděpodobnost překročení teploty plynů 600 °C. Máme tedy 100 pravděpodobností pro cykly s 10, 100, 1000, 10000 simulacemi. Pro těchto 100 pravděpodobností jsou určeny směrodatné odchylky. Tyto směrodatné odchylky jsou pak mezi sebou porovnány v Obr. 5.

Tab. 1 Rozsah vstupních parametrů pro příklad řešený v publikaci [6]

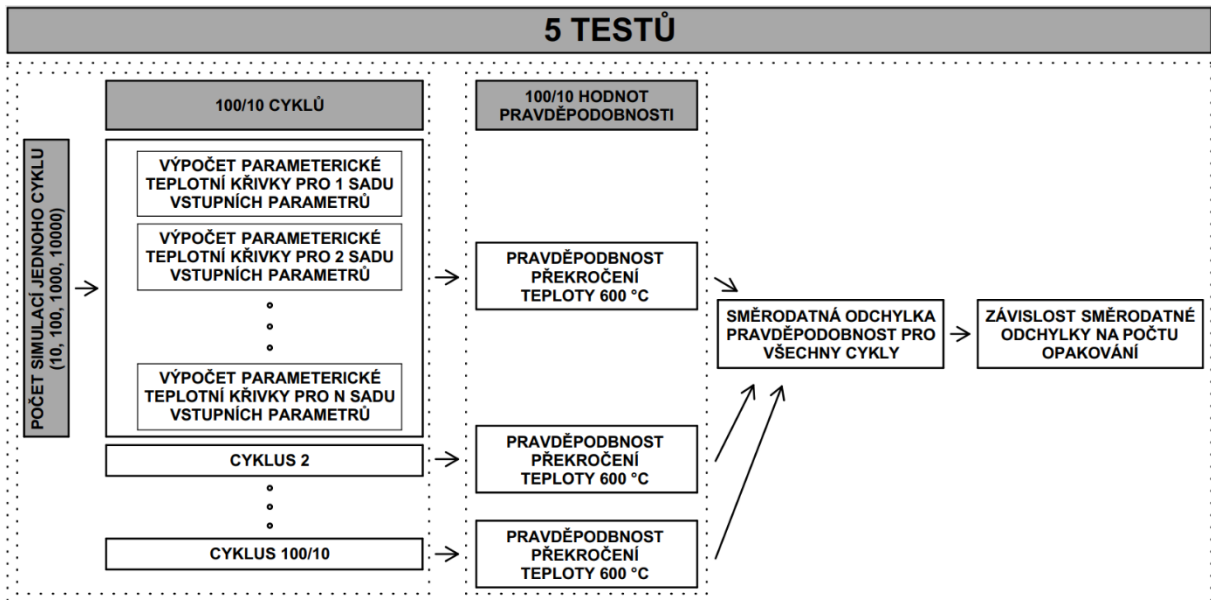
Tab. 1 Range of input parameters for the example solved in the publication [6]

Vstupní parametr	Rozsah	Jednotky	Rozdělení
Návrhová hustota požárního zatížení	$67,0 \leq q_{t,d} \leq 134,1$	MJ m <sup>-2</sup>	Rovnoměrné
Faktor otvorů	$0,02 \leq O \leq 0,089$	m <sup>1/2</sup>	Rovnoměrné
Součinitel $b$	$1831,6 \leq b \leq 2106,4$	J m <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup> K <sup>-1</sup>	Rovnoměrné
Rychlost rozvoje požáru	$t_{lim} = 20$	min	Konstantní



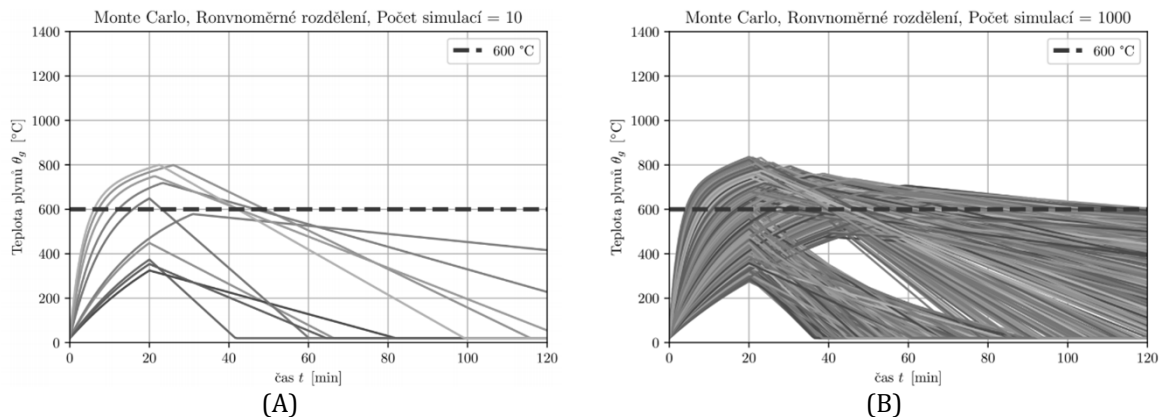
Obr. 2 Půdorys řešeného PÚ z publikace [6]

Fig. 2 Floor plan of the solved compartment from the publication [6]



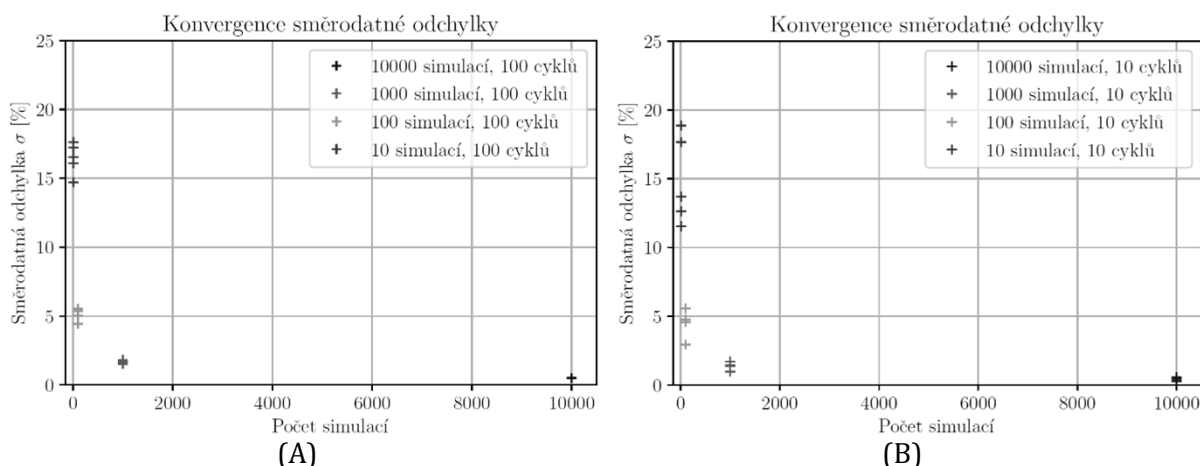
Obr. 3 Schéma postupu řešeného příkladu

Fig. 3 Flowchart of the solved example



Obr. 4 (A) Ukázka 1 cyklu parametrické teplotní křivky pro 10 simulací; (B) Ukázka 1 cyklu parametrické teplotní křivky pro 1000 simulací

Fig. 4 (A) Example of 1 cycle of parametric temperature curve for 10 simulations; (B) Example of 1 cycle of parametric temperature curve for 1000 simulations



Obr. 5 (A) Konvergence směrodatné odchylky pro 100 cyklů; (B) Konvergence směrodatné odchylky pro 10 cyklů

Fig. 5 (A) Convergence of standard deviation for 100 cycles; (B) Convergence of standard deviation for 10 cycles

## ZÁVĚR

Z Obr. 4 je patrné, jak velký vliv má náhodnost v modelu parametrické křivky, rozsah maximálních teplot je 580 °C. Pro každou simulaci je tedy jiná maximální teplota a jiný průběh teplot. Pravděpodobnost překročení teploty 600 °C je pro každý cyklus jiná. Směrodatnou odchylku těchto hodnot ovlivňuje počet simulací a počet cyklů. V Obr. 5(A) je vidět, že při 10 simulacích a 100 cyklech je směrodatná odchylka od 14,72 % do 17,63 %. Pro 1000 simulací a 100 cyklech je směrodatná odchylka od 0,49 % do 0,52 %. Stejný trend je vidět i na Obr. 5(B) kde pro 10 simulací a 10 cyklů je směrodatná odchylka od 11,55 % do 18,89 %. Pro 1000 simulací a 10 cyklů je směrodatná odchylka od 0,29 % do 0,57 %.

Z grafů na Obr. 5 je vidět, že směrodatná odchylka tedy konverguje k 0 s přibývajícím počtem simulací, ale počet cyklů ovlivňuje rozptyl těchto směrodatných odchylek. I když není stanovena metodika, jak k takovému množství dat přistupovat a vyhodnocovat, je patrné, že musí být provedeno mnoho simulací, abychom dostali reprezentativní hodnoty.

## LITERATURA

- [1] JANSSENS M.L. *Introduction to Mathematical Fire Modeling*. CRC Press, 2000. ISBN: 9781482279009, dostupné z: <https://books.google.es/books?id=8dgcCAAAQBAJ>
- [2] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 2008 SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 4th Edition, ISBN: 978-1-4939-2565-0
- [3] MIKLÓS, J., *Způsoby ověřování metamatických modelů požárů*. Ostrava VŠB – Technická univerzita ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, [online] 2008 . dostupné z: <https://theses.cz/id/ue7jco/>
- [4] WALD, F., et. al. *Modelování dynamiky požáru v budovách*. Praha: ČVUT v Praze, 2017. ISBN 978-80-01-05633-2.
- [5] ČSN EN 1991-1-2: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-2: Obecná zatížení - Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru. Praha: Český normalizační institut, 2004, 56 s. Třídící znak 73 0035
- [6] BOUŠOVÁ, J., *Variabilita a náhodnost vstupních parametrů požárních modelů a jejich vliv na průběh požáru a požární odolnost konstrukcí* Praha: ČVUT, 2021, dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/93023>



**POKROČILÉ STAVEBNÍ MATERIÁLY V POŽÁRNÍ OCHRANĚ****ADVANCED BUILDING MATERIALS IN FIRE PROTECTION****Ing. Eva Prokopová, MBA****Abstract**

*Fire resistance of steel members increase by thermal insulation using a layer of porous materials and binder from cement-based materials. One of them is low in the production of energy hybrid cements. Their material thermal properties, thermal conductivity, specific heat and density, has significantly nonlinear temperature. Hybrid cement is not just a material with promising characteristics and resistance to high temperatures during fire but has become one of the most viable options in the reduction of CO<sub>2</sub> emissions to the environment that are generated by the cement industry. This article presents the preparation of a simple fire experiment with a lab gas burner aimed at analysis of thermal conductivity of lightweight hybrid cement with expanded perlite. The long-term target of the study is to design and verify a technical solution for the industrial use of hybrid cement as a fire-protective material in the form of a binder suitable for spraying, which would be industrially usable and eligible for legal protection as a new product.*

**Key words:** fire protection; fire resistance; hybrid cement; H-cement; expanded perlite.

**ÚVOD**

Pasivní požární ochrana konstrukce zajišťuje tepelnou ochranu po požadovanou dobu požární odolnosti při zachování požadavků na celistvost. Požární odolnost ocelových konstrukcí je založena na jejich konstrukční celistvosti při mimořádných situacích. Nevýhodou oceli je její dobrá tepelná vodivost. Materiálové vlastnosti oceli se při teplotě nad 400 °C, tj. již při teplotě dosahované při požáru v uzavřených prostorech (až 1200 °C), redukuje obdobně jako u ostatních stavebních materiálů, např. betonu. Požárně nechráněné ocelové prvky konstrukce dosahují vlivem velké tepelné vodivosti oceli a malé hmotnosti prvků požární odolnosti kolem R15. Pro zvýšení požární odolnosti lze nosnou ocelovou konstrukci proti požáru zastínit nebo tepelně izolovat požárně ochranným materiálem, nejčastěji obetonováním, nástřikem materiálu na bázi cementu, obkladem nebo zpěnitelnými nátěry [1].

Výběr a aplikace hmot vhodných k ochraně ocelových konstrukcí je ovlivňována fyzikálně-chemickými vlastnostmi [2] (tepelně izolační schopnost, hořlavost, objemová stálost, objemová hmotnost, korozivní účinky, přilnavost povrchu a životnost), technologií prováděné ochrany, ekonomickými hledisky (velikost průřezové plochy a celková hospodárnost) a některými dalšími kritérii podle povahy objektu, jako jsou povrchová úprava a hygienická hlediska.

Příspěvek se věnuje problematice požárních nástřiků. Ačkoliv se jedná o zavedený a také jeden z prvních ochranných systémů v pasivní požární ochraně, trendem posledních let je snaha investovat do vývoje pokročilých stavebních materiálů na bázi cementových hmot v požární ochraně. Přes nižší estetickou hodnotu požárních nástřiků, jejich výhoda oproti požárním nátěrům zůstává v jejich trvanlivosti bez nutnosti opakované obnovy za životnosti chráněné konstrukce. Další výhodou požárních nástřiků je nižší stavební pracnost spočívající v rychlosti aplikace a potřebě pouze jedné vrstvy nástřiku.

**VÝROBA CEMENTU OPTIKOU EMISE SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ**

Cementářský průmysl je jedním z energeticky nejnáročnějších průmyslových odvětví. Výrobní náklady cementu tvoří z větší části náklady na energii, a proto se z ekonomických důvodů vždy usiluje o snížení nákladů na palivo a elektřinu. Ekonomické hledisko je navíc od 90. let 20. století

doprovázeno i požadavky na ochranu životního prostředí, např. na snižování emisí tuhých a plyných látek a zejména na snižování emisí skleníkových plynů. Pokud jde o optimalizaci výrobních procesů v oblasti výpalu slínku a mletí cementu, je potenciál snižování emisí CO<sub>2</sub> prakticky vyčerpán [3]. Průmyslové odvětví výroby cementu v Evropě využívá značnou část paliv z odpadů, čímž se v některých výrobních závodech nahrazují fosilní paliva až na úroveň vyšší než 80 %. To umožňuje, aby odvětví výroby cementu dále přispívalo ke snižování emisí skleníkových plynů a k nižší spotřebě přírodních zdrojů.

Smyslem evropské regulace a vzniku trhu s emisními povolenkami, obchodovatelný artikl se skleníkovými plyny, je motivovat emitenty k vypouštění menšího objemu emisí, neboť za každou vypuštěnou tunu CO<sub>2</sub> nad stanovený limit musí emitent platit, a naopak podlimitní tunu může prodat, což působí jako velmi účinná ekonomická motivace ke snižování znečištění [4]. Regulace postupně zvyšuje tlak na cementárny vyrábět více směsné cementy, které mají nižší obsah slínku, od kterého je primárně odvozován emisní limit na určité období [5]. Změna portfolia vyráběných cementů ve prospěch portlandských směsných, vysokopecních a směsných cementů se postupně stává jedinou cestou ke splnění stále přísnějších emisních limitů a rychlejší snížení podílu výroby, a samozřejmě prodeje – v tomto smyslu cementárny musí šířit osvětu, postupně připravovat zákazníky na tento krok a zejména investovat do vývoje nových produktů – portlandského cementu představuje konkurenční výhodu. Většina materiálů na bázi cementu se nechová dobře při vystavení vysokým teplotám, a to zejména v důsledku tvorby trhlin v ochranné vrstvě. Výsledky výzkumu alternativních možností využití cementů se sníženou čistotou při jejichž výrobě se používá mineralizátorů ukazují, že řešením by mohlo být použití alkalicky aktivovaného hybridního cementu, který má lepší vlastnosti při vyšších teplotách než konvenční druhy cementu [6]. Hybridní cement je alkalicky aktivovaný materiál, jedná se o směs běžného portlandského cementu a popílku nebo strusky anebo obojího a alkalického aktivátoru.

## POŽÁRNÍ NÁSTRÍK NA BÁZI H-CEMENTU

Směsi H-cementu využívají metalurgickou strusku spolu s alkalicky aktivovaným anorganickým geopolymérem s vysráženou bází odpadní vody při výrobě bauxitu. Podíl portlandského cementu v H-cementu je 20 %. Produkce H-cementu snižuje emise CO<sub>2</sub> o 80 % ve srovnání s výrobou běžného portlandského cementu [7]. Předběžné výsledky [8] prokázaly dobré vlastnosti H-cementu při zvýšených teplotách a nepraskání povrchu při následném chladnutí ve srovnání s běžně používanými portlandskými cementy. Dlouhodobým cílem výzkumu je navrhnout a ověřit konkrétní technické řešení průmyslového využití H-cementu jako pojiva do požárních nástřiků, které by bylo průmyslově využitelné a způsobilo právní ochrany nového výrobku.

## PŘÍPRAVA EXPERIMENTU

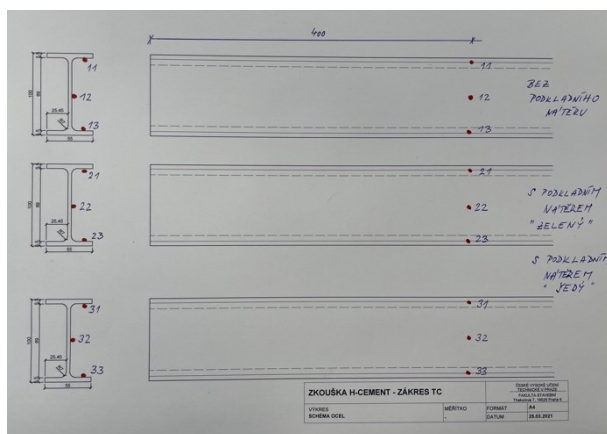
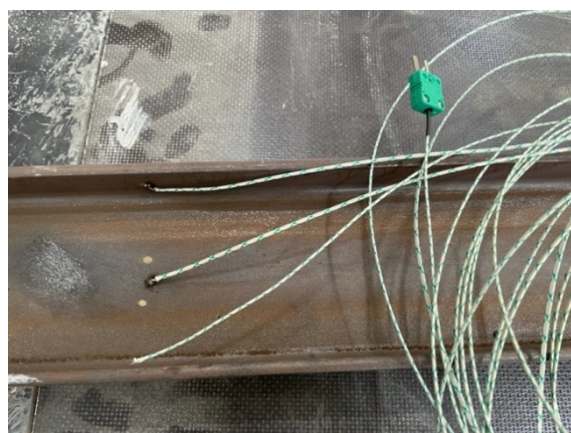
Pro ověření požární odolnosti navrženého požárního nástřiku v malorozměrové peci jsou navrženy zkušební vzorky. Práce navazuje na dlouholetou práci kolektivu Wald, např. [9]. Pro experiment je připravena H-cementová malta s expandovaným perlitem. Cílem experimentu je určení tepelné vodivosti navržené směsi za předpokladu konstantních hodnot dalších tepelných vlastností materiálu. Složení receptury lehké H-cementové malty je uvedeno v tab. 1, která popisuje složení H-cementové malty s expandovaným perlitem [10]. U expandovaného perlitu je třeba uvažovat s jeho křehkostí. Při dlouhém a nešetrném míchání směsi dochází k nežádoucímu rozdrčení zrn perlitu na menší částičky čímž dochází ke zvýšení objemové hustoty, která vede ke zhoršení tepelně technických vlastností a k větší spotřebě materiálu. Při přípravě a samotné aplikaci požárního nástřiku se proto věnuje náležitá péče nežádoucím tlakům ve směsi expandovaného perlitu.

Tab. 1 Složení H-cementové malty s expandovaným perlitem

Tab. 1 Composition of H-cement mortar with expanded perlite

H-cement	72,1	g
Expandovaný perlit (frakce do 2 mm)	9,17	g
Plastifikátor "Stachement 508"	1,11	g
Voda	55,6	g

Požární nástřík bude aplikován na tři IPE100 ocelové profily o délce 1 200 mm. Na každý profil je navrženo ve vzdálenosti 400 mm od obou konců šest termočlánků, přičemž dva z nich jsou umístěny výškově uprostřed stojiny a dalších šest ve středu horní a dolní pásnice. Dva profily budou před aplikací natřeny podkladovým nátěrem a jeden nebude podkladním nátěrem chráněn. Jako podkladní nátěr byly zvoleny dva nátěry o různém chemickém složení a fyzikálních vlastnostech. Umístění termočlánků je zakresleno na obr. 1, který prezentuje polovinu každého profilu, tj. zakreslena je pozice tří termočlánků. Nátěry jsou na ocelových zkušebních vzorcích zobrazeny na obr. 2 a detail použitých termočlánků je zobrazen na obr. 3. Pro aplikaci požárního nástříku bude využito kontinuální míchací čerpadlo s vysokým výkonem, které je zobrazené na obr. 4. Toto čerpadlo je vhodné pro produkty s okamžitým zamícháním a aplikací, a jeho výhodou je minimální tlakové zatížení na aplikovatelnou směs. Nízké tlakové zatížení by mělo maximálně omezit nežádoucí rozdrčení zrn perlitu na menší částičky.

Obr. 1 Umístění termočlánků  
Fig. 1 Thermocouple placementObr. 2 Podkladní nátěry zkušebních vzorků  
Fig. 2 Undercoats of test specimenObr. 3 Detail termočlánků  
Fig. 3 Detail of thermocouplesObr. 4 Kontinuální míchací čerpadlo  
Fig. 4 Continuous mixing pump

**ZÁVĚR**

H-cement je materiál s dobrými mechanickými vlastnostmi a odolností vysoký teplotám při vystavení požáru. Cílem práce je ověřit tepelné vlastnosti navržené receptury H-cementu s expandovaným perlitem v průmyslovém měřítku v malorozměrové peci na UCEEB ČVUT v Buštěhradě při požárním zatížení nominální normovou křivkou. Experiment potvrdí, že simulace v procesu projektování požární ochrany mohou nahradit experiment za předpokladu, že jsou známy tepelné vlastnosti materiálu a jeho chování v dostatečném teplotním rozsahu. Navržené složení receptury a její aplikace na vzorky bude detailně analyzována. Ověří se tím vhodné technologie pro aplikaci požárního nástřiku na ocelové prvky.

**PODĚKOVÁNÍ**

Práce byla připravena s podporou projektu Považská cementáreň, a.s. 99KHI/2019.

**LITERATURA**

- [1] WALD F. a kol. *Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí*: Nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN: 80-01-03157-8.
- [2] DOLEŽALOVÁ, E. *Požární nástřiky, Diplomová práce*, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. 2013.
- [3] GEMRICH, J., ROLLOVÁ, S. *Portlandské směsné cementy – cesta k udržitelnému rozvoji – BETON TKS 1/2021*. Dostupné z <https://www.betonks.cz/sites/default/files/2021-1-04st.pdf>.
- [4] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/87/ES [online]*, 2003. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:32003L0087&from=EN>.
- [5] GIBBS, J., SOYKA, P., CONNEELY, D., *CO<sub>2</sub> Emissions from cement production [online]*. Dostupné z: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/3\\_1\\_Cement\\_Production.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/3_1_Cement_Production.pdf).
- [6] SÁNCHEZ-HERRERO, M. J., FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A., PALOMO, A., *Studies About the Hydration of Hybrid “Alkaline-Belite” Cement. Frontiers in Materials [online]*. 2019, 6, 66. ISSN 2296-8016. Dostupné z: doi:10.3389/fmats.2019.00066.
- [7] MARTAUZ, P., JANOTKA, I., STRIGÁČ, J., BAČUVČÍK, M., 2016. *Fundamental properties of industrial hybrid cement: utilization in ready-mixed concretes and shrinkage-reducing applications*. *Materiales de Construcción*. 2016 (66322).
- [8] DAXNER, J., *Use of hybrid cement in fire-resistant plasters*. 88 KHI/2016, 2016.
- [9] ŠEJNA, J. *Požární ochrana požárním nástřikem na bázi H-cementu*, Diplomová práce, 2020, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.
- [10] ŠULC, S., ŠMILAUER, V., ŠEJNA, J., WALD, F., 2021. *Fire protection of steel elements using lightweight hybrid cement mortar*. *Acta Polytechnica CTU Proceedings*. 2021(2).

## CITLIVOSTNÍ ANALÝZA PŘESTUPU TEPLA V DŘEVĚNÉM SPOJI S VLOŽENOU OCELOVOU DESKOU POMOCÍ POKROČILÉHO MODELOVÁNÍ

### SENSITIVITY ANALYSIS OF HEAT TRANSFER IN STEEL TO TIMBER JOINT USING ADVANCED MODELLING

**Bc. Mykyta Radchuk**

*The work is focused on the analysis of heat transfer in a timber joint with an inserted steel plate exposed to fire. Using advanced numerical modelling an influence of chosen characteristics of the joint on the heat transfer is studied. Numerical model used in this work is based on the model from literature. The model performed using ANSYS Workbench software is validated on experiments and verified on analytical model taken also from the literature. For the purposes of the sensitivity analyses submodels are created in accordance with ČSN EN 1995-1-1, ČSN EN 1995-1-2 and ČSN EN 1993-1-2. The results of the sensitivity analyses are compared with the results of the original model and also with the experimentally determined results, which are also taken from the literature. All submodels are exposed to standard temperature curve corresponding to ČSN EN 1991-1-2 for 60 minutes.*

**Key words:** Steel to timber joint; Vaporising; Joint with bolts; Standard fire; Numerical model; Fire resistance; Ansys Workbench; Heat transfer.

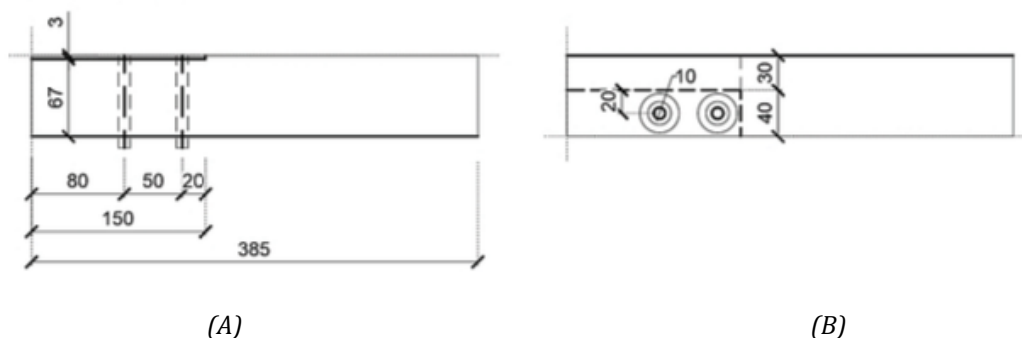
#### ÚVOD

Dřevo je ekologický, recyklovatelný a obnovitelný stavební materiál, který se v současnosti hojně využívá ve stavebních konstrukcích jako nosný nebo dekorační prvek. Tento materiál je v poslední době využíván i jako požární ochrana. Významný podíl novostaveb, zejména rodinné domy, jsou realizovány ze dřeva a materiálů na jeho bázi. Tuto tendenci lze vysvětlit dostupností, nízkou energetickou náročností a jednoduchou zpracovatelností v porovnání s jinými stavebními materiály. Avšak dřevo má řadu nevýhod. Jedna z nich je jeho hořlavost, která přináší určité obavy při výběru stavební hmoty konstrukce.

Nicméně hořlavost, která je ovlivněna více faktory např. vlhkostí, nemusí být vždy považována za negativní vlastnost. Během hoření dochází uvnitř dřevěných prvků k transportu vypařené vody, která může ovlivňovat vlastnosti dřeva. Nejslabším prvkem v dřevěných konstrukcích je za normálních podmínek i během požáru spoj. V současnosti nejčastějším typem spoje je spoj dřevěných prvků pomocí ocelové desky. V případě tohoto spoje dochází k transportu vodní páry při požáru ve dvou směrech. Většina vodní páry uniká do exteriéru a část se zdržuje v těsné blízkosti ocelového prvku. Tato vrstva vodní páry plní od určitého okamžiku funkci parozábrany. Akumulovaná voda v těsné blízkosti plechu vytvoří vlhkou vrstvu, která udržuje poměrně nízkou teplotu po delší dobu, než je tomu v ostatních částech průřezu spoje.

#### NUMERICKÝ MODEL

Geometrie spoje je v modelu tvořena několika částmi, které jsou zobrazeny na obr. 1. Samostatnou část tvoří ocelový plech. Další komponenty tvoří dva svorníky skládající se ze závitové tyče a konstrukční podložky. Svorník je držen maticí, která je v modelu zjednodušena na válec. Z důvodu eliminace duplicity teplotního zatížení je dřevěný prvek rozdělen na část pod svorníkovou hlavou a část vystavenou teplotnímu zatížení. U plechu se jedná o 3 mm vrstvu dřeva sloužící pro lokální úpravu materiálových vlastností dřeva za účelem započítání vlivu akumulovaných vodních par díky parozábraně tvořenou plechem. Tato vrstva je vidět na obr. 2. Nad vloženou ocelovou deskou je modelována vzduchová mezera s defaultním nastavením vlastností programu pro vzduch.



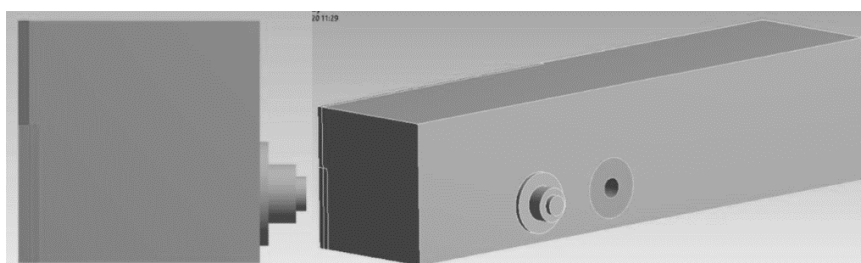
(A)

(B)

Obr. 1 Geometrie modelu: (A) Půdorys; (B) Pohled

Fig. 1 Geometry of the model: (A) Plan; (B) View

V modelu je použita tetrahedrální výpočetní síť. Velikost sítě je pro každý objekt nastavena s optimalizací výpočetního času bez ovlivnění výsledných hodnot.



Obr. 2 Bokorys a pohled na numerický model

Fig. 2 Side view and view on numerical model

Submodely vytvořené za účelem studia vlivu vybraných vlastností spoje na přestup tepla ve spoji jsou sestaveny na základě modelu převzatého z [1]. Z modelu jsou konkrétně převzaty materiálové vlastnosti, velikost prvku výpočetní sítě, poloha kontrolních bodů a teplotní zatížení. Změna geometrie v jednotlivých submodelech a změna verze použitého softwaru způsobila nepatrné odlišnosti v poloze výpočetní sítě modelů, a proto se poloha bodů může od původního modelu mírně lišit. Geometrie submodelů je téměř shodná, liší se pouze zkoumaný objekt u jednotlivých analýz.

## CITLIVOSTNÍ ANALÝZA

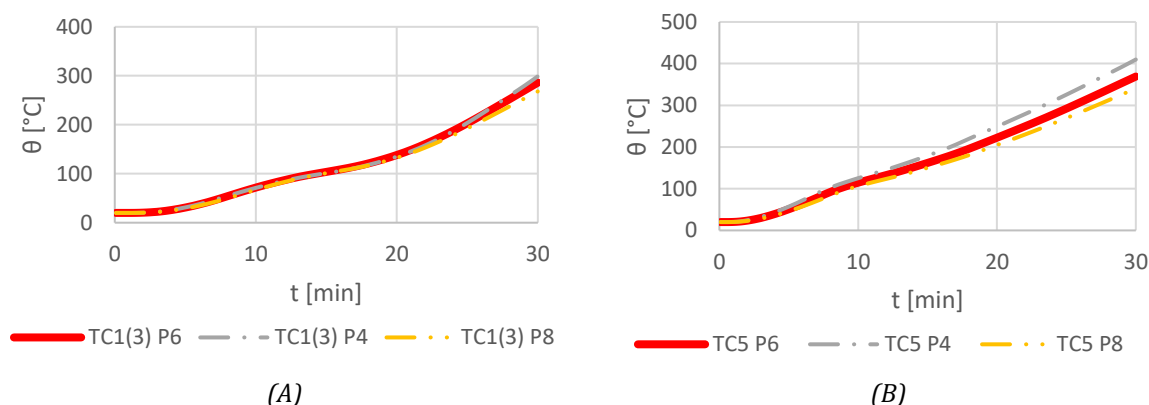
Při použití zkoumaného modelu byla vytvořena řada submodelů, které jsou zaměřené na studii vlivu jednotlivých vlastností na přestup tepla ve spoji s následnou optimalizací dřevěného spoje s vloženou ocelovou deskou za účelem zvýšení jeho požární odolnosti. Analyzované vlastnosti zahrnují změny velikosti a tvaru dřevěného trámu, průměru svorníků, tloušťky ocelové desky, materiálových vlastností dřeva a velikosti spáry mezi trámy. Dále byla provedena studie velikosti modifikované vrstvy dřeva u plechu. Zavedením této vrstvy, ve které dochází ke kumulaci vodních par, lze simulovat nižší teplotu ve vrstvě dřeva u plechu a tím lépe předpovědět chování řešeného spoje ve většině jeho bodech. Tato analýza však nezohledňuje geometrickou a časovou nestálost zkoumané vrstvy.

Analýza založená na změně tloušťky modifikované vrstvy uvádí změnu nárůstu teploty v kontrolních bodech (v Tab. 1 body TC1 – TC9). Jako kritérium správné předpovědi teploty bylo stanoveno rozmezí teplot z experimentů převzaté z [1]. Z výsledků uvedených v Tab. 1 je patrné, že model s tloušťkou modifikované vrstvy 3 mm, úspěšně kopíruje chování dřevo-ocelového spoje ve většině kontrolních bodech.

Tab. 1 Analýza tloušťky modifikované vrstvy  
 Tab. 1 Analysis of modified layer thickness

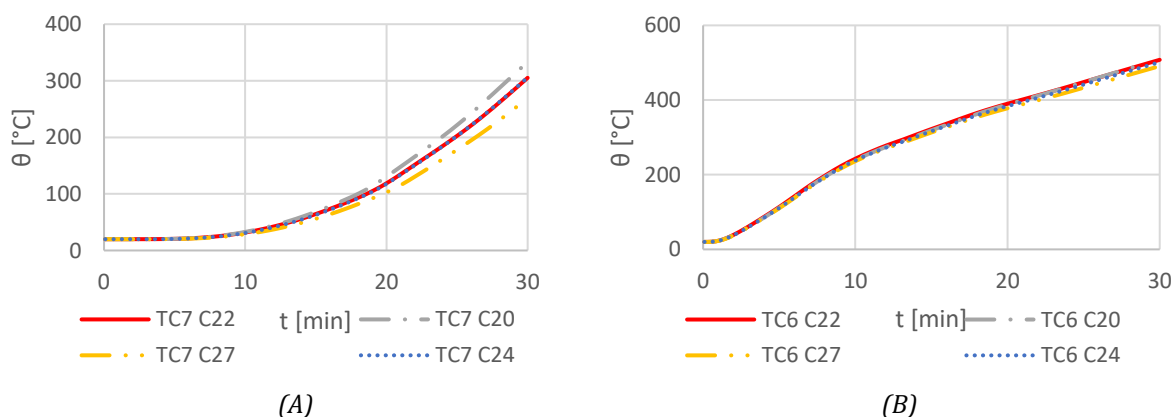
Tloušťka mod. vrstvy	Číslo bodu									Počet vhodných bodů
	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8	TC9	
2 mm	X			X					X	3
3 mm	X		X	X	X		X	X	X	7
4 mm				X	X			X	X	4
5 mm				X				X	X	3

Z výsledků citlivostní analýzy založené na změně tloušťky ocelové desky vychází, že teploty v plechu (obr. 3A) a svornících (obr. 3B) jsou vyšší při použití tenčí ocelové desky a nižší u desek s větší tloušťkou. Nicméně teplota v plechu se téměř neliší při použití plechu P4 a P6. Rozdíl je patrně vidět u plechu P8. Teplota ve dřevěném trámu je prakticky shodná.



Obr. 3 Nárůst teploty: (A) na plechu TC1(3); na svorníku (B) TC 5  
 Fig. 3 Temperature increase: (A) on steel plate TC1(3); (B) on bolt TC 5

Z výsledků citlivostní analýzy založené na změně pevnosti dřeva vychází, že při zvětšení pevnosti dřeva se spoj zahřívá pomaleji. Nicméně rozdíl teplot u plechu a svorníků je zanedbatelný (obr. 4B). Největší rozdíl teplot je vidět uvnitř trámu (obr. 4A). Z provedené analýzy lze posoudit, že zvětšení pevnosti dřeva téměř neovlivňuje pevnost konstrukcí v oblasti spoje, ale může přispět ke zvýšení požární odolnosti mimo řešenou oblast nebo ve spoji s použitím pouze dřevěných prvků.

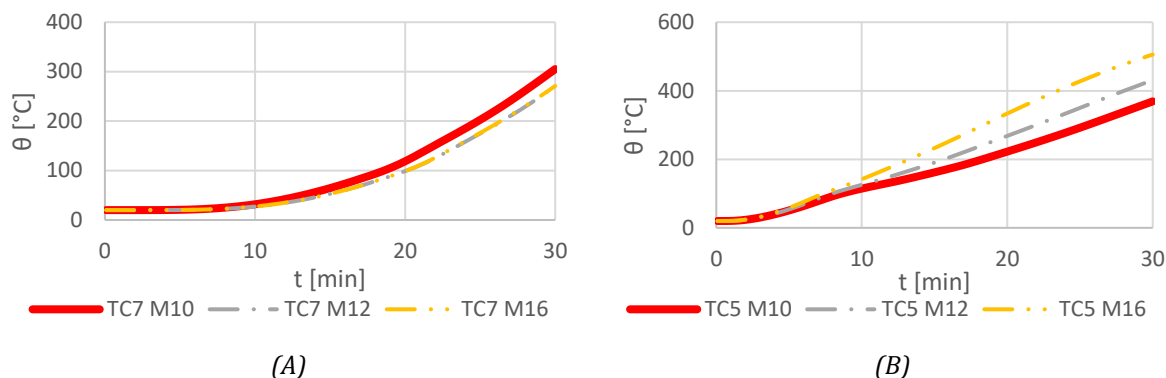


Obr. 4 Nárůst teploty: (A) ve dřevě TC7; (B) na svorníku TC 6  
 Fig. 4 Temperature increase: (A) in timber beam TC7; (B) on bolt TC 6

Z výsledků citlivostní analýzy založené na změně velikosti svorníků vychází, že při zvětšení velikosti svorníku se nárůst teploty intenzivně zvětšuje ve svorníku a plechu (obr. 5B). Tento jev lze

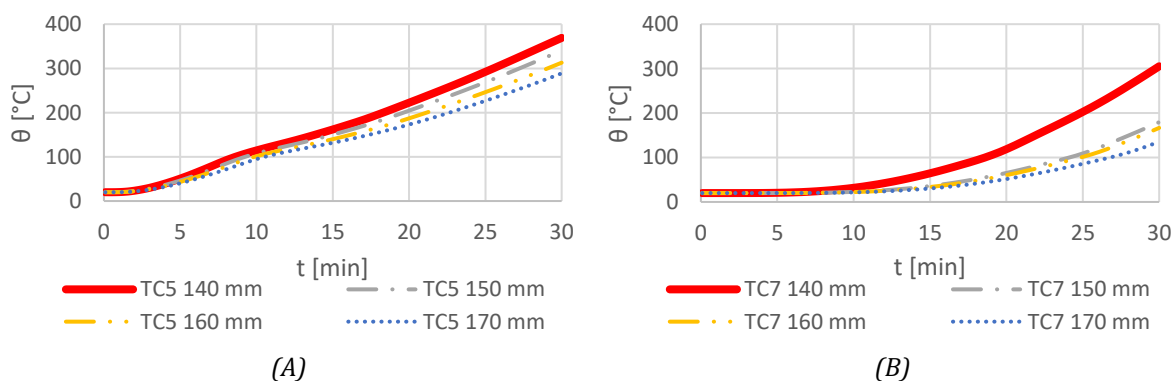


vysvětlit vrůstající ohřivanou plochou svorníků s jejich velikostí a vysokou tepelnou vodivostí oceli. Teplota v dřevěném trámu je prakticky stejná u svorníku M12 a M16, ale teplota v této oblasti u M10 je vyšší (obr. 5A). Tento rozdíl může být způsoben ručním zadáváním bodů a rozdílnými verzemi softwaru Ansys. Nicméně lze posoudit, že změna velikosti svorníků nemá skoro žádný vliv na teplotu uvnitř trámu.



Obr. 5 Nárůst teploty: (A) ve dřevě TC7; (B) na svorníku TC5  
Fig. 5 Temperature increase: (A) in timber beam TC7; (B) on bolt TC5

Z výsledků citlivostní analýzy založené na změně šířky dřevěného trámu je vidět, že zvětšení šířky výrazně snižuje nárůst teploty uvnitř trámu (obr. 6B). Dále také příznivě ovlivňuje teplotu plechu a svorníků (obr. 6A).



Obr. 6 Nárůst teploty: (A) na svorníku TC5; (B) ve dřevě TC7  
Fig. 6 Temperature increase: (A) on bolt TC5; (B) in timber beam TC7

## ZÁVĚR

Z provedených citlivostních analýz lze stanovit doporučení pro navrhování nechráněného dřevěného spoje s vloženou ocelovou deskou, tak aby se zvýšila jeho požární odolnost. Jedná se o konstrukční alternativy jako např. použití většího počtu menších spojovacích prostředků místo menšího počtu větších spojovacích prostředků, použití většího profilu trámu nWež menšího profilu ze dřeva s vyšší pevností a konstrukční zásady, např. minimalizovat pracovní spáry.

## LITERATURA

- [1] ZEMAN, J. Modelování spoje dřevěných konstrukcí s vloženou ocelovou deskou za požáru. 2021. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební



## POŽÁRNÍ NÁVRH TESAŘSKÉHO SPOJE DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE

### FIRE DESIGN OF A CARPENTER'S JOINT OF A WOODEN STRUCTURE

**Bc. Alica Sroková**

#### **Abstract**

*The aim of this paper is determination of the fire resistance of tenon and mortise carpentry's joint in wooden construction. A joint connects purlin with column. A joint of timber members is considered under standard fire curve loading. The main factors include the heat, which is convected to the middle of joint and the effects of the gaps between timber members. The software ANSYS Workbench was chosen for simulation of thermal analysis. The numerical model solves the heat transfer of structures and the possible influence of concluded gaps. Fire resistance is expected for 15 minutes. This paper presents detailed thermal analysis results of a tenon and mortise joint in time.*

**Key words:** wooden construction; carpenter's joint; mortise and tenon joint; fire design; fire safety.

#### **ÚVOD**

Motivací dnešní doby je představa udržitelnosti výstavby a taktéž to, aby stavby měly co nejmenší dopad na životní prostředí. Proto se snažíme používat přírodní materiály jako je například dřevo.

Jedním z typických využití dřeva ve stavbě je krov šikmé střechy. Ve většině případů se z požárního hlediska řeší pouze jednotlivé prvky konstrukce, ale ne jejich spoje. Tyto spoje mohou být slabým článkem ve stavbě, který je důležitý pro stabilitu celého objektu.

Cílem této práce je návrh, model a zjištění podrobnější požární odolnosti v návaznosti na prostup tepla mezerami mezi prvky tesařského čepového spoje v programu ANSYS Workbench [1].

#### **TESAŘSKÉ SPOJE**

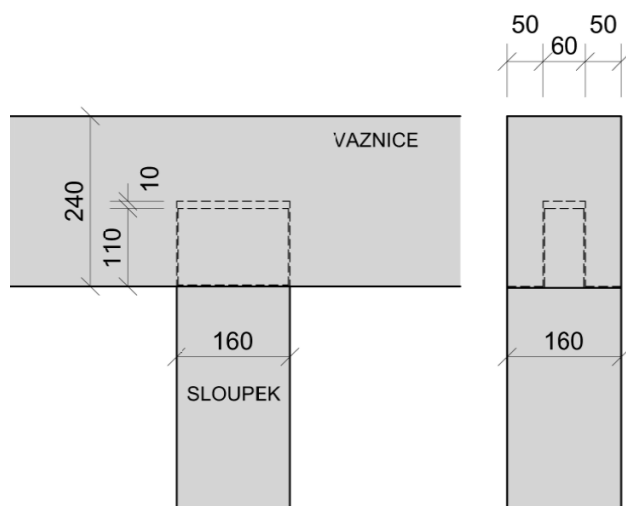
Nejen v krovu se využívá mnoha různých provedení tesařských spojů v závislosti na statickém působení v konstrukci a vzájemném uložení prvků. Jsou to například spoje na sraz, plátování, lípnutí, zapuštění, čepování, přeplátování, kámpování, osedlání a další nebo jejich kombinace a odlišné varianty zkosení a tvarování dřevěných prvků.

Pro tuto práci byl vybrán čepový spoj propojující sloupek s vaznicí v dřevěném krovu valbové střechy. Spoj je modelován s důrazem co největší prostup tepla, to znamená, že jsou uvažovány mezery mezi čepem a dlabem ze všech stran. Mezery jsou vyplněny vzduchem.

#### **VSTUPNÍ ÚDAJE**

Model byl sestaven ze tří částí – sloup s čepem, vaznice s dlabem a mezera. Materiály byly přiřazeny takto: sloup s čepem a vaznice s dlabem – dřevo, mezera – vzduch. Výpočtová síť je uvažována jako trojúhelníková velikosti 0,02 m. Doba výpočtu nastavena na 900 sekund (15 minut). Časový krok je 1 sekunda. Počáteční teplota je 20°C. Požár byl modelován pomocí normové tepelné křivky jako konvekce s koeficientem 25 W/m<sup>2</sup>/°C a radiace.

Rozměry průřezu sloupu jsou 160 mm × 160 mm a rozměry průřezu vaznice jsou 240 mm na výšku a 160 mm na šířku, dimenze dlabu jsou 60 mm × 160 mm a na hloubku 120 mm. Půdorysné rozměry čepu jsou 156 mm × 56 mm, výška čepu je 102 mm, viz obr.1.



Obr. 1 Rozměry prvků  
Fig. 1 Dimensions of elements

Engineering data. Vzduch.

Vlastnosti vzduchu byly zvoleny jako přednastavené z dostupné knihovny, tj.  $\rho_{\text{vzduch}} = 1,225 \text{ kg/m}^3$ ,  $c_{\text{vzduch}} = 1006,4 \text{ J/kg/K}$ ,  $\lambda_{\text{vzduch}} = 0,0242 \text{ W/m/K}$  [1].

Engineering data. Dřevo.

Vlastnosti dřeva byly definovány na základě Eurokódu 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru. Hustota proměnná v závislosti na teplotě, viz tab. 1, tepelná vodivost proměnná v závislosti na teplotě, viz tab. 2, měrná tepelná kapacita proměnná v závislosti na teplotě, viz tab. 3.

Tab. 1 Hustota dřeva [2]

Tab. 1 Wood density [2]

Teplota [°C]	Hustota dřeva [kg/m <sup>3</sup> ]
20	420
99	420
100	420
120	420
121	420
200	420
250	390
300	319
350	218
400	160
600	118
800	109
1200	0

Tab. 2 Tepelná vodivost dřeva [2]

Tab. 2 Wood thermal conductivity [2]

Teplota [°C]	Tepelná vodivost [W/m/K]
20	0,12
200	0,15
350	0,07
500	0,09
800	0,35
1200	1,5

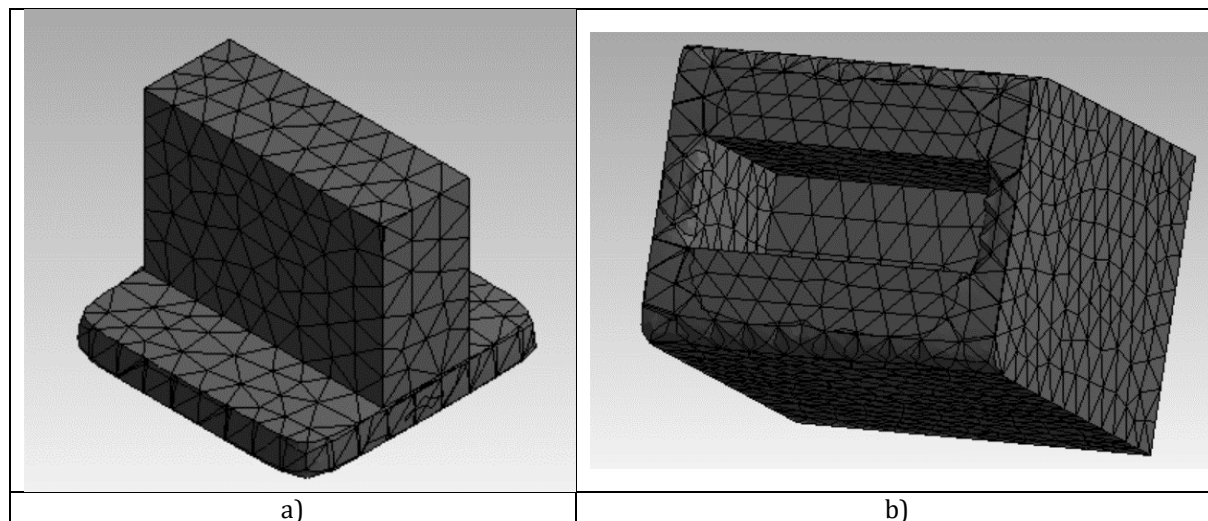
Tab. 3 Měrná tepelná kapacita dřeva [2]

Tab. 3 Wood isotropic thermal conductivity [2]

Teplota [°C]	Měrná tepelná kapacita [J/kg/K]
20	1530
99	1770
100	13600
120	13500
121	2120
200	2000
250	1620
300	710
350	850
400	1000
600	1400
800	1650
1200	1650

## VÝSTUPNÍ ÚDAJE

Při pozorování modelu v čase je zřejmé, že mezery v prvních patnácti minutách požáru nemají na čepový spoj nijak výrazný vliv. Odhořívání dřeva přilehlého k mezeře je pomalé a je více zřetelné u dlabu v linii kratší strany u sloupu, viz obr. 2. Čep zůstal neporušen, jak je vidno z obr. 2 hrany čepu nejsou zkosené, ale naopak zůstaly bez odhoření hran čepu. Největší maximální teplota dosáhla 405 °C, přičemž střed spoje, tj. od požáru nejvzdálenější část spoje, měla i po uplynutí patnácti minut stále počáteční teplotu 20 °C. Vzduchová mezera není natolik velká, aby ovlivňovala prvky do také míry, aby se spoje musely posuzovat při řešení požární odolnosti samostatně.



Obr. 2 Porušení a) čepu, b) dlabu  
Fig. 2 Burnout a) tenon, b) mortise

## ZÁVĚR

Tento článek prezentuje výsledek numerické analýzy čepového tesařského spoje, který byl modelován v programu ANSYS Workbench. Z výsledků je zřejmé, že po patnácti minutách bude spoj stabilní, téměř bez degradace materiálu. V hloubce 50 mm od spodu vaznice má kratší stěna dlabu teplotu přibližně 300 °C a čep 200 °C. Masa dřeva, která tvoří vaznici a sloup, je dostatečně schopna chránit čep i dlab.

## LITERATURA

- [1] *ANSYS Workbench User's Guide*, 2009
- [2] ČSN EN 1995-1-2:2005 *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*

## **ANALÝZA VLIVU OTEVÍRAVÝCH OTVORŮ V SYSTÉMU ZOKT A PŘIROZENÉM ODVĚTRÁNÍ MULTIFUNKČNÍ HALY**

### **ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF OPENING VENTS IN THE SHEVS AND NATURAL VENTILATION MULTIFUNCTIONAL HALLS**

**Bc. Václav Krásnický**

#### **Abstract**

*This article deals with the comparison of heat development in the required section in the case of the effect of natural ventilation by means of self-opening openings in the peripheral structure of the building in comparison with the smoke and heat removal device. This analysis is performed in a zone model in the CFAST program. In the theoretical part we will explain the reasons why we deal with this topic. In the practical part, the solved example will be presented, including the results of the model example and the evaluation of the results, including the final recommendations.*

**Key words:** *fire ventilation; smoke and heat removal equipment; smoke sections; smoke; stable ventilation equipment*

#### **ÚVOD**

Zařízení odvodu tepla kouře je jedním z aktivních požárně bezpečnostních zařízení, se kterým se můžeme v objektech, za účelem zvýšení požární bezpečnosti, setkat. Z hlediska požární bezpečnosti staveb tento systém primárně slouží ke zlepšení podmínek evakuace osob z řešeného objektu či požárního úseku. Dále tento systém lze využít ke snížení teplotního namáhání konstrukcí, snížení přímých i následných škod na zařízení a vybavení objektu a v neposlední řadě ke zlepšení podmínek zásahu jednotek hasičského záchranného sboru.

V rámci poslední úpravy normových požadavků, systémy aktivní požární ochrany zaznamenaly změny na podmínky jejich instalace do staveb. Shromažďovací prostory mohou být nově realizovány i bez instalace zařízení odvodu kouře a tepla, a to za podmínky nahrazení tohoto zařízení dostatečným množstvím samočinně otevíravých odvětrávacích otvorů bez požadavků na jejich polohové umístění. Z výše uvedených důvodů, je obsahem této práce posouzení účinnosti různých způsobů větrání na rozvoj tepla v navrhovaném požárním úseku a jeho účinky na namáhání konstrukcí.

#### **POŽADAVKY NA INSTALACI ZAŘÍZENÍ ODVODU KOUŘE**

Systém zařízení odvodu kouře a tepla je v rámci navrhování staveb podmíněn normovými požadavky. Tyto požadavky byly v rámci poslední změny norem, účinných od února 2020, aktualizovány, a to zásadním způsobem pro shromažďovací prostory posuzované dle ČSN 73 0831 v kombinaci s požadavky normy pro nevýrobní objekty dle ČSN 73 0802.

Před vydáním této změny byla instalace systému zařízení odvodu kouře a tepla požadovány do všech shromažďovacích prostor, kde doba evakuace osob byla kratší než doba zakouření, bez ohledu na podmínku parametru odvětrání tzn. omezení přirozeného odvodu zplodin hoření a kouře.

Nově jsou shromažďovací prostory do velikosti 2 SP, v rámci požadavků na instalaci zařízení odvodu kouře a tepla, navrhovány pouze dle aktualizace znění normy ČSN 73 0802 [2]. Ze změny vyplývá, že není nutné instalovat tento systém aktivního požárně bezpečnostního zařízení do řešeného prostoru i za předpokladu, že doba evakuace osob je delší než doba zakouření, a to v pří-

padě, že není omezen přirozený odvod zplodin hoření, dle rovnice (1) a současně otevření odvodních otvorů je zajištěno buď trvale otevřenými otvory či jejich otevření je zajištěn samočinně systémem EPS nebo jiným stejně citelným zařízením.

$$\frac{S_o\sqrt{h_o}}{S_k} > 0,035 \text{ m}^{1/2} \quad (1)$$

kde  $S_o$  celková plocha otvorů v obvodových stěnách [ $\text{m}^2$ ]  
 $h_o$  výška otvorů v obvodových a střešních konstrukcích [m]  
 $S_k$  povrchová plocha stavebních konstrukcí ohraničující posuzovaný prostor [ $\text{m}^2$ ]

Na základě této úpravy lze předpokládat, že z hlediska evakuace osob jsou systémy svou funkcí zaměnitelné. Jak již bylo uvedeno, systém ZOKT má pozitivní účinky nejen na samotnou evakuaci osob, ale též na snížení tepelného namáhání konstrukcí a na rozvoj tepla v posuzovaném požárním úseku. Z hlediska zaměnitelnosti těchto systémů je v této práci hodnocen vliv rozdílu na rozvoj teploty a případné škod způsobených účinky hoření v řešených prostorech těmito způsoby větrání.

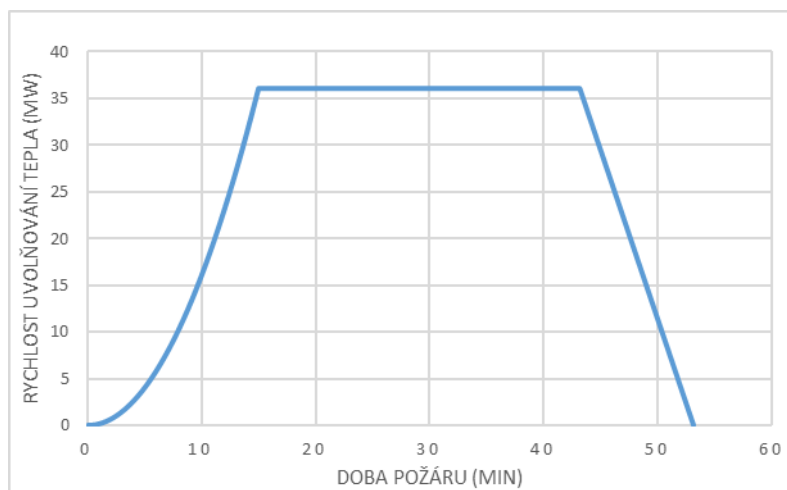
### ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

V této práci se zaměřujeme na velkoprostorovou stavbu halového typu a analýzu rozvoje tepla v tomto požárním úseku při různých způsobech odvětrání dle podmínek norem ČSN 73 0802 a ČSN 73 0831. Pro modelový příklad byla zvolena ocelová hala o půdorysném rozměru 20,0 m × 40,0 m se světlou výškou 7,5 m. Z hlediska účelu užívání je stavba navržena multifunkčně. Prvním způsobem užívání je prezentace výrobků a materiálů externích prodejců a jejich maloobchodní prodej. Druhým způsobem užívání je konání sportovních akcí. Nosná konstrukce stavby je řešena svislými válcovanými nosníky. Vodorovná konstrukce střechy je řešena jako ocelové příhradové vazníky. Na příhradové vazníky kolmo navazuje válcovaný I profil, který tvoří též nosnou konstrukci střešního pláště a ztužení objektu v podélném směru. Obvodový a střešní plášť je tvořen systémovými panely od výrobce KINGSPAN.

Na základě možností aplikace způsobů odvětrání řešeného prostoru, tak aby výsledky byly vypočítatelné, musí navržený požární úsek splňovat parametry v souladu s normovými požadavky pro možnost a současně nutnost aplikace zařízení odvodu tepla a kouře nebo nahrazení tohoto aktivního požárně bezpečnostního zařízení systémem samočinně otevíratelných otvorů tak, aby nebyl omezen odvod zplodin hoření. Na základě vhodně zvoleného účelu provozu, počtu evakuačních východů a dispozičního řešení posuzovaného požárního úseku jsou podmínky pro aplikaci obou způsobů větrání splněny.

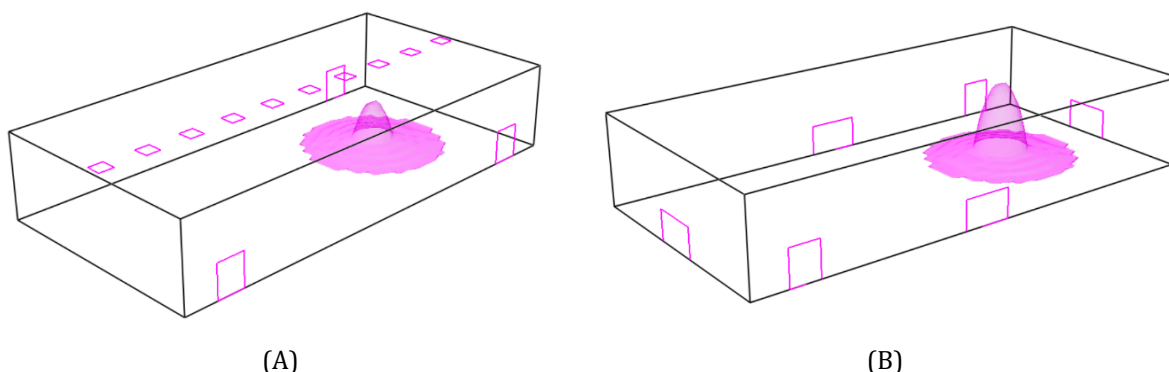
První způsob odvětrání tzn. systém zařízení odvodu tepla a kouře je navržen dle [3] Přílohy H. Výpočtem je stanovena plocha odvodních a přívodních klapek systému. Celkem je v řešeném úseku navrženo 10 ks střešních odvodních klapek fumilux® 4000 EAZ o rozměru 1,2 m × 1,8 m od společnosti Gradus. Jako přívodní otvory slouží 3 ks dvoukřídlých dveřních otvorů o rozměru 3,0 m × 2,5 m. Druhým způsobem větrání je systém samočinně otevíravých otvorů tak, aby byla splněna podmínka  $(S_o\sqrt{h_o}) / S_k > 0,035 \text{ m}^{1/2}$ . Jako samočinně otevíravé otvory jsou navrženy 2 ks dveřních otvorů o velikosti 3,0 m × 2,5 m a 4 ks vrat o rozměru 4,0 m × 2,5 m.

Pro potřeby modelu byl zvolen požární scénář, kde je uvažováno s požárem celkem 9 výstavních stánků na celkové ploše 144,0  $\text{m}^2$ . Vzhledem k zjednodušení modelu bylo při stanovení průběhu požáru postupováno dle ČSN EN 1991-1-2, viz obr. 1.



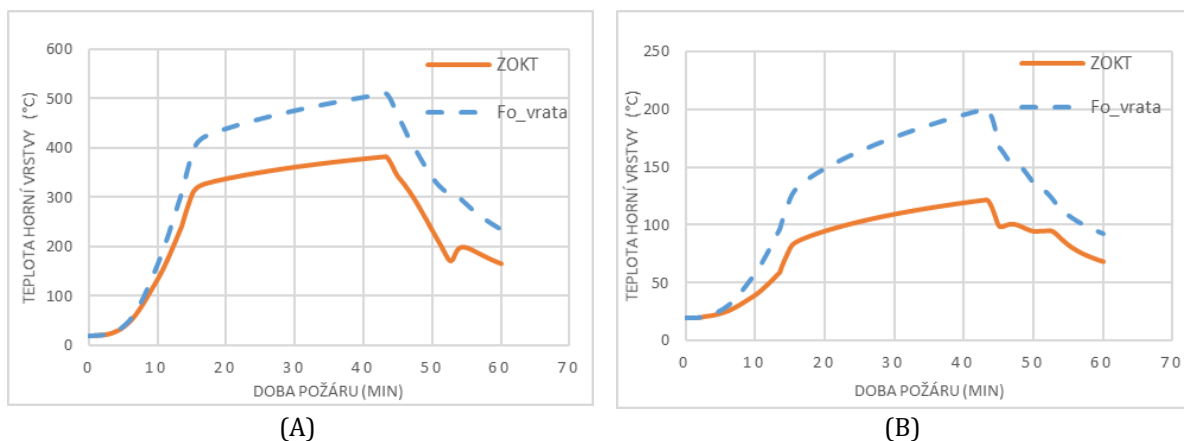
Obr. 1 Křivka HRR modelu požáru  
Fig. 1 HRR fire model curve

Modelování řešeného příkladu z důvodu prvotního zjednodušení a ověření teorie rozdílného rozvoje teploty v prostoru s různými způsoby větrání bylo provedeno v dvouzónovém matematickém modelu CFAST [4]. Na obr. 2 můžeme pozorovat, že pokud změním způsob odvětrání, je průběh sledované kritické teploty ocelových konstrukcí bez dalšího průkazu o hodnotě 500 °C dle [5], velmi rozdílná.



Obr. 2 (A) Izoplocha 500 °C pro odvětrání systémem ZOKT; (B) Izoplocha 500 °C pro systém přirozeného odvětrání pomocí samočinně otevíravých otvorů  
Fig. 2 (A) Isosurface 500 °C for a ventilation system SHEVS; (B) Isosurface 500 °C for a natural ventilation system automatically openable by means of vents

Na základě těchto simulací, byla stanovena teplota horní a spodní vrstvy, viz obr. 3. Z výsledků modelu je patrné, že v případě užití systému zařízení odvodu tepla a kouře dochází v posuzovaném požárním úseku ke snížení teploty přibližně o 25 %, a tím i ke snížení teplotního namáhání konstrukcí oproti systému přirozeného větrání pomocí samočinně otevíravých otvorů.



Obr. 3 (A) Teplota horní vrstvy zónového modelu; (B) Teplota spodní vrstvy zónového modelu  
 Fig. 3 (A) Temperature of the upper layer of the zone model; (B) Temperature of the bottom layer of the zone model

## ZÁVĚR

Na základě výsledků modelového příkladu lze konstatovat, že systém zařízení odvodu kouře a tepla z hlediska rozvoje teploty a namáhání konstrukcí v posuzovaném úseku nelze účinně nahradit přirozeným odvětráním samočinně otevíravými otvory. V případě, že se v rámci projektování staveb rozhodujeme nad instalací aktivní požární ochrany či nahrazení tohoto systému pomocí jiného způsobu zabezpečení, je nutné vždy zohlednit případné účinky nejen na evakuaci osob, ale také na rozsah škod na objektu a škod na majetku umístěného v řešeném prostoru. Dalším z hledisek, nad kterými bychom se v rámci návrhu stavby měl zamýšlet jsou investiční náklady na realizaci stavby. Finanční úspora, která vznikne nahrazením aktivní požární ochrany, systém odvětrání samočinně otevíravými otvory, může být pouze zdánlivá, neboť sebou přináší náklady nejen na zajištění samočinného otevření otvorů, ale též náklady na pasivní ochranu stavby, která v těchto případech může i násobně převyšovat náklady spojení s instalací ZOKT.

## LITERATURA

- [1] ČSN 73 0831. Požární bezpečnost staveb – Shromažďovací prostory. Praha: UNMZ, 2011. + Z1, 2013
- [2] ČSN 73 0831 ed. 2. Požární bezpečnost staveb – Shromažďovací prostory. Praha: UNMZ, 2020.
- [3] ČSN 73 0802 ed. 2. Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty. Praha : UNMZ, 2020.
- [4] PEACOCK, R. , RENEKE, P. and FORNEY, G., 2015. CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 7) Volume 2: User's Guide. National Institute of Standards and Technology. [online]. <https://doi.org/10.6028/NIST.TN.1889v2>.
- [5] ČSN 73 0810. Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení. Praha : UNMZ, 2016. + Opr.1, 2020.







## DETEKCE POŽÁRU V DŘEVĚNÝCH HISTORICKÝCH OBJEKTECH

### FIRE DETECTION IN WOODEN HISTORICAL STRUCTURES

**Bc. Martin Kovář**

#### **Abstract**

*This article focuses on fire detection in wooden historical structures and its modelling in software. The introduction briefly summarizes why is fire detection in these types of buildings crucial. The second part describes how do we detect fire in these objects and how do we design the whole system of electrical fire alarm system. The practical part focuses on the fire modelling and its detection in Fire Dynamics Software, concretely in the historical belfry in Železný Brod, which burned down in 2007. The comparison of times of detection is supposed to determine, that electrical fire alarm system in this belfry could prevent losses, that had happened in real life.*

**Key words:** *historical buildings; smoke detectors; electrical fire alarm system; belfry; Fire Dynamics Simulator.*

#### **ÚVOD**

Problematika požárů v historických budovách je v dnešní době aktuální téma. Od roku 2000 do roku 2018 bylo zaznamenáno 267 požárů historických objektů [1]. Tato čísla jsou částečně způsobená i tím, že v současné době chybí legislativní norma, která by se podrobně zabírala touto věcí. Největší škody při požáru pak vznikají právě na budovách, které jsou celodřevěné konstrukce. U některých typů těchto budov, jako například turistické chaty uprostřed hor, může být velice obtížné dopravit hasební techniku na místo v případě požáru, ba dokonce i včasné požár zpozorovat.

#### **DETEKCE POŽÁRU V HISTORICKÝCH STAVBÁCH**

Interval od vzniku požáru do jeho zpozorování má zásadní vliv na rozsah následků a ztrát. Z důvodu včasné detekce se do objektů instaluje elektrická požární signalizace (dále jen jako EPS). Ta může dále akusticky i opticky dát signál, že v její blízkosti právě vzniká požár nebo může informovat osoby zajišťující zásah., jako jsou jednotky požární ochrany nebo hasičský záchranný sbor. V neposlední řadě může EPS uvést do činnosti signálem i jiné požárně bezpečnostní zařízení, jako je například stabilní hasicí zařízení.

Při návrhu EPS v historické budově však narážíme na některé problémy, které nesmíme opomenout. Mezi hlavní problémy se řadí estetické narušení zbytku interiéru a časté vysoké stropy historických, zejména církevních budov. Při stoupání kouře dochází k jeho ochlazování, a tak nemusí kouř dosáhnout potřebné výšky pro detekci. Ke každému objektu se tedy musí přistupovat individuálně a řešením je najít kompromis mezi dostačující bezpečností a co nejmenším narušením vzhledu.

#### **PŘÍČINY POŽÁRŮ**

Důvodů, proč v první řadě požár v objektu vzniká, může být mnoho. Nejčastější příčiny však můžeme rozdělit na 3 základní kategorie. Tyto kategorie jsou technické závady, nedbalost a úmyslné zapálení [2]. Mezi časté případy požárů dřevěných budov pak lze uvést i o požárech způsobených komíny.

Požár od technické závady bývá nejčastěji způsoben kvůli vadě na elektrospotřebiči nebo závada na samotných rozvodech elektroinstalace. Požár z nedbalosti může být zaviněn zanedbáním pravidelných revizí nebo zacházením s otevřeným ohněm. Důvod pro úmyslné založení požáru nebývá často snaha zničit budovu, nýbrž poškození majitele [3]. Žhářství může být způsobeno ale také neúmyslně, v případech duševní poruchy, jako je pyromanie. Častým terčem pro žhářství bývají církevní budovy, jako tomu bylo například v Gutech v roce 2017 [3].

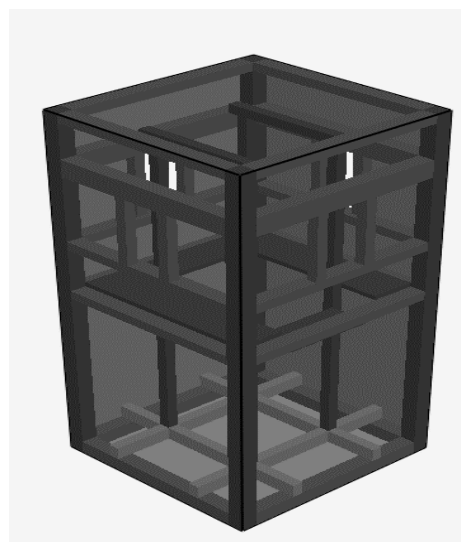
### PRAKTICKÝ PŘÍKLAD SOUČASNÉHO STAVU

V rámci praktického příkladu je řešen jeden z případů požáru dřevěné budovy v České republice. Jedná se o historickou zvonici v Železném brodě, která v roce 2007 podlela požáru (obr. 1 A). Objekt zvonice bude zjednodušeně modelován v programu Fire Dynamics Simulator (obr. 1 B) a bude měřena doba detekce požáru pomocí zvoleného hlásiče.

V modelu o rozměrech 4,1 m × 4,2 m × 8,4 m jsou umístěny 4 kouřové hlásiče, které budou monitorovat prostor a sledovat vývoj požáru. Tyto hlásiče jsou umístěny na spodní straně dřevěného ochozu zvonice ve výšce 4,2 m nad podlahou, a to takovým způsobem, že každá strana zvonice je pokryta jedním hlásičem.



(A)



(B)

Obr. 1 (A) Požár zvonice v Železném Brodě; (B) Zjednodušený model zvonice v softwaru FDS  
 Fig. 1 (A) Fire of a belfry in Železný Brod; (B) Simplified model of a belfry in FDS software

Zdrojem požáru v modelu byly uvažovány odpadkové pytle s papírem. Tento zdroj byl umístěn pod prostor ochozu zvonice, konkrétně pod sníženou mezipodestu pro schodiště. Pytle jsou uvažovány na ploše 60 cm × 60 cm. Způsob hoření byl do modelu zadán za pomoci křivky rychlosti uvolňování tepla, která byla převzata z odborné literatury [4]. Limitní hodnota zakouření, tj. množství kouře ve vzduchu, při kterém hlásič začne detekovat kouř, je 3,24 %/m [5]. Tato hodnota byla převzata z příručky pro software FDS.

### CITLIVOSTNÍ ANALÝZA

V rámci citlivostní analýzy byla upravována výpočtová síť modelu takovým způsobem, že buňky, ze kterých se síť skládá, byly v dolní části zvonice neustále zhušťovány. Výpočet byl proveden ve třech různých variantách (tab. 1). Jednotlivé výsledky variant byly následně promítnuty v jednom grafu.

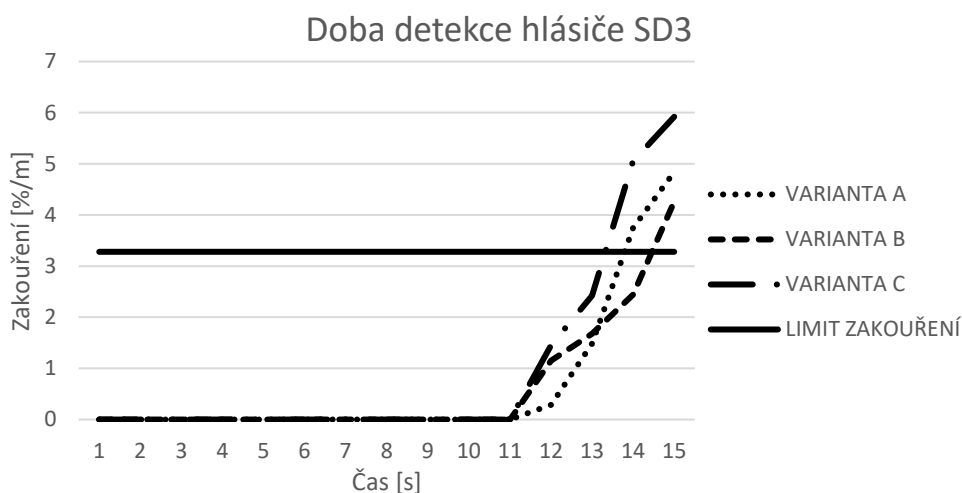
Tab. 1 Jemnosti výpočetních sítí

Tab. 1. Resolutions of computational meshes

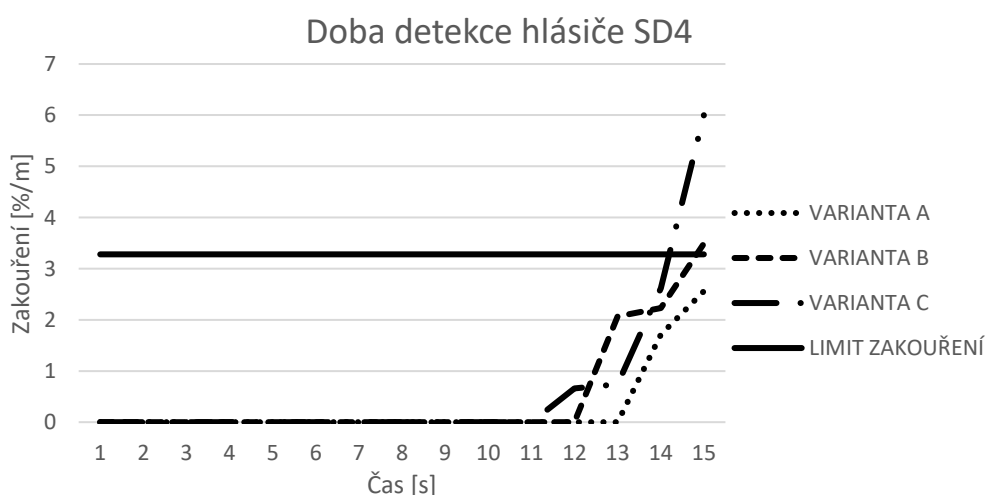
Název	Počet buněk výpočetní sítě
Hrubá síť - Varianta A	108 484
Středně jemná síť - Varianta B	325 458
Jemná síť - Varianta C	614 754

## VÝSLEDKY

Časy detekce požáru zvolených hlásičů jsou mnohonásobně rychlejší než čas, za které byl v případě zvonice požár reálně zpozorován. Zatímco skutečný požár byl zpozorován a nahlášen až po 14 minutách [6], výpočet v modelu prokázal, že EPS je schopná detekovat v rámci sekund. Během simulace v softwaru, které zobrazovala prvních 15 sekund rozhořívání zdroje, stihly zareagovat již 2 ze 4 hlásičů. V níže uvedených grafech je zobrazeno porovnání jednotlivých variant a výsledek citlivostní analýzy hlásičů SD3 (Obr. 2) a SD4 (Obr. 3).



Obr. 2 Citlivostní analýza hlásiče SD3  
Fig. 2 Sensitivity analysis of detector SD3



Obr. 3 Citlivostní analýza hlásiče SD4  
Fig. 3 Sensitivity analysis of detector SD4

**ZÁVĚR**

Článek shrnul základní poznání problematiky požárů v historických dřevěných objektech v návaznosti na současnou absenci legislativní normy, která by tuto problematiku řešila. Byla představena základní funkce systému EPS, časté problémy s návrhem v takovémto objektu a bylo popsáno, proč v první řadě požáry v těchto objektech vznikají. V praktickém příkladu se článek zabýval modelem historické zvonice a detekci požáru v ní, kde hlásiče požáru byly umístěny na dřevěný ochoz ve zvonici. Výsledkem tohoto modelu je porovnání časů detekce požáru s realitou.

**PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat paní Daně Pickové z odboru památkové péče města Železný Brod, za poskytnutí informací a projektové dokumentace k řešené zvonici v praktické části. Dále bych rád poděkoval panu nprap. Miloši Jakubíkovi z HZS Libereckého kraje za poskytnutí zprávy o zásahu k požáru zvonice.

**LITERATURA**

- [1] POKORNÝ, M. *Požární bezpečnost historických objektů* [přednáška]. Praha: ČVUT v Praze, 2021
- [2] NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV [online]. *Požární ochrana památkových objektů*. ©2015 [vid. 21. 5. 2021] Dostupné z: <https://www.npu.cz/publikace/pozarni-ochrana-pamatkovych-objektu.pdf>
- [3] PODJUKL, M. Příčiny a okolnosti vzniku požárů památek [přednáška]. In: For Arch 2019 [online]. Praha. Záznam dostupný z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/20510-priciny-a-okolnosti-vzniku-pozaru-pamatek>
- [4] KIM, H. J., D. G. LILLY, *Heat release rates of burning items in fires* [online]. A00-16576. American Institute of Aeronautics & Astronautics, January 2000. [vid 21. 5. 2021] Dostupné z: <http://www.firebid.umd.edu/docs/Kim%20-%20HRR%20of%20Burning%20Items%20in%20Fires.pdf>
- [5] MCGRATTAN, K., et al. *Fire Dynamics Simulator User's Guide*. 6th ed. NIST Special Publication 1019, National institute of Standards and Technology, August 21, 2020 [vid. 21. 5. 2021]
- [6] HZS LIBERECKÉHO KRAJE, *Odborné vyjádření*, 5107003873, Jablonec nad Nisou, Červenec 2007

## SPRINKLEROVÁ HASÍCÍ ZAŘÍZENÍ V BUDOVÁCH PRO BYDLENÍ

### SPRINKLER FIRE EXTINGUISHERS IN RESIDENTIAL BUILDINGS

**Bc. Jan Mertl**

#### **Abstract**

*The main aim of this paper is a comparison of design requirements for the installation of sprinkler systems in residential buildings in the Czech Republic with focus on advantages and disadvantages of implementing Sprinkler systems in these objects. The paper also covers the question of the role of the building layout with use of information obtained from long observations of these systems in the United States. Even the expression 'residential building' will be an issue for the Czech legislative, but there is no definition for it.*

**Key words:** Residential sprinklers; domestic water supply; family dwellings; installations, technical requirements

#### **ÚVOD**

Instalace sprinklerových systémů v budovách pro bydlení (dle ČSN 73 0833 se jedná o budovy OB1, OB2, OB3) je velkým tématem posledních let. Velkým důvodem je velká úmrtnost při požárech v takovýchto objektech. Dle ročenky HZS [1] z roku 2019 bylo usmrceno 59 osob ze 129 požárů v domácnostech. Druhým důvodem je objem vody, která je potřeba pro uvedení požáru pod kontrolu. Dle [2] vyhovuje nádrž o objemu 300 galonů (1 136 l) k dodání vody po dobu 10 minut. Tato voda nemá kudy bezpečně odtéct a může způsobovat daleko větší finanční škody než samotný požár.

#### **INSTALACE SPRINKLERŮ V REZIDENČNÍCH OBJEKTECH**

Instalace rezidenčních sprinklerů do objektů pro ubytování řeší významně americké normy National Fire Protection Association (NFPA) řady 13. Konkrétně se jedná o normy NFPA 13 – Standard for the Installation of Sprinkler, NFPA 13R – Standard for the Installation of Sprinkler System in Residential Occupancies a NFPA 13D – Installation of Sprinkler Systems in One- and Two- Family Dwellings Homes. První jmenovaná norma se zabývá celkovým návrhem sprinklerových systémů. Kdybychom, ale tuto normu použili pro návrh sprinklerových systémů i do objektů pro bydlení malých rozměrů, zjistíme, že požadavky touto normou jsou finančně náročné. Právě prodražení celkové stavby je pro možné zájemce nezajímavé. Právě tu dostávají slovo druhé dvě zmiňované normy, NFPA 13R, která upravuje podmínky instalace pro budovy do čtyř nadzemní podlaží a NFPA 13 D, která upravuje stejné podmínky, ale pro jedno- dvou- generačních objektů.

V České republice je hlavní návrhová norma sprinklerových systémů ČSN EN 12 845 – Sprinklerová zařízení – Navrhování, instalace a údržba. S touto normou můžeme srovnat výše zmíněnou americkou normu NFPA 13.

#### **POŽADAVKY AMERICKÝCH NOREM**

Americké normy rozeznávají 5 druhů dodávky vody do objektu. Prvním je přímé připojení k veřejnému vodovodu. Přípojka může být osazena automatickým čerpadlem pro zvýšení tlaků do soustavy. Druhou možností je vodojem, který má díky své vyvýšené poloze spolehlivý tlak pro dodávku požární vody. Třetím zdrojem je tlaková nádrž umístěná v blízkosti objektu. Nádrž musí splňovat požadavky na provozuschopnosti pod určitým tlakem, které udává společnost strojních inženýrů (American Society of Mechanical Engineers–ASME). Čtvrtou možností je vybudování požární nádrže s přidruženým automatickým čerpadlem. Poslední možností je využít studnu. U této

možnosti je třeba říci, že u této možnosti je nutné splnit sekundární požadavky na minimální objem vody, která je připravena ihned k použití a vydatnost studny. Tato norma umožňuje zkombinovat požární nádrž s požární studnou. Tudíž v případech, kdy nám nevyhoví požární studna je možné tuto studnu doplnit o požární nádrž menšího rozměru. Otázkou je, kdy je tato možnost ekonomicky neadekvátní.

Objekt musíme zatřídit do takzvaných tříd nebezpečí, a to podle množství výskytu hořlavých látek a rychlosti uvolňování tepla (Heat Release Rate – HRR). Rozlišujeme tři třídy. Lehkou, střední a těžkou třídu nebezpečí.

Sprinklerové hlavice musí být umístěny ve všech prostorech. Výjimku tvoří koupelny o podlahové ploše nejvýše 5,1 m<sup>2</sup>, šatny a komory, kde podlahová plocha nepřesahuje 2,2 m<sup>2</sup> – nejmenší rozměr není větší než 0,9 m nebo pokud jsou všechny obalové konstrukce místnosti obaleny nehořlavými nebo omezeně hořlavými materiály dle NFPA 220 (i zde musí být splněny požadavky na maximální plochu a maximální délku nejmenšího rozměru); v garážích, otevřených verandách, přístřešcích pro auto a těmto přístřeškům podobným (tyto místa si, můžou vyžádat jiné správní orgány nezávisle na této normě); podkrovích, strojovnách výtahů a skrytých prostorů vyhrazených pro bytovou jednotku (ventilační zařízení, podlahové/stropní prostory, výtahové šachty a další skryté prostory, které nejsou užívány ani určeny k pobytovým účelům); u vstupů a východů z bytové jednotky (pokud je do těchto prostů vedeno více vstupních/výstupních cest); u nosníkových polích, které splňují doplňující požadavky na svůj vnitřní objem nebo dostatečnou vzdáleností od chráněného stropu.

## POŽADAVKY ČESKÝCH NOREM

Stejně jako u výše zmíněných americký norem i zde máme požadavek na pokrytí všech prostor sprinklerovými hlavice. Výjimky tvoří umývárny, toalety, uzavřená schodiště a podobné vertikální šachty v neposlední řadě místnosti chráněné jinými druhy stabilního hasícího zařízení (SHZ) nebo v místnostech, kde probíhají mokré procesy (např. ve výrobě).

Pro správný návrh sprinklerového systému musíme správně zatřídit objekt podle třídy nebezpečí. Tyto třídy rozdělujeme tři. Lehká, střední a vysoká. Třídy střední a vysoká se následně dále dělí do svých podskupin. Pro jednotlivé třídy nebezpečí jsou dána minimální kritéria na průtok vody a minimální tlaky soustavy. Další krokem k návrhu správné soustavy je určení správné soustavy. Máme čtyři hlavní soustavy. První je mokrá soustava. Tato soustava je trvale naplněna vodou a může být použita tam, kde teplota v žádném prostoru neklesne pod 4°C. Druhou soustavou je suchá soustava. Potrubí je naplněno vzduchem nebo inertním plynem. Navíc se navrhuje zpravidla i do prostor, kde teplota je vyšší než 70°C. Třetí soustavou je soustava smíšená, která kombinuje výše zmíněné dvě soustavy. Poslední čtvrtá soustava je soustava s předstihovým zařízením, kterou dělíme ještě na dvě podskupiny A a B. Skupina A může být aktivována činností samočinným detekčním zařízením (elektrickou požární signalizací – EPS). Skupina B je aktivována jak činností samočinným detekčním zařízením (EPS), tak otevřením sprinklerových hlavice.

Dodávka vody se řídí podle zatřídění do třídy nebezpečí objektu. Pro lehkou třídu (LH) 30 minut, střední třídu (OH) 60 minut a pro vysoké třídy HHP a HHS) je to 90 minut. Voda určená k použití ve sprinklerových systémech mohou pocházet ze čtyř zdrojů. První možností je využití vodovodního řádu, který musí být schopen dodávat vodu s požadovaným tlakem i v případě různých odstavných dní potrubí. Druhou možností je vybudování požární nádrže. Zde rozeznáváme dvě možnosti a těmi jsou nádrže s plnou kapacitou a se sníženou kapacitou. Použití nádrže se sníženou kapacitou musí vycházet z podrobného výpočtu sprinklerové soustavy. Další možností je využití nevyčerpatelných zdrojů (řek, jezer, přehrad atd.). Poslední možností je využití tlakových nádrží. Tato možnost se povoluje použít pouze v případech, kdy objekt je zatříděn do lehkého (LH) či střední (OH1) třídy nebezpečí. Pro jiné třídy nebezpečí je tento zdroj vody zakázán.



**ZÁVĚR**

Vypsáním obecných požadavků na návrh sprinklerových systémů v objektech pro bydlení si můžeme udělat představu o tom, kde bude mít instalace více či méně překážek k realizaci v České republice. Z těchto informací je patrné že instalování sprinklerových systémů do malých rezidenčních objektů je náročné jak technologicky, tak finančně. Důvodem je absence normy, která by upravovala požadavky v takových případech jako to můžeme pozorovat v USA.

Velikou výhodou instalace sprinklerových systémů do objektů pro bydlení malých rozměrů je snížení potřeby vody pro hašení. Dle [2] vyhovuje nádrž o objemu 300 galonů (1 136 l) k dodání vody po dobu 10 minut (v České republice je minimální doba dodání vody pro hašení 60 minut). Taková voda bude použita téměř okamžitě od vypuknutí požáru. Naproti tomu, pokud přijede hasičský záchranný sbor k požáru použití k ovládnutí požáru tisíce litrů vody. Následné škody po hašení jsou několikanásobně menší při použití sprinklerových systémů.

Další věcí, kterou je třeba se zabývat při navrhování rezidenčních sprinklerů v České republice je, stanovit si definici samotného rezidenčního objektu. Pod slovem rezidence si většina z nás představí nějaký honosný objekt velkých rozměrů. Proto by byla potřeba udělat přesná definice, co přesně by bylo myšleno rezidenčním objektem. Je myšleno opravdu nějaký veliký objekt? Pokud ano, splňovala by vůbec takto definovaný objekt požadavky pro použití zjednodušení návrhu sprinklerových systémů?

V České republice by bylo možná i lepší takovýto výraz vůbec nespécifikovat. My už takovéto určení velikostí objektů pro bydlení máme určeno. Je ukryto v návrhových normách požární bezpečnosti. Konkrétně v ČSN 73 0833 (OB1, OB2, OB3). Zde máme už definovány objekty, u kterých by bylo použít znalosti z amerických norem.

Pro potřeby sprinklerového systému v obytných objektech by bylo nutno používat takový typ sprinklerové hlavice, které jsou schopny zkrápět i stěnové konstrukce v maximální vzdálenosti od napojení na vodorovné konstrukce. Očekává se časté šíření plamenů po těchto konstrukcích. U sprinklerových hlavice, které nebudou tento požadavek dodržet se předpokládá větší průtoky vody do menší aktivní plochy. Při použití těchto hlavice by byl zvětšen počet celkových sprinklerových hlavice a zvětšení vody použité pro hašení.

**LITERATURA**

- [1] MV GR̂ HZS ČR. *Statistická ročenka 2019* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/statisticke-rocenky-hasicskeho-zachranneho-sboru-cr.aspx>
- [2] PAUL, P. Residential Fire Sprinklers: A Growing Trend In Home Fire Safety. *PM Engineer*. 2008, 14(3), 28. ISSN 1080-353X.
- [3] Bc. PETRA ŠČOTKOVÁ. *Residenční sprinklery*. B.m., 2019. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [4] LARSON, A. Multipurpose residential fire sprinkler systems: what every design engineer should know. *PM engineer*. 2007, 13(11), 39. ISSN 1080-353X.
- [5] HUBBARD, D. The requirements and challenges of residential fire sprinkler systems and water meters. *PM Engineer*. 2020, 26(5), 34–36. ISSN 1080-353X.
- [6] *How Does a Pre-action Fire Protection System Work?* [online]. Dostupné z: <https://www.femor.com/learn-industrial-fire-protection/2019/3/8/how-does-a-pre-action-fire-protection-system-work>



## STABILNÍ HASICÍ ZAŘÍZENÍ V GARÁŽÍCH

### FIXED EXTINGUISHING SYSTEM IN PARKING GARAGE

**Bc. Anna Vlasáková**

#### **Abstract**

*This article presents basic information about fire risks in parking garage. It includes discussion about car construction changes and alternative drives and fuel, which are becoming still more common, and fire risks related to them. In the last part of this article is CFD model of two cars in parking garage. In simulation, we research influence of distance between the cars and fire transfer.*

**Key words:** Gaseous Fuels; Hydrogen Fuel Cell; Electric Vehicles; Fire Safety; FDS

#### **ÚVOD**

V prostorách hromadných garáží se nenachází mnoho hořlavých materiálů, proto nejčastějším rizikem vzniku požáru v nich jsou parkující automobily. V případě požáru automobilu vzniká velké množství kouře a je dosahováno vysokých teplot, které mohou způsobit i velmi vážné poškození nosné konstrukce. Pokud není požár včas podchycen, způsobí také velké finanční škody.

Řešením tohoto rizika by měla být instalace stabilního hasicího zařízení v prostoru garáží. To zamezuje šíření požáru na sousední automobily, ochlazuje okolní konstrukce nebo v nejlepším případě se snaží vzniklý požár uhasit. Na to mohou mít vliv dnes stále více využívané automobily na alternativní paliva nebo různé změny v konstrukci automobilů.

#### **ZMĚNY V KONSTRUKCI AUTOMOBILŮ**

V posledních letech dochází ke zvětšování rozměrů osobních automobilů. Na to se můžeme podívat na u nás nejprodávanějších vozech, kterými jsou Škoda Octavia a Škoda Fabia [1]. Pokud porovnáme první a poslední generaci u obou typů vozů je zřejmé, že se u Škody Octavia o 98 mm zvětšila šířka vozu a o 182 mm se zvětšila délka vozu [2]. Podobně tak u vozu Škoda Fabia, kde šířka je větší o 86 mm a délka o 302 mm [3].

Důvodem zvětšujících se automobilů jsou vyšší požadavky na komfort a pohodlí cestujících. Zároveň jsou na osobní automobily kladeny vyšší nároky na technické vybavení uvnitř vozu. V interiéru osobních automobilů se vyskytuje mnohem více elektroniky a kovové materiály jsou často nahrazovány prvky plastovými. Dnes se mnohem častěji v automobilu instalují plastové palivové nádrže. V Evropě jde o více než 85 % osobních automobilů, jejichž palivová nádrž je z polyethylenu s vysokou hustotou HDPE [4].

#### **POŽÁRNÍ RIZIKA ALTERNATIVNÍCH PALIV**

Už při identifikaci hořícího automobilu bývá často velmi složité poznat, že jde o automobil na alternativní paliva. Označování není jednotné a každý výrobce a každé palivo má svá specifika. Může se stát, že v případě požáru bude identifikační štítek poničen a jeho identifikace bude o to složitější.

U plyných paliv je potřeba věnovat pozornost tomu, že se jedná o hořlavý plyn. K nejrizikovějším místům patří u těchto vozidel právě nádrž, která se obvykle nachází v kufru nebo na místě, kde by se nacházela nádrž u vozů s konvenčním spalovacím motorem. Mezi hlavní rizika patří výbuch plyné soustavy, únik plynu a vznik výbušné koncentrace nebo vyšlehnutí plamene při aktivaci

bezpečnostních pojistek. U nádrží s CNG (stlačený zemní plyn) a tepelnou pojistkou se nedoporučuje aplikovat vodu přímo na nádrž, jelikož by mohlo dojít k nesprávné funkci pojistky. Jako další velké riziko je považován jev zvaný „bleve“, při kterém dojde k nárůstu tlaku uvnitř nádrže rozpínáním plynu, pojistka jej nestíhá uvolňovat a dojde k mechanickému roztržení nádrže. V případě úniku plynu je ideální situace, pokud plyn kontrolovaně hoří, v této situaci není vhodné jej uhasit. Mohlo by dojít k jeho nahromadění a vytvoření výbušné atmosféry [5].

Pro hašení elektrických vozidel (dále jen EV) se uvádí potřeba velkého množství vody. Výrobce Tesla uvádí, že pro úplné uhašení akumulátoru je potřeba použít 11 356 litrů vody přímo na akumulátor [6]. I v případě, že byl požár uhašen, může dojít k pozdějšímu opětovnému zapálení. Při poškození integrity akumulátoru a proniknutí požáru do vrstev baterie může dojít k vyšlenutí vysokoteplotních tryskových plamenů do stran. Tyto plameny mohou urychlit šíření požáru na sousední vozidla [4].

U vozidel na vodíkový pohon je vodík uchováván v nádrži a bezpečnostní ventily jsou umístovány na střechu automobilu. V případě poškození nádrže nebo při požáru, kdy dojde k úniku vodíku z nádrže, stoupá vodík rychle vzhůru. Pokud přitom dojde k jeho zapálení, vytvoří za denního světla téměř neviditelný plamen, který tvoří sloupec vysoký až několik metrů [4]. V případě parkování těchto vozidel v zastřešených garážích, může dojít k poškození stropní konstrukce. V České republice byl v roce 2020 zaregistrován teprve první automobil na vodíkový pohon.

## **POŽADAVKY NA PARKOVÁNÍ VOZIDEL NA ALTERNATIVNÍ PALIVA**

Vjezd vozidel na plynná paliva již není dle vyhlášky č. 341/2002 Sb. do uzavřených prostorů garáží od roku 2014 zakázán. Pro umožnění parkování vozidel na plynná paliva v uzavřených prostorách garáží platí určité požadavky. Mezi ně patří vybavení prostoru detektory úniku plynu a účinným větráním.

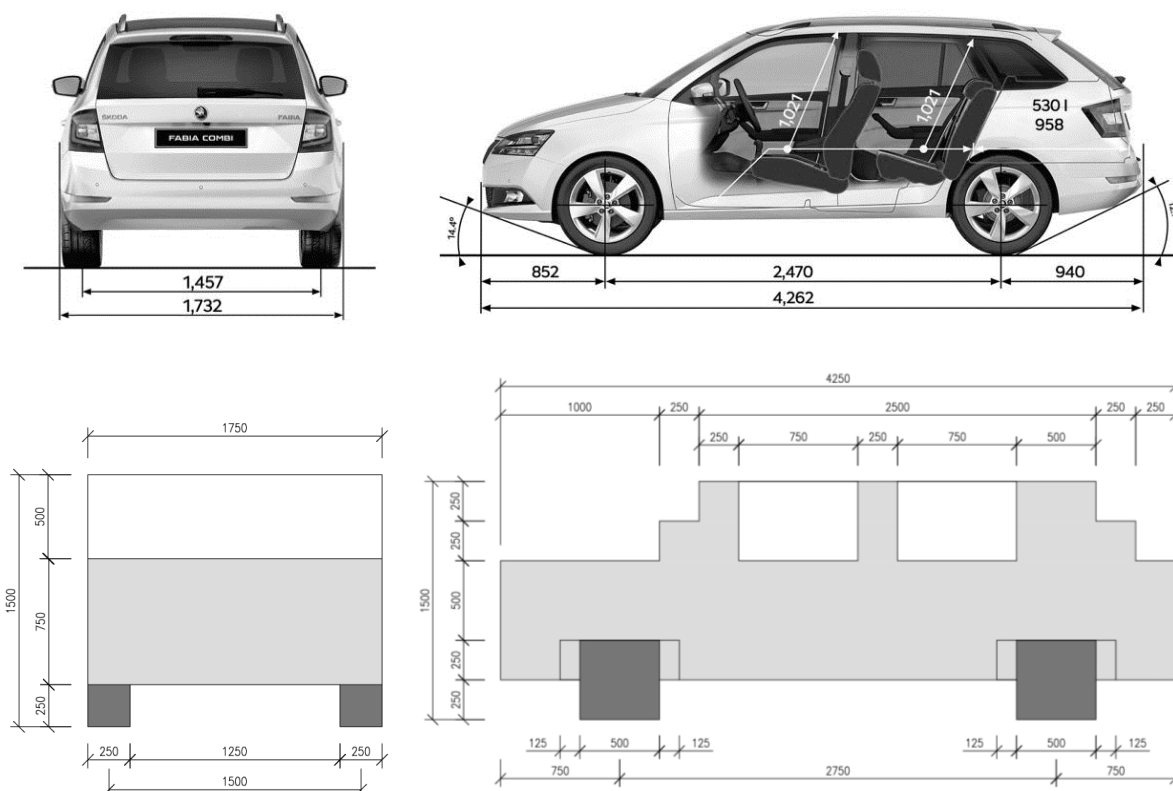
Naopak u elektromobilů je vydána směrnice Evropského parlamentu a Rady 2018/844 ze dne 30. května 2018, která vyžaduje v budovách instalaci dobíjecích stanic pro EV nebo alespoň instalaci rozvodů pro následnou instalaci dobíjecí stanice.

## **ŘEŠENÝ PŘÍKLAD**

V rámci řešeného příkladu byl pomocí CFD modelu zjišťován čas přenosu požáru na sousední automobil. Pro modelování byl využit program FDS. Cílem řešeného příkladu bylo zjistit, jak ovlivní rozestupy mezi vozidly šíření požáru. Tento příklad simuluje mírně se zvětšující rozměry využívaných osobních automobilů z důvodu komfortu pro cestující.

V programu FDS byl vymodelován výsek prostoru hromadné garáže se dvěma osobními automobily. U jednoho z automobilů byl nadefinován horní líc podlahy v interiéru vozidla jako hořící povrch a byly mu nastaveny hodnoty odpovídající křivce HRR hořícího osobního automobilu. Dále byly vymodelovány pneumatiky se zadanou iniciační teplotou odpovídající hodnotě 375 °C, přes které předpokládáme přenos požáru na druhý automobil.

Byl vymodelován zjednodušený model automobilu Škoda Fabia III. generace [3]. Mezní hodnoty jako je šířka a délka přibližně odpovídají hodnotám pro tento vůz. Došlo k zjednodušení oblých tvarů, byly využity pouze nejvíce se vyskytující materiály a rozměry byly přizpůsobeny výpočetní oblasti v programu FDS (obr. 1). Také byla vymodelována skleněná výplň oken, u které bylo simulováno rozbití při dosažení zadané teploty.



Obr. 1 Zjednodušený model osobního automobilu  
Fig. 1 Simplified car model

Pro modelovaný požár automobilu byla využita křivka rychlosti uvolňování tepla (HRR) automobilu se spalovacím motorem, který byl vyrobený v roce 2015. Maximální hodnota HRR pro tento automobil je 7,1 MW [7]. Tato hodnota odpovídá průměru maximálních hodnot ze sedmi provedených velkorozměrových zkoušek, které byly provedeny ve zkušební laboratoři ve městě Carleton Place v Kanadě.

Maximální vzdálenost mezi vozidly 85 cm odpovídá šířce parkovacího stání 2,6 m pro automobil Škoda Fabia. Jako minimální hranice byla použita hodnota 55 cm, kterou považují jako minimální, při které by se řidič dostal dovnitř automobilu.

Přenos požáru na vedlejší automobil byl hodnocen vizuálně pomocí zobrazovacího programu Smokeview. Čas, při kterém vlivem přenosu došlo k iniciaci požáru na druhém automobilu, je zaznamenán v Tab. 1.

Tab. 1 Naměřené hodnoty přenosu požáru  
Tab. 1 Measured fire transfer

Vzdálenost mezi automobily	Zapálení sousedního automobilu	
	Čas [s]	Lokalizace místa zapálení
95 cm	382	Pneumatika <sup>1)</sup>
85 cm	376	Pneumatika <sup>1)</sup>
75 cm	368	Pneumatika <sup>1)</sup>
65 cm	366	Pneumatika <sup>1)</sup>
60 cm	362	Pneumatika <sup>1)</sup>
55 cm	369	Pneumatika <sup>1)</sup>
Poznámka: <sup>1)</sup> Iniciační teplota pro pneumatiky 375°C.		

## ZÁVĚR

Je pravděpodobné, že zvýšením využívání plastů a zvětšováním rozměrů současných osobních automobilů v porovnání s automobily z předchozích dekád, se také zvyšuje riziko v případě požáru. Současné osobní automobily totiž obsahují vyšší požární zatížení spojené s rizikem snadnějšího a rychlejšího přenosu požáru na další automobily.

U alternativních paliv si všímáme odlišných požárních rizik oproti palivům konvenčním. Alternativní paliva mohou mít specifické chování v případě šíření požáru na sousední automobily nebo mohou výrazně ohrozit nosnou konstrukci budovy.

Ze získaných hodnot v řešeném příkladu je zřejmé, že snižováním rozestupu mezi automobily dochází ke snižování času pro přenos požáru. Všechny hodnoty času se pohybují okolo 6 minut. Rozdíl mezi časy zapálení vedlejšího vozu se liší maximálně o 20 sekund, kdy tento rozdíl je pro hodnoty vzdálenosti mezi vozy 95 cm a 60 cm. Možným rozšířením práce by mohlo být srovnání s vymodelováním požáru automobilu s nižším výkonem požáru a zjištění, jak by to ovlivnilo přenos požáru.

## LITERATURA

- [1] SVAZ DOVOZCŮ AUTOMOBILŮ. *Výroční zpráva 2019*. [Online]. Dostupný z: [http://portal.sda-cia.cz/clanky/download/2020\\_03\\_Rocenka\\_sda\\_2019.pdf](http://portal.sda-cia.cz/clanky/download/2020_03_Rocenka_sda_2019.pdf). [Přístup získán 16. 5. 2021].
- [2] OCTAVIACLUB.CZ. *Škoda Octavia: Rozměry (+ Combi)*. 2019. [Online]. Dostupný z: <https://octaviacub.cz/clanky/skoda-octavia-rozmary-combi/>. [Přístup získán 25. 3. 2021].
- [3] OCTAVIACLUB.CZ. *Škoda Fabia – Rozměry + Objem kufru*. [Online]. Dostupný z: <https://octaviacub.cz/fabia/rozmary-objem-kufru/>. [Přístup získán 7. 4. 2021].
- [4] BOEHMER H., M. KLASSEN a S. OLENICK. *Modern Vehicle Hazards in Parking Garages & Vehicle Carriers*. 2020. [Online]. Dostupný z: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Data-research-and-tools/Building-and-Life-Safety/Modern-Vehicle-Hazards-in-Parking-Garages-Vehicle-Carriers>. [Přístup získán 15. 2. 2021].
- [5] FURIÁŠEK, P. *Konspek 4-2-05 Dopravní nehody – Zásah u vozidel s alternativními pohony*. [Online]. Dostupný z: [http://metodika.caed.cz/konspekty/4\\_2\\_05.pdf](http://metodika.caed.cz/konspekty/4_2_05.pdf). [Přístup získán 3. 3. 2021].
- [6] TESLA. *Emergency Response Guide – Tesla Model S*. 2016. [Online]. Dostupný z: [https://www.tesla.com/sites/default/files/downloads/2016\\_Model\\_S\\_Emergency\\_Response\\_Guide\\_cs\\_cz.pdf](https://www.tesla.com/sites/default/files/downloads/2016_Model_S_Emergency_Response_Guide_cs_cz.pdf). [Přístup získán 15. 4. 2021].
- [7] LAM C., D. MACNEIL, R. KROEKER a G. LOUGHEED. *Full-scale fire testing of electric and internal combustion engine vehicles*. Baltimore, USA: 4th International Conference on Fires in Vehicles - FIVE 2016.

## SPRINKLEROVÉ SHZ VE SKLADOVACÍCH PROSTORECH

### SPRINKLER SYSTEMS IN WAREHOUSE

**Bc. Petra Trnková**

#### **Abstract**

*The subject of this article is an introduction to the fixed firefighting systems and its usage in warehouses. In the first part, this article deals with the requirements for the design of the system, the different methods of storage and types of protection. In the second part of this article is presented example where is shown warehouse with palletised rack sprinklers and ceiling sprinklers.*

**Key words:** *sprinkler; fixed firefighting system; warehouse; storage; FDS*

#### **ÚVOD**

Stabilní hasicí zařízení, jsou prvkem aktivní požární ochrany a jsou trvale instalována v objektech nebo na technologických zařízeních. Slouží k detekci, lokalizaci a likvidaci požáru za účelem ochrany osob a majetku. Do provozu bývají většinou uvedena samočinně, tedy bez obsluhy. Samočinné uvedení do provozu umožňuje zahájení hašení okamžitě po iniciaci požáru, před vznikem flashoveru a před příjezdem jednotek požární ochrany. Díky brzkému zahájení hašení lze značně omezit šíření požáru či ho dokonce zcela uhasit.

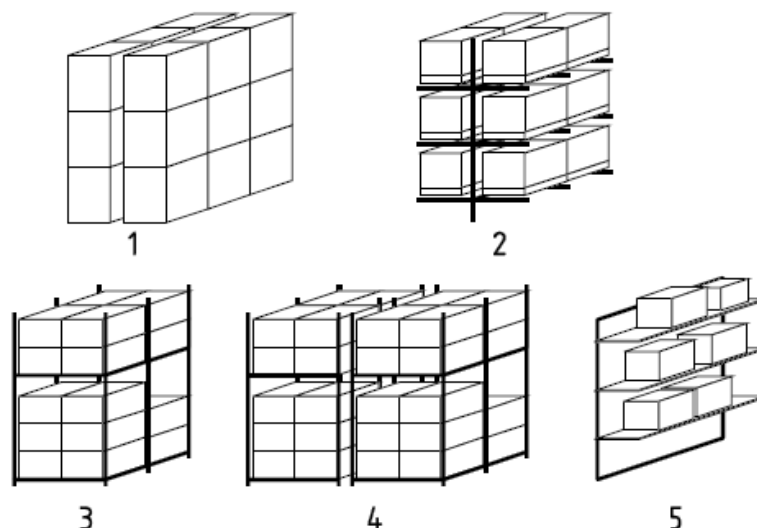
#### **SHZ VE SKLADOVACÍCH PROSTORECH**

Podrobněji se tento článek zabývá sprinklerovými hasicími zařízeními ve skladových prostorech, kde je hlavním cílem především ochrana majetku. Ve skladech je na velké ploše umístěno velké množství skladovaného materiálu, který by mohl hořet a požár by se mohl snadno a rychle rozšířit. V České republice se nutnost instalace SHZ ve skladech posuzuje dle ČSN 73 0845 – Požární bezpečnost staveb – Sklady [1]. Nutnost instalace závisí na výškovém umístění skladu, velikosti požárního úseku skladu a na výšce skladování. Instalace sprinklerů je také nutná v při překročení mezních rozměrů požárního úseku skladu.

#### **ZPŮSOBY SKLADOVÁNÍ**

Způsob skladování zboží ovlivňuje výšku skladování, šířku uliček, maximální plochu skladovacího bloku, minimální plochu kolem něj a je jedním z hlavních kritérií při návrhu stabilních hasicích zařízení ve skladech. Dle ČSN EN 12845 lze druh skladování zařadit do jedné z následujících šesti kategorií, které jsou znázorněny na Obr. 1 [2]:

- ST1: volně stojící nebo blokové stohování;
- ST2: jednořadé regály se sloupkovými paletami s uličkami o šířce nejméně 2,4 m;
- ST3: víceřadé regály se sloupkovými paletami;
- ST4: paletové regály (ukládání palet na nosníky);
- ST5: regály s plnou nebo laťovou/mřížkovou policí o šířce 1 m nebo menší;
- ST6: regály s plnou nebo laťovou/mřížkovou policí o šířce větší než 1 m, nejvýše však 6 m.

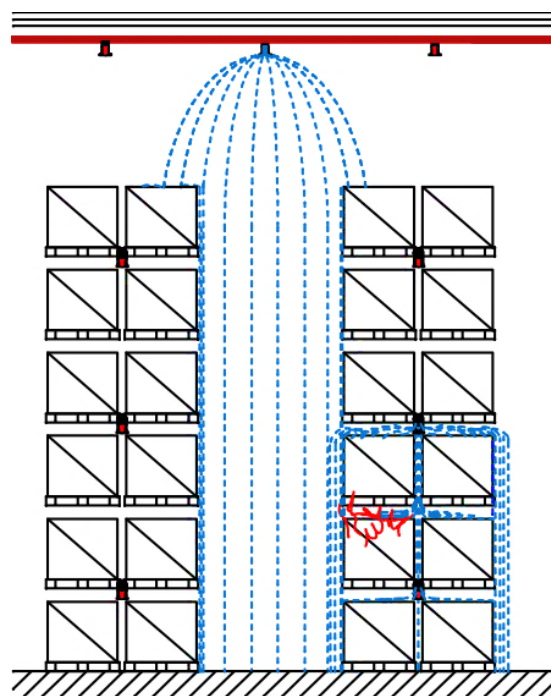


Obr. 1 Druhy skladování: 1 – volné stohové nebo regálové skladování (ST1), 2 – paletový regál (ST4), 3 – skladování se sloupkovými paletami (ST2), 4 – skladování se sloupkovými paletami (ST3), 5 – regály s plnými nebo laťovými policemi (ST5/6)

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

## STROPNÍ JIŠTĚNÍ

Použití stropního jištění je možné jen do určité výšky skladování, v závislosti na typu skladování. Po překročení stanovených omezení, je potřeba kombinovat stropní a regálové jištění, tato kombinace je vidět na Obr. 2 [3]. Výjimkou je systém ESFR, který má deklarovanou funkčnost na základě ohňových zkoušek.



Obr. 2 Stropní a regálové sprinklery  
Fig. 2 Ceiling and in-rack sprinklers



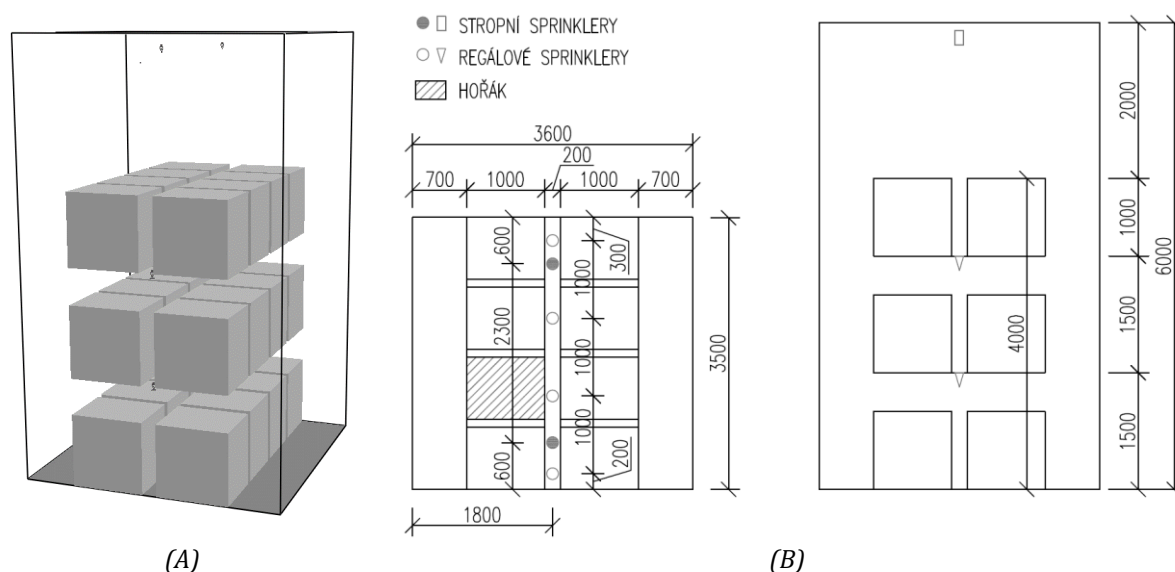
## REGÁLOVÉ JIŠTĚNÍ

Při použití regálového jištění jsou sprinklerové hlavice umístěny v těsné blízkosti skladovaného zboží, vlivem toho je zkrácena reakční doba aktivace systému. To má za následek vyšší účinnost při hašení požáru, a menší požadavky na dodávku vody. Pokud jsou instalovány regálové sprinklery, není omezena skladovací výška, je však nutné dodržet maximální povolenou skladovací výšku nad posledním regálovým sprinklerem. Nevýhodou tohoto systému je omezení variability skladu, vlivem potrubních rozvodů, které jsou vedeny v regálové úrovni. Pokud to lze, dává se přednost regálovému jištění před použitím pouze stropních sprinklerů [4].

## ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Řešený příklad byl vymodelován pomocí softwaru FDS (Fire Dynamics Simulator), který je založen na principech dynamického proudění tekutin. Cílem řešeného příkladu je porovnat účinnost stropních a regálových sprinklerů. Modelovaným prostorem je část skladu o rozměrech 3,6 m × 3,5 m × 6 m. Jedná se o sklad PET lahví v plastových přepravkách, které jsou umístěny na paletách [5]. Vymodelovaný prostor a rozmístění sprinklerů je vidět na Obr. 3.

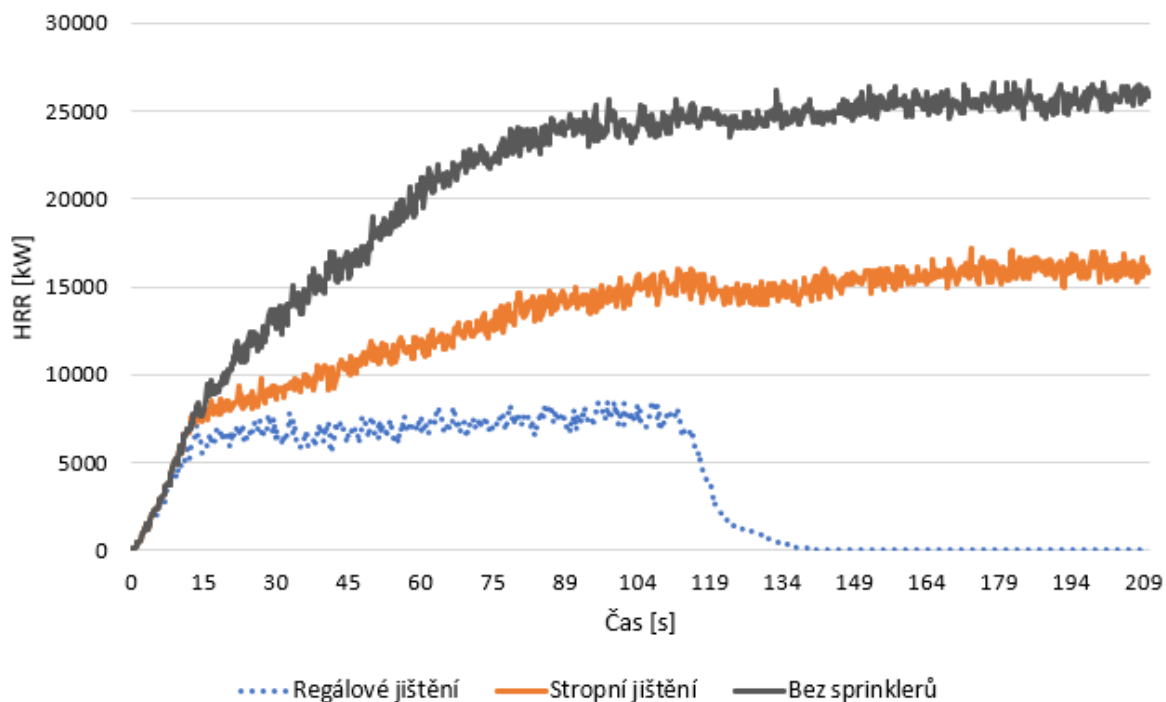
Jako počáteční zdroj požáru byl použit hořák, který byl umístěn na jednu z přepravek v prvním patře regálu. Hořák byl spuštěn po dobu dvou minut, poté byl vypnut. Sledována byla aktivace prvního sprinkleru a čas uhašení.



Obr. 3 (A) Vymodelovaný prostor, (B) Půdorys a řez prostoru  
 Fig. 3 (A) Modelled space, (B) floor plan and section of the space

## VÝSLEDKY

Z Obr. 4 je zřetelně patrný rozdíl mezi účinností regálových a stropních sprinklerů. Stropní sprinklery dokázali požár pouze utlumit, ne ho však uhasit. Při použití regálových sprinklerů byl požár uhašen do dvaceti sekund od vypnutí hořáku. První sprinkler byl u stropního jištění aktivován po 9 s, v případě regálového jištění došlo k aktivaci již po 5 s. Tento časový rozdíl je způsoben tím, že při použití regálového jištění jsou hlavice umístěny blíže zdroji hoření.



Obr. 4 Graf HRR v modelovaném prostoru  
 Fig. 4 RHR graph in the modelled space

## ZÁVĚR

Cílem tohoto článku bylo stručné seznámení s problematikou stabilních hasicích zařízení ve skladových prostorech, a porovnání vhodnosti užití stropních a regálových sprinklerů v řešeném prostoru. Dle výsledků řešeného příkladu, je jednoznačně vhodnější instalace regálových sprinklerů.

## LITERATURA

- [1] ČSN 73 0845. *Požární bezpečnost staveb – Sklady*. Praha: ÚNMZ, 2012.
- [2] ČSN EN 12845. *Stabilní hasicí zařízení – Sprinklerová zařízení – Návrh, instalace a údržba*. Praha: ÚNMZ, 2018
- [3] *SKLADY – Projekty SHZ*. In: Sprinklerplan projekty požárních sprinklerů [online]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/sprinkplan/SHZ-pro-sklady>
- [4] RYBÁŘ P., *Sprinklerové stabilní hasicí zařízení – III.díl*. TZB-info. [online]. 11.4.2016. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/pozarni-vodovod/14023-sprinklerova-zarizeni-iii-dil>
- [5] WALD, F., et al. *Modelování dynamiky požáru v budovách*. B.m.: České vysoké učení technické v Praze, 2017. ISBN 976-80-01-05633-2.

**SPRINKLEROVÉ SHZ V ADMINISTRATIVNÍCH BUDOVÁCH****FIXED FIREFIGHTING SYSTEMS IN OFFICE BUILDINGS****Bc. Jan Kirschbaum****Abstract**

*The purpose of this article is to approach sprinkler firefighting systems in office buildings. The first part of the article provides a brief introduction and introduction to the topic. The second part of the article is a solved example. The solved example is a mathematical CFD model of office space, in which fire and extinguishing are simulated using a sprinkler fixed firefighting system. The model was created in Fire Dynamic Simulation.*

**Key words:** fixed firefighting systems; sprinkler firefighting systems; office buildings; FDS; CFD model

**ÚVOD**

Moderní doba si žádá projektování stále modernějších, technicky vybavenějších a vyspělejších budov. Spolu s tím přichází i nutnost tyto budovy náležitě chránit. Právě stabilní hasicí zařízení, společně s elektrickou požární signalizací či zařízením pro odvod kouře a tepla, jsou jednou z důležitých součástí požárního zabezpečení moderních a významných budov. Stabilní hasicí zařízení zajišťují nejen ochranu osob a majetku v budovách, ale také umožňují bezpečný zásah požárních jednotek. Úkolem stabilního hasicího zařízení je uhasit požár v jeho počáteční fázi, nebo alespoň zabránit rychlému šíření požáru do příjezdu jednotek požární ochrany.

Jedním z provozů, ve kterých se v dnešní době stále častěji přistupuje k instalaci stabilního hasicího zařízení, jsou právě administrativní budovy. Tento článek se věnuje převážně sprinklerovým hasicím zařízením, která jsou v administrativních budovách nejpoužívanější.

**SPRINKLEROVÉ SHZ V ADMINISTRATIVNÍCH BUDOVÁCH**

Stabilní hasicí zařízení se dle použitého hasebního média rozdělují na sprinklerové, drenčerové, mlhové, pěnové, plynové, práškové a aerosolové. Nejpoužívanějším typem stabilního hasicího zařízení v administrativních budovách je právě sprinklerové vodní SHZ [1].

Sprinklerové stabilní hasicí zařízení se v České republice navrhuje podle normy ČSN EN 12 845. Administrativní prostory se pro návrh sprinklerů zařazují do provozů s malým nebezpečím (LH) nebo do provozů se středním nebezpečím skupiny 1 (OH1). Do provozů s malým nebezpečím (LH) se zařazují pouze takové kancelářské prostory, u nichž každý požární úsek má plochu nejvýše 126,0 m<sup>2</sup> a požadavky na požární odolnost konstrukcí jsou nejvýše 30 minut. Kancelářské prostory přesahující tyto hodnoty, se hodnotí jako provozy se středním nebezpečím (OH1) [2].

**ŘEŠENÝ PŘÍKLAD**

V rámci řešeného příkladu byl vytvořen numerický CFD model hašení požáru ve vybraném kancelářském prostoru administrativní budovy. Pro řešený příklad byl zvolen výpočetní program Fire Dynamics Simulator (FDS), což je CFD program zaměřený na modelování účinků požáru.

Pro řešený příklad byl vybrán kancelářský prostor ve fiktivní administrativní budově. Vzhledem k dlouhému výpočtovému času a složitosti definování požáru v programu FDS pomocí přesné pyrolýzy, byla pro model v rámci této seminární práce zvolena jednoduchá místnost kancelářského charakteru o půdorysné ploše 9,0 m<sup>2</sup>. Půdorysné rozměry místnosti jsou 3,0 x 3,0 m. Světla výška

místnosti je rovněž 3,0 m. V rámci následné diplomové práce budou případně poznatky z tohoto modelu aplikovány na větší prostor, blíže se podobající reálné kanceláři či zasedací místnosti.

Výpočetní prostor tvoří výpočetní síť o rozměrech 3,0 m × 3,0 m × 3,0 m. Rozměr jedné výpočetní buňky je zvolen 0,1 m, celkový počet buněk je tedy 30 × 30 × 30 = 27000 výpočetních buněk. Výpočetní čas byl nastaven na 1000 s.

Pro ohraničující konstrukce a vybavení kancelářské místnosti byly použity materiály s tepelně technickými vlastnostmi uvedenými v Tab. 1. Do modelu kancelářské místnosti byl umístěn jeden dřevěný stůl a jedna dřevěná židle. Dále byl do obvodové stěny místnosti umístěn dveřní otvor o rozměrech 0,9 m × 2,1 m, který je uvažován jako otevřený a umožňuje přístup kyslíku.

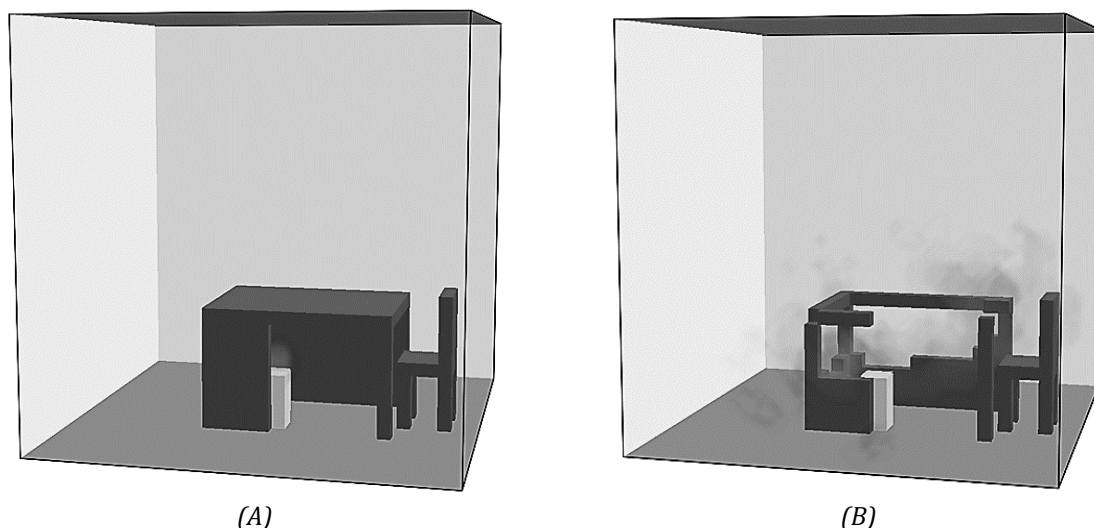
Tab. 1 Použité materiály

Tab. 1 Used Materials

Materiál	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/(m.K)]	$c$ [J/(kg.K)]	Konstrukce
Železobeton	2 400	1,58	1 020	Podlaha, strop
Keramika	870	0,38	1 000	Stěny
Dřevo	600	0,22	2 510	Nábytek

## POŽÁRNÍ SCÉNÁŘE

V řešeném příkladu byl modelován požár dřevěného kancelářského nábytku. V prvním požárním scénáři byl modelován pouze požár bez hašení sprinklerovým SHZ. Zdrojem zapálení dřevěného nábytku byl uvažován hořící odpadkový koš s papírovým odpadem umístěný pod stolem, který mohl být zapálen například odhozením nedopalku cigarety. V programu FDS byl nejprve nadefinován požár odpadkového koše, a to pomocí křivky HRR, která byla převzata z experimentálního měření [3]. Následně byla u dřevěného nábytku nadefinována přesná pyrolýza, tak aby se požár co možná nejvíce podobal reálnému hoření dřevěného nábytku. Dále bylo pomocí příkazu BURN\_AWAY nadefinováno odhořívání dřevěné hmoty. Na následujícím obrázku je zobrazeno hoření odpadkového koše pod stolem v čase 100 s (Obr. 1 (A)) a požár dřevěného nábytku v čase 815 s (Obr. 1 (B)), kde je zřejmé odhořívání dřevěné hmoty nábytku.



Obr. 1 (A) Hoření odpadkového koše; (B) Požár dřevěného nábytku  
Fig. 1 (A) Burning trash can; (B) Fire wooden furniture

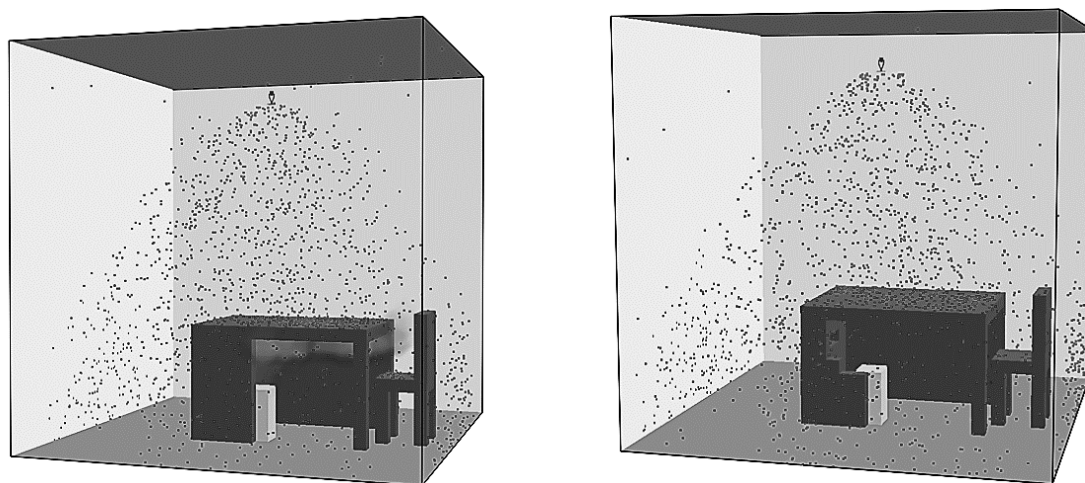
Ve druhém požárním scénáři byl modelován zcela totožný požár, jako v prvním požárním scénáři. Oproti prvnímu scénáři byla do středu místnosti do výšky 2,7 m nad podlahou umístěna sprinklerová hlavice nadefinovaná dle parametrů uvedených v Tab. 2.

Tab. 2 Parametry použité sprinklerové hlavice

Tab. 2 Parameters of the sprinkler used

Otevírací teplota (ACTIVATION_TEMPERATURE)	68 °C
Tepelná odezva (RTI)	50
K-faktor (K_FAKTOR)	80
Úhel rozstříku (SPRAY_ANGLE)	60, 70 °

Na následujícím obrázku je zobrazen okamžik otevření sprinklerové hlavice v čase 486 s (Obr. 2 (A)) a uhašení požáru v čase 815 s (Obr. 2 (B)). U požáru v čase 815 s je zřejmý značný rozdíl v míře odhoření dřevěné hmoty v porovnání s požárním scénářem bez hašení.



(A)

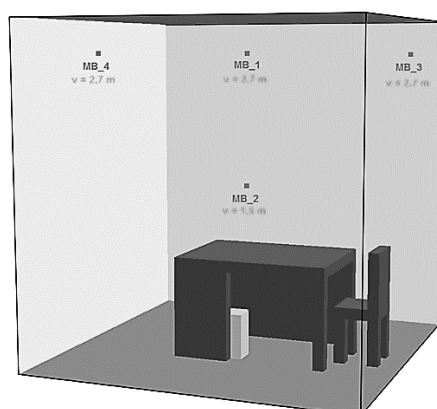
(B)

Obr. 2 (A) Otevření sprinklerové hlavice; (B) Uhašení požáru

Fig. 2 (A) Opening the sprinkler head; (B) Extinguishing the fire

## VÝSLEDKY

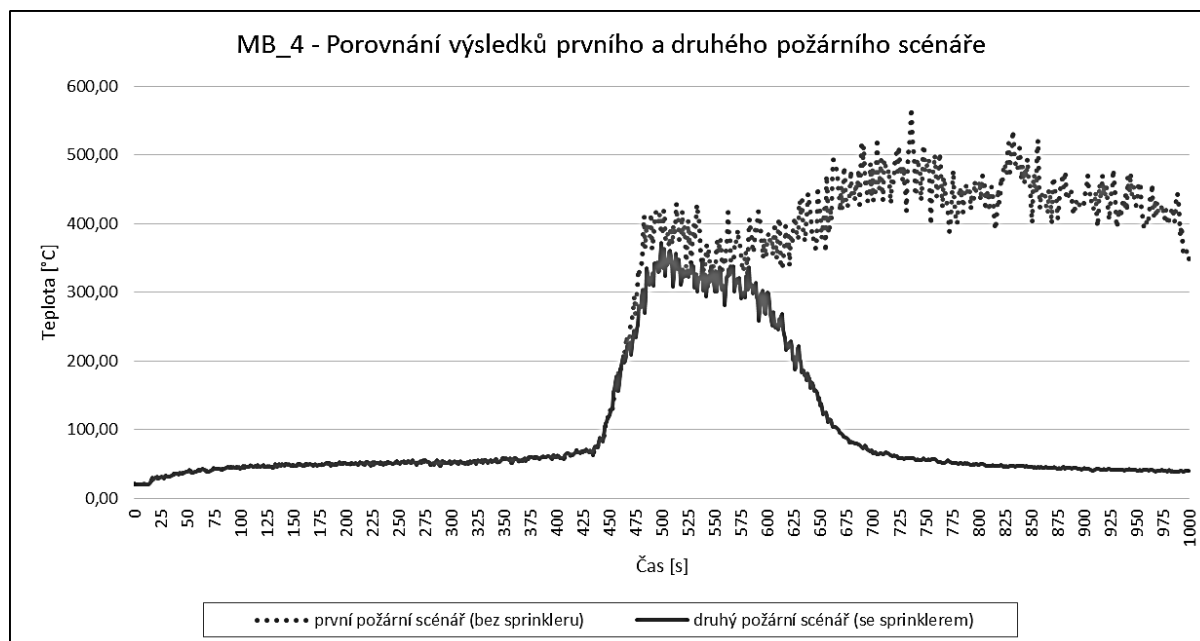
Pro získání číselných výsledků měření byly do prostoru modelu umístěny 4 měřící body (Obr. 3), ve kterých byla měřena teplota plynu v průběhu požáru. Výchozí teplota v prostoru byla nastavena na 20 °C. Měřící body byly umístěny ve stejných souřadnicích pro první i druhý požární scénář. Byly umístěny 3 měřící body ve výšce 2,7 m (uprostřed místnosti, v pravém rohu místnosti, v levém rohu místnosti) a 1 měřící bod ve středu místnosti ve výšce 1,5 m.



Obr. 3 Rozmístění měřících bodů

Fig. 3 Location of measuring points

Na následujícím grafu (Obr. 4) je zobrazeno porovnání výsledků naměřených v měřícím bodě v levém rohu místnosti pro první a druhý požární scénář. Jedná se o zobrazení průběhu teploty v čase.



Obr. 4 Porovnání výsledků prvního a druhého požárního scénáře  
Fig. 4 Comparison of the results of the first and second fire scenarios

K prasknutí skleněné baňky sprinklerové hlavice, a tedy ke spuštění hašení, došlo ve druhém požárním scénáři v čase 486 s. Dále byly sledovány maximální teploty naměřené v jednotlivých měřících bodech pro první a druhý požární scénář, které jsou pro porovnání uvedeny v Tab. 3.

Tab. 3 Porovnání maximálních teplot dosažených při požáru

Tab. 3 Comparison of maximum temperatures reached in case of fire

Měřící bod	První požární scénář (bez hašení)	Druhý požární scénář (s hašením)
MB_1	604,41 °C	412,49 °C
MB_2	662,53 °C	307,14 °C
MB_3	708,86 °C	543,69 °C
MB_4	568,17 °C	371,73 °C

## ZÁVĚR

Hodnoty teplot naměřené při požáru s hašením pomocí sprinkleru jsou výrazně nižší než hodnoty naměřené při požáru bez hašení, což vypovídá o správnosti výpočetního modelu. Z výsledků je patrné, že vytvořený model fungoval správně, tedy že požár nadefinovaný v prvním požárním scénáři byl ve druhém požárním scénáři pomocí sprinklerového SHZ uhašen, což bylo hlavním cílem modelu. Cílem budoucí práce bude zpřesnění tohoto CFD modelu a aplikace získaných poznatků na model většího prostoru reálné kanceláře či zasedací místnosti.

## LITERATURA

- [1] RYBÁŘ, Pavel. *Příklady použití stabilních hasicích zařízení v ochraně majetku a technologií*. Praha: Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, 2014. ISBN 978-80-86466-71-2.
- [2] ČSN EN 12 845+A1 *Stabilní hasicí zařízení – Sprinklerová zařízení – Navrhování, instalace a údržba*. květen 2020.
- [3] WALD, F. a kol. *Modelování dynamiky požáru při návrhu konstrukcí – Příručka k programu FDS*. Praha: ČVUT v Praze – Fakulta stavební, 2015. ISBN 978-80-01-05633-2.

## SROVNÁNÍ STABILNÍHO HASICÍHO ZAŘÍZENÍ MLHOVÉHO A SPRINKLEROVÉHO

### DIFFERENCES BETWEEN MIST FIRE EXTINGUISHING SYSTEMS AND SPRINKLER FIRE EXTINGUISHING SYSTEMS

**Bc. Lucie Bolková**

#### **Abstract**

*The purpose of this article is to compare extinguishing effects between water mist system and sprinkler system. Describing their extinguishing abilities. In the solved example, we compare the cooling extinguishing effects of the two systems in the simulation. The example simulates simplified archive room. First model is run under free-burning conditions and then the efficiency of the sprinklers is simulated in the second model and the efficiency of the water mist system in the third model.*

**Key words:** fire; sprinkler; water mist; active fire safety system; CFD model

#### **ÚVOD**

S budováním stále větších a složitějších staveb, musíme klást větší důraz na požadavky týkající se požární bezpečnosti staveb. Stabilní hasicí zařízení (SHZ) spadá mezi nejvýznamnější aktivní požárně bezpečnostní zařízení, které má za úkol dostat požár pod kontrolu či ho dokonce zlikvidovat v jeho počáteční fázi, tj. rozhořívání.

Nejrozšířenějším zařízením tohoto druhu jsou sprinklerová SHZ. Patří do skupiny vodních SHZ, u kterých se nejčastěji používá jako hasební látka voda (tedy vodní) nebo také voda v kombinaci s pěnou (pěno-vodní). Při vzniku požáru dojde působením tepla k prasknutí (otevření) tepelné pojistky, což způsobí odpadnutí těsnícího kužele sprinklerové hlavice a tím dojde k poklesu tlaku vody nebo vzduchu v přívodním potrubí. Díky tomu je vydán impuls pro otevření řídicího ventilu ventilové stanice a uvedení do činnosti zásobování vodou.

Mlhové SHZ patří, stejně jako sprinklerové SHZ, mezi systémy vodní. Na rozdíl od sprinterových systémů, kde je průměr kapek větší než 1 mm, u mlhového SHZ se velikost kapek pohybuje v rozmezí 0,025–1 mm. Další odlišností bývá především značně nižší dodávka požární vody. Navrhují se tedy s výrazně menší nádrží na vodu a menšími průměry rozvodných potrubí [1].

#### **POROVNÁNÍ VÝSTŘIKOVÝCH PARAMETRŮ**

Tyto parametry ovlivňují účinnost hašení a patří mezi ně intenzita dodávky, velikost vodní kapky a rychlost výstřikového proudu.

#### **INTENZITA DODÁVKY VODY**

Je vyjádřena průtokem vody na jednotku plochy obvykle v l/min.m<sup>2</sup> nebo mm/min. Průtok sprinkleru se vyjadřuje K faktorem (K), což je průtok v l/min při tlaku na sprinkleru 1 bar. Základní řada standardních sprinklerů má K = 57, K = 80 a K = 115. Podle nebezpečí je intenzita dodávky v rozsahu 2,25 l/min.m<sup>2</sup> až 30 l/min.m<sup>2</sup>. Oproti tomu se u vysokotlaké mlhové hubice pohybuje již kolem 0,5 l/min.m<sup>2</sup> [2, 3].

#### **VELIKOST VODNÍ KAPKY**

Velikost kapek sprchového proudu u sprinklerů se pohybuje v rozmezí 1–3 mm, přičemž u mlhového v rozsahu 0,025–1 mm. Průměr vodní kapky je u mlhového zařízení ovlivněn provozním tlakem v systému a konstrukcí mlhové hlavice/hubice. Čím je tlak vyšší, tím je průměr kapky menší.

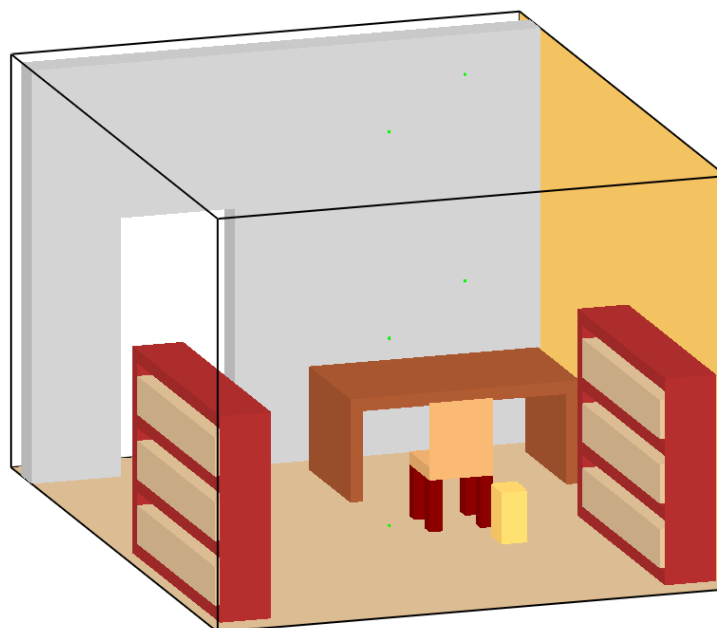
Limitem je hodnota 200 bar, při které přestává platit úměra nárůstu hasící schopnosti s rostoucím tlakem. S vyšším tlakem roste energetická náročnost (tedy vyšší cena vysokotlakého čerpadla).

### RYCHLOST VÝSTŘIKOVÉHO PROUDU

Rychlost výstřikového proudu u vysokotlaké mlhy je výrazně vyšší než u sprinklerů. Rychlost výstřikového proudu je ovlivněna konstrukcí mlhové hlavice/hubice a klade se zde důraz na limitní hodnoty. Vysoká rychlost by mohla vést k turbulentnímu proudění s dodávkou čerstvého vzduchu do ohniska požáru. Mohlo by také dojít k rozvíření hladiny hořlavé kapaliny nebo její větší rozšíření po prostoru, díky kombinaci velké rychlosti výstřikového proudu a kapek většího průměru. Aby kapky doletěly až do zóny samotného hoření (k plamenům či na povrch hořících předmětů), nesmí být rychlost proudu příliš nízká.

### ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Zjednodušený model byl vyhotoven v programu Fire Dynamics Simulator (FDS). Byly provedeny celkem tři simulace. V prvním případě probíhalo volné hoření, v druhém případě se aktivovala sprinklerová hlavice a ve třetím případě se aktivovala mlhová hlavice. Jedná se o zjednodušený prostor archivu o rozměrech 4,0 m × 4,0 m × 3,2 m, který je vybaven dřevěnými knihovny se zjednodušenou modelací knih, židlí a stolem. Ve středu místnosti byl umístěn hořák jako zdroj hoření. (Obr. 1) Požár byl namodelován dle Heat Release Rate (HRR) pro požár v archivu. Hodnoty HRR byly převzaty z odborné knihy [4]. Zkoumala se účinnost a rozdíly mezi oběma typy SHZ.



*Obr. 1 Dispozice modelovaného prostoru  
Obr.1 Layout of model space*

V následující tabulce (Tab. 1) můžete vidět jednotlivé parametry hasicích hlavice.



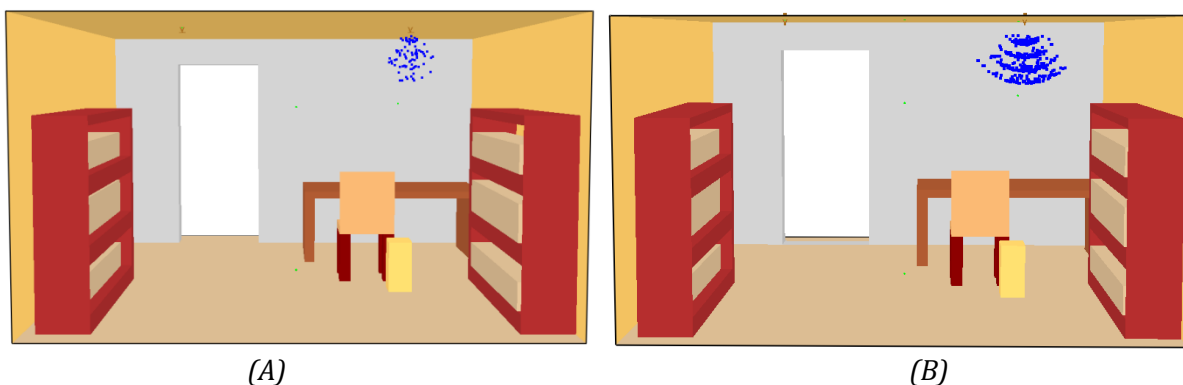
Tab. 1 Parametry hasicích hlavíc

Tab. 1 Parameters of extinguishing heads

Parametry hasicích hlavíc	Sprinklerové SHZ	Mlhové SHZ
RTI (index reakční doby)	50	50
Provozní tlak	2 bar	82 bar
Rychlost proudu	5 m/s	30 m/s
K-Faktor	80 l/min.bar <sup>1/2</sup>	4,2 l/min.bar <sup>1/2</sup>
Otevírací teplota	68 °C	68 °C
Průměr kapek	1 mm	0,05 mm
Výstřikový úhel	0–60°	30–80°
Průtok vody	113 l/min	38 l/min

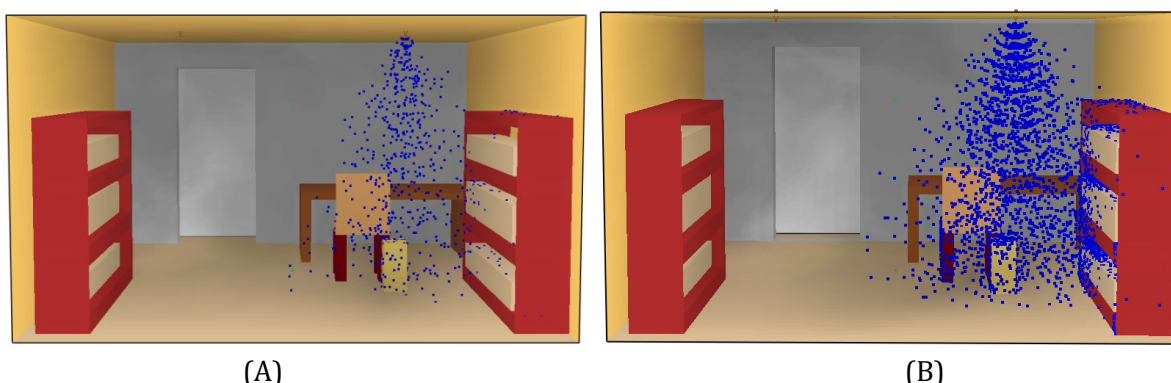
### VÝSLEDKY HAŠENÍ V ARCHIVU Z PROGRAMU FDS

Na Obr. 2A a Obr. 2B je vidět, že aktivace první sprinklerové/mlhové hlavice probíhá ve stejnou dobu a to v čase 94,7 s. Je zde také názorně vidět jednotlivé rozdíly ve výstřikových parametrech.



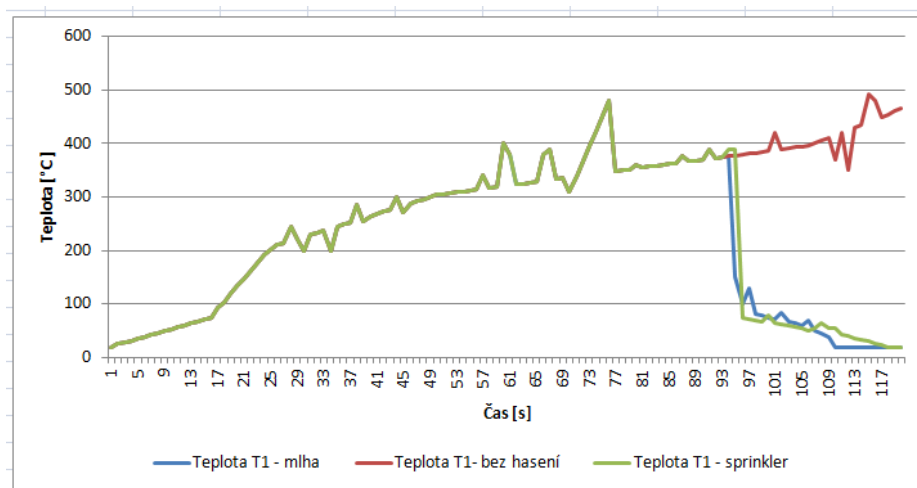
Obr. 2 (A) Sprinklerová hlavice (čas 94,7 s); (B) Mlhová hlavice (čas 94,7 s)  
Fig. 2 (A) Sprinkler head (time 94,7 s); (B) Water mist nozzle (time 94,7 s)

Na Obr. 3A a Obr. 3B je vidět, že k aktivaci druhé hlavice nedochází. Nejspíše k tomu nedošlo z důvodu dostatečně rychlého ochlazení okolí kapkami vody.



Obr. 3 (A) Sprinklerová hlavice (čas 120 s); (B) Mlhová hlavice (čas 120 s)  
Fig. 3 (A) Sprinkler head (time 120 s); (B) Water mist nozzle (time 120 s)

Při použití sprinteru i vodní mlhy byla nejvyšší naměřená teplota v T1 495 °C v čase 74 s. Z následujícího grafu (Obr. 4) je patrné, že k rychlejšímu potlačení požáru dochází za pomoci vodní mlhy, a to již v 109 s. Sprinklery zdolávají požár v 119 s.



Obr. 4 Porovnání průběh teploty v čase na termočlánek T1  
 Fig. 4 Comparison of temperature over time in thermocouple T1

## ZÁVĚR

Ze získaných výstupních dat programu FDS je patrně vidět vliv výstřikových parametrů na schopnost systému zdolat požár. Při použití/aktivaci obou hasicích zařízení došlo k náhlému snížení teploty v T1 oproti volnému hoření. Obě zařízení zdolala požár za pomoci pouze jedné hlavice/hubice. Model ukazuje, že k rychlejšímu potlačení požáru dochází za pomoci vodní mlhy a to již v 109 s, oproti sprinterům, které zdolávají požár až v 119 s. Ověřili jsme si, na tomto modelu, schopnost dostat účinně požár pod kontrolu u obou zařízení.

## LITERATURA

- [1] ČSN EN 12845 *Stabilní hasicí zařízení - Sprinklerová zařízení - Navrhování, instalace a údržba* (2020)
- [2] Rybář, P. *Mlhová stabilní zařízení pro protipožární ochranu objektů a technologií (1. Část)*. [online] 2017. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/16205-mlhovastabilni-hasici-zarizeni-pro-protipozarni-ochranu-objektu-a-technologie-1-cast>
- [3] RYBÁŘ, Pavel. *Sprinklerová zařízení*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2011. ISBN 978-80-7385-106-4.
- [4] WALD, F. a kol. *Modelování dynamiky požáru při návrhu konstrukcí – Příručka k programu FDS*. Praha: ČVUT v Praze – Fakulta stavební, 2015. ISBN 978-80-01-05633-2.



**Zapálení2021**  
sborník 4. studentské vědecké konference Fakulty stavební ČVUT v Praze

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

102 strany  
ISBN 978-80-01-06849-6  
Červen 2021

Děje tohoto světa jsou výsledkem tří faktorů:

- přirozeností,
- lidské vůle a
- náhody.



Savicenna

Tak možná, ale není to spíše...

**iniciační zdroj, oxidační prostředek a palivo?**

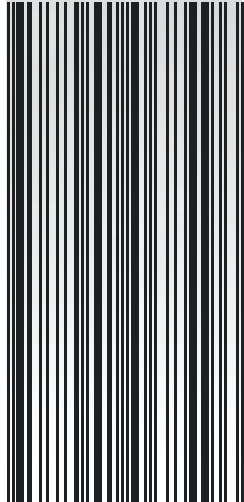


Kryštof Hydrant

z Polžic

a Bezručic

ISBN 978-80-01-06849-6



**Zapálení2021**  
**sborník 4. 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

102 strany | první vydání  
ISBN: 978-80-01-06849-6  
Červen 2021