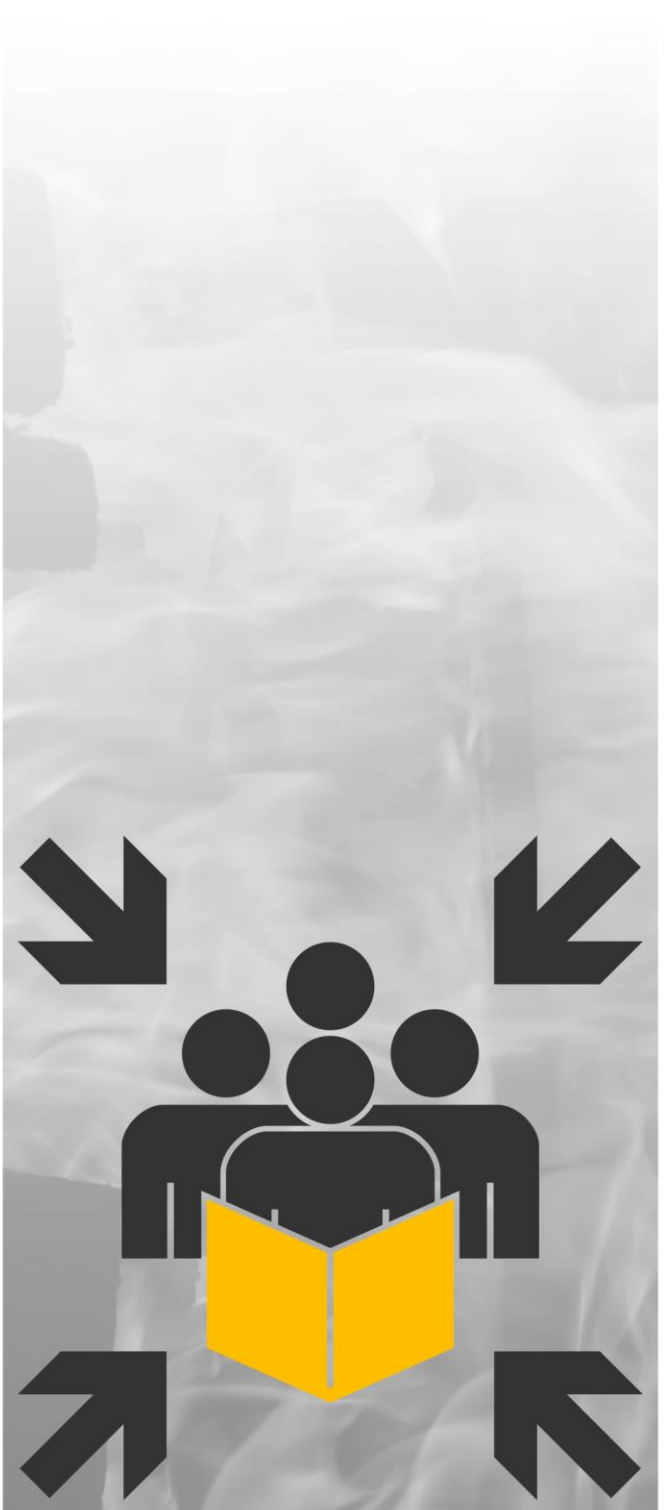




ČVUT

FSv



**sborník 3. studentské  
vědecké konference**

**Zapálení2020**

Fakulta stavební | 18.–19. 6. 2020  
ČVUT v Praze | [pozar.fsv.cvut.cz](http://pozar.fsv.cvut.cz)



**ČVUT**  
**UCEEB**

[www.uceeb.cz/pozarni-laborator](http://www.uceeb.cz/pozarni-laborator)

## POŽÁRNÍ VÝZKUM V UCEEB

Nabízíme studentům spolupráci na požárním výzkumu v rámci zajímavých a přínosných diplomových i doktorských prací.

Požární laboratoř FireLAB umožňuje provádět požární zkoušky od velmi malých měřítek až po scénáře velmi blízké reálným situacím. Zkoušet lze v podmínkách interiéru (uvnitř požární komory) nebo mimo komoru. Případně lze provádět zkoušky i v exteriéru. Součástí vybavení laboratoře je pec miniFUR pro středněrozměrové indikativní zkoušky požární odolnosti.

**Požární laboratoř** je unikátní pracoviště pro výzkum:

- dynamiky a rozvoje počátečních fází požáru v uzavřeném prostoru (místnost)
- reakce na oheň specifických výrobků pro povrchové úpravy stěn a stropů a jejich přímý vliv na rozvoj požáru a prostorové vzplanutí (flashover)
- hoření předmětů uvnitř i vně požární komory
- chování a degradace stavebních výrobků a konstrukčních prvků při požáru apod.



**ČVUT**  
**FSv**



**POŽÁRNÍ BEZPEČNOST NA STAVEBNÍ FAKULTĚ**  
<http://pozar.fsv.cvut.cz>

Na Fakultě stavební ČVUT v Praze lze studovat bakalářský a magisterský obor zaměřený na požární ochranu budov. Absolventi se stanou žádanými inženýry se znalostí stavební problematiky a 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 obor** **INTEGRÁLNÍ BEZPEČNOST STAVEB**

- pokročilá řešení v požárního inženýrství
- provozy se zvýšeným požárním rizikem
- analýza rizik budov a provozů
- stavební a požární legislativa
- věda a výzkum požární bezpečnosti





**sborník 3. studentské  
vědecké konference**

**Zapálení2020**

Fakulta stavební | 18.–19. 6. 2020  
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., Koubková I., Pechová, P., Sokol, Z., Netušil, M., Najmanová H., Benýšek, M., Velebil, L., Zikmundová, M., 2020**

**ISBN 978-80-01-06711-6**

## PŘEDMLUVA

Třetí ročník konference Zapálení2020 pořádaný ve dnech 18. a 19. června 2020 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 diskusi Zapálených – studentů, pedagogů i praktiků.

Prostor pro aktivní účast na konferenci dostávají naši nejstarší magisterští studenti 5. ročníku oboru (Q) Integrovaná bezpečnost staveb, kteří budou prezentovat výsledky své preddiplomní 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 bakalářského studijního oboru (Q) Požární bezpečnost staveb, ale i studenti ostatních oborů. Studentům bude dán prostor se vzájemně seznámit a poznat možnosti svého budoucího zaměření na našem magisterském studiu. Z řad pedagogů jsou zváni zejména vedoucí preddiplomních prací a vyučující na oboru (Q), kteří tak budou mít možnost sledovat zadávaná témata jiných kateder a zároveň mít možnost studentům poradit. Z řad praktiků jsou zváni zástupci Hasičského záchranného sboru ČR, absolventi oboru (Q) a firmy z oboru.

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

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

Studentská vědecká konference Zapálení2020 vznikla za podpory interního projektu SVK č. 03/20/F1 na ČVUT v Praze pro rok 2020. Zapálení tímto srdečně děkuje!

**kolektiv vedoucích preddiplomních prací**



## OBSAH

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

### SEKCE A | POŽÁRNÍ BEZPEČNOST STAVEB

HRDINA, O.   Experimentální zjišťování Požární otevřenosti fasád.....	9
BAIČEV, M.   Chování fasádních systémů při velkorozměrové požární zkoušce.....	13
DVOŘÁK, D.   Požární těsnění prostupů potrubí lehkým ocelovým střešním pláštěm.....	17
SPÁČIL, M.   Rychlost proudění plynů v podmínkách požáru.....	21
VERUNÁČOVÁ, T.   Hasicí účinnost vodní mlhy.....	25
VÁLKA, J.   Analýza vyhlášení požárního poplachu v ubytování pro seniory.....	29

### SEKCE B | NAVRHOVÁNÍ KONSTRUKCÍ ZA POŽÁRU

TÁBORSKÁ, M.   Materiály na bázi dřeva k požární ochraně ocelových konstrukcí.....	35
VNENKOVÁ, D.   Požární odolnost mechanicky spojovaného křížem vrstveného dřeva.....	39
ZEMAN, J.   Modelování spojů s vloženou ocelovou deskou za požáru.....	43
SCHINDLEROVÁ, P.   Analýza styčnickového spoje provedeného pomocí desky s oboustranně prolisovanými trny vložené mezi dřevěné prvky.....	47
DOBROVOLNÝ, P.   Částečně požárně chráněné konstrukce.....	51
BITTERMANN, P.   Prokázání požární odolnosti ocelových regálů a vestaveb ve velkoplošných skladovacích halách.....	55
VACÍKOVÁ, A.   Numerické modelování zděné skleněné stěny při požáru.....	59
ZAKOUREIL, M.   Požární odolnost lepených konstrukčních spojů skleněných a kovových konstrukcí.....	63
SVOBODOVÁ, N.   Analýza zónových modelů požáru a jejich aplikace při návrhu konstrukcí.....	67
PETERKA, J.   Modelování 1d transportu tepla ve vícevrstevných prvcích vystavených požáru s využitím metody konečných diferencí a různých metod časové diskretizace.....	71
PRAŽÁKOVÁ, V.   Modelování 2d transportu tepla v prvcích vystavených požáru s využitím metody konečných diferencí.....	75
BENÁKOVÁ, D.   Kombinovaný účinek požáru a výbuchu na betonové konstrukce.....	79
TOMÁŠ, J.   Metody měření pórového tlaku v betonu vystaveném vysokým teplotám.....	83
SVOBODOVÁ, V.   Aplikace různých modelů požáru pro posouzení konstrukcí.....	87
BOUŠOVÁ, J.   Variabilita a náhodnost vstupních parametrů požárních modelů a jejich vliv na průběh požáru a požární odolnost konstrukcí.....	91

### SEKCE C | AKTIVNÍ POŽÁRNÍ OCHRANA

KAPLAN, D.   Lineární kouřové hlásiče.....	97
KALOČAI, T.   Nasávací hlásiče kouře.....	101
LORENCOVÁ, S.   Detekce požáru v historických objektech.....	105
HUMR, M.   Analýza vnějších odběrních míst a nástupních ploch.....	109
ZÁMIŠ, J.   Porovnání návrhových parametrů sprinklerových hlav v administrativní budově.....	113
PABOUČEK, P.   Stabilní hasicí zařízení sprinklerového typu ve skladových prostorách.....	117
HRDÝ, L.   Srovnání stabilního hasicího zařízení mlhového a sprinklerového.....	121

## TABLE OF CONTENTS

### SECTION A | FIRE SAFETY OF BUILDINGS

HRDINA, O.   Experimental assessment of facades radiation separation distances .....	9
BAIČEV, M.   Behavior of façade systems during large scale fire test .....	13
DVOŘÁK, D.   Fire sealing system of “MEP” penetrations trough built up roof with trapezoidal profile sheet shell .....	17
SPÁČIL, M.   Measurement gas flow velocity in the test conditions of fire.....	21
VERUNÁČOVÁ, T.   Fire extinguishing efficiency of water mist.....	25
VÁLKA, J.   Fire alarm analysis in accommodation for elderly .....	29

### SECTION B | STRUCTURAL DESIGN IN FIRE

TÁBORSKÁ, M.   Wood-based materials for fire protection of steel structures .....	35
VNENKOVÁ, D.   Fire resistance of mechanically jointed cross laminated timber.....	39
ZEMAN, J.   Modelling of steel to timber joints exposed to fire .....	43
SCHINDLEROVÁ, P.   Analysis of timber joint with double-sided punched metal plate fastener embedded between timber elements.....	47
DOBROVOLNÝ, P.   Partially fire-protected structure.....	51
BITTERMANN, P.   Evaluation of the steel racks and secondary structures inbuilt in the large storagehouses in terms of fire safety .....	55
VACÍKOVÁ, A.   Numerical modelling of glass brick wall exposed to fire .....	59
ZAKOUREIL, M.   Fire resistance of load-bearing adhesive joints for glass and metal structures .....	63
SVOBODOVÁ, N.   Analysis of zone fire models and their application in structural design .....	67
PETERKA, J.   Modeling of 1d heat transport in multilayer elements exposed to fire using the final difference method and different time discretization methods .....	71
PRAŽÁKOVÁ, V.   Modeling heat transport in 2d elements exposed to fire using the finite difference method .....	75
BENÁKOVÁ, D.   Combination of the effect of fire and blast on concrete structures.....	79
TOMÁŠ, J.   Methods of measurement of pore pressure in exposed concrete.....	83
SVOBODOVÁ, V.   Application of different fire models for structural assessment .....	87
BOUŠOVÁ, J.   Variability and randomness of input parameters of fire models and their influence on fire process and fire resistance of structures.....	91

### SECTION C | ACTIVE PROTECTION AGAINST FIRE

KAPLAN, D.   Beam smoke detectors .....	97
KALOČAI, T.   Aspirating smoke detectors .....	101
LORENCOVÁ, S.   Fire detection in historical buildings .....	105
HUMR, M.   Analysis of external supply source and ascending areas.....	109
ZÁMIŠ, J.   Comparison of design parameters of sprinklers in office building.....	113
PABOUČEK, P.   Fixed sprinkler type fire extinguishers in storage areas.....	117
HRDÝ, L.   Differences between mist fire extinguishing systems and sprinkler fire extinguishing systems.....	121







## EXPERIMENTÁLNÍ ZJIŠŤOVÁNÍ POŽÁRNÍ OTEVŘENOSTI FASÁD

### EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF FACADES RADIATION SEPARATION DISTANCES

**Bc. Ondřej Hrdina**

#### *Abstract*

*Separation distances are an integral part of the design of buildings from the point of view fire safety. This article describes the issue of determining protected and unprotected areas of facade systems, which by their nature have a major influence on the surrounding development. To evaluate the “protectness” of the façade, a medium-scale experiment is proposed. This article describes the fire test methodology and measurement devices. CFD models in FDS software have been used for preliminary design, which will continue to serve as the basis for the design of the fire test.*

**Key words:** *protected area; unprotected area; fire separation distances; fire test; radiation; façade*

#### ÚVOD

V současné době při projektování objektů z hlediska požární bezpečnosti je důležitou složkou stanovení odstupových, popř. bezpečnostních vzdáleností a vymezení požárně nebezpečného prostoru. Požárně nebezpečný prostor má zásadní vliv na okolní zástavbu, a to zejména v zamezení šíření požáru na okolní budovy, volné sklady či pozemky ve vlastnictví jiného majitele.

Nepopiratelný vliv na odstupové vzdálenosti má požární otevřenost konstrukčních částí v obvodových stěnách budovy. V požárním kodexu českých technických norem jsou definovány tři typy požární otevřenosti. Je zde požárně uzavřená plocha, od níž se odstupové vzdálenosti nestanovují, dále částečně požárně otevřená plocha, která již zvětšuje odstupové vzdálenosti na základě konstantní hustoty tepelného toku, a nakonec zcela požárně otevřená plocha, která má zásadní vliv na stanovení odstupových vzdáleností a odvíjí se od požárního rizika přilehlého požárního úseku. K zatřídění do dílčích typů požární otevřenosti jsou v českých technických normách uvedeny dva postupy: Prvním postupem je stanovení množství uvolněného tepla z 1 m<sup>2</sup> plochy obvodové stěny druhu DP1 nebo DP2, které mají vnější povrch z výrobků třídy reakce na oheň B až D. Druhým postupem je stanovení hustoty tepelného toku na lici obvodové stěny. Podle kritérií, které jsou uvedeny např. v článku 8.4.5 normy ČSN 73 0802 [1], pak mohou být konstrukční části zatříděny do typu požární otevřenosti. Nicméně zmíněné postupy stanovení požární otevřenosti jsou pouze teoretické, a to z důvodu vstupujících hodnot nebo pravděpodobnosti scénáře. Pokud bude uvažováno množství uvolněného tepla z 1 m<sup>2</sup> plochy, tak je předpoklad, že hoří všechny hořlavé výrobky obsažené v konstrukci ve stejný okamžik a není zohledněno odhořívání materiálu v čase. Pokud bude tedy uvažována hustota tepelného toku jako druhý možný postup, tak do výpočtu vstupuje např. výhřevnost materiálu, která je v českých technických normách stanovena pro různé látky, ale byla stanovena pomocí dokonalého spalování materiálu, které je při hoření např. dřevěného obkladu nepravděpodobné.

Pokud bude hledanou veličinou přesná hustota tepelného toku, která se na lici obvodové stěny nebo fasády může objevit, tak nejlepším řešením bude konstrukci vystavit požární zkoušce. V České republice jsou dvě zkušební normy fasádních systémů, nicméně ani jedna z norem nemá ve svém znění zmínku o požární otevřenosti. Řešená práce tedy bude směřovat k možnému návrhu požární zkoušky fasádních systémů, ve které by byla možnost zjistit mimo jiné i požární otevřenost. Požární otevřenost byla donedávna řešena například podle požární zkoušky z ČSN 73 0855 [2], kde byla měřena hustota tepelného toku na straně nevystavené požáru pro obvodové stěny. I v současnosti hodnocení požární otevřenosti vychází ze zkoušek požární odolnosti, v nichž se ovšem měří teploty na neexponovaných stranách vzorku. Toto řešení není ideální vzhledem k tomu, že v reálné situaci jde v případě požární otevřenosti o reakci fasády na přímý kontakt s plamenem – při požární zkoušce by tedy měřidla a zdroj

tepelného namáhání měly být na stejné straně zkušební vzorku. Výzvou v takovém případě je oddělit tepelný výkon produkovaný hořákem a výkon generovaný zkušebním vzorkem.

## MODEL STŘEDNĚROZMĚROVÉ ZKOUŠKY

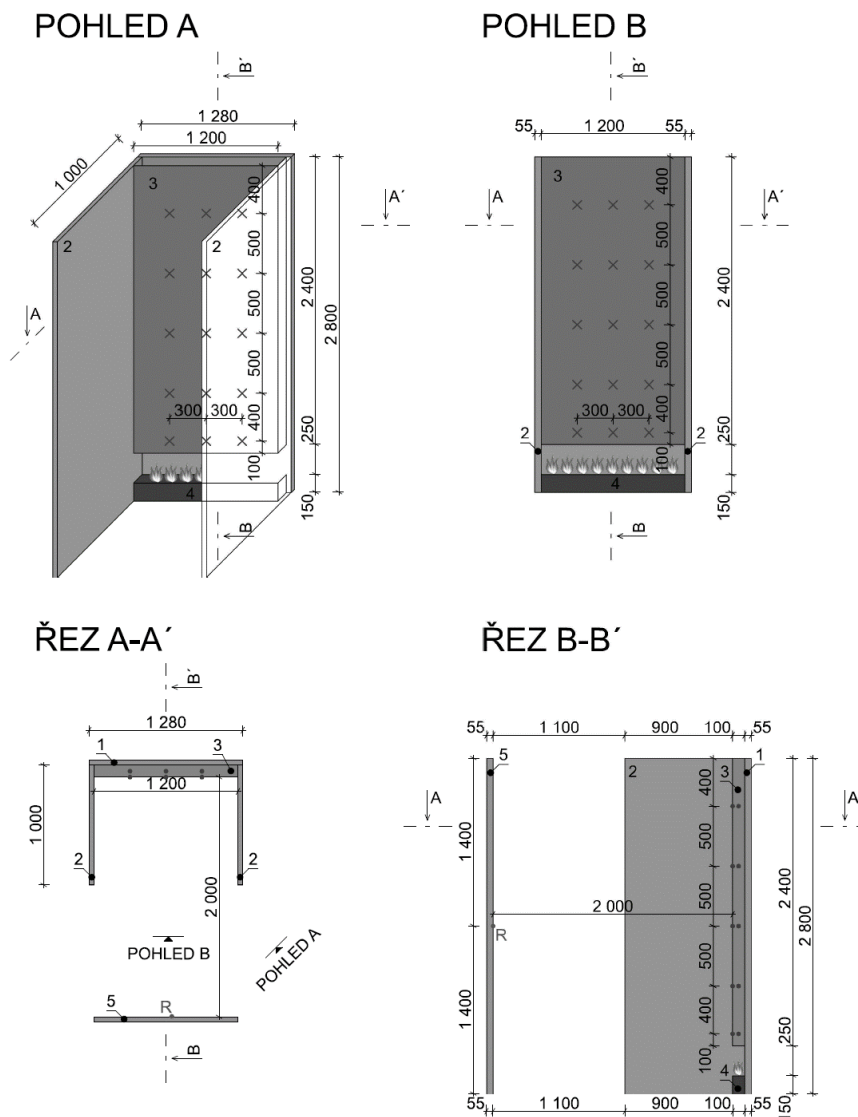
Pro návrh požární zkoušky bylo využito stávající tuzemské středněrozměrové požární zkoušky ČSN ISO 13785-1 [3] s úpravami geometrie, výkonu hořáku a měřících zařízení. Vzorek je narozdíl od této zkoušky přímý, složený pouze z fasádního systému, který je ohraničený bočními nehořlavými stěnami, tak aby hořák umístěný pod fasádním vzorkem sálal přímo na fasádu a sálavé teplo nebylo odnímáno okolím z boční strany. Vzhledem k tomu, že fasádní systémy jsou trvale vystaveny vnějšímu prostředí, lze tedy i z hlediska působení uvažovat vnější požár, který je definovaný v ČSN EN 1363-2 [4]. Maximální teplota křivky vnějšího požáru je 680 °C a záměrem této teploty je snaha se co nejvíce přiblížit skutečnému požáru, kterému může být fasáda vystavena. Výkon hořáku, který je dle ČSN ISO 13785-1 [3] stanoven na 100 kW bylo nutné upravit tak, aby se teploty na vzorku pohybovaly okolo hodnoty maximální teploty vnějšího požáru. Pro měření těchto teplot byly na zkušební těleso přidány termočlánky umístěné 0,1 m od spodního líce fasády. Geometrie požární zkoušky je znázorněna na Obr. 1.

Požární zkoušku tvoří rám tvaru „U“, zhotovený z ocelových profilů jákl 40 × 40 mm. Rám se skládá z hlavního ramene a dvou bočních ramen. Rozměrově rám vychází z požární zkoušky pro zkoušení fasád ČSN ISO 13785-1 [3] a tedy, 1,2 × 1,0 × 2,8 m (šířka hlavního ramene × šířka bočních ramen × výška). Krytí ocelového rámu je řešeno pomocí cementovláknitých desek tl. 15 mm v jedné vrstvě. Dále je těleso samotné, které se skládá pouze z hlavního křídla o rozměrech 1,2 × 2,4 m. Zkušební těleso je umístěno ve výšce 0,4 m nad podlahou. Pod zkušebním tělesem je umístěný hořák o rozměrech 1,2 × 0,15 × 0,1 m, který bude simulovat požár. Další část je stěna nebo konstrukce, na které je umístěn radiometr ve vzdálenosti 2,0 m od líce zkušební tělesa. Typ a umístění termočlánku principiálně vychází z normy ČSN ISO 13785-1 [3] s výjimkou termočlánků navržených pro sledování teplot křivky vnějšího požáru. Termočlánky budou umístěny ve vzdálenostech 0,1; 0,5; 1,0; 1,5 a 2,0 m od spodního líce fasády a dále v horizontálním dělení po 0,3 m. Nově navržené měřící zařízení je radiometr umístěný 2,0 m od líce fasády ve výšce 1,4 m od podlahy, který bude měřit hustotu tepelného toku od fasády.

## ZDROJ POŽÁRU

Vzhledem k časové a finanční náročnosti požární zkoušky byla nejprve provedena simulace v softwaru FDS (Fire Dynamics Simulator), který využívá model typu CFD (Computational Fluid Dynamics) z důvodu zjištění potřebného výkonu hořáku. Model využitý pro simulaci byl převzat z navržené požární zkoušky, ale pro účelnost byla geometrie redukována na oblast zájmu. Oblast zájmu byla definována zkušebním vzorkem ohraničeným stěnami držáku a ve vzdálenosti 2,0 m od líce fasády byla stěna, na které byl umístěn radiometr. Vzhledem ke složitosti výpočtu byl počet buněk nastaven tak, aby výsledky byly co nejrelevantnější a zároveň nebyl výpočetní čas příliš dlouhý. Buňky byly o rozměrech 75 milimetrů ve směru osy X, 100 milimetrů ve směru osy Y a 50 milimetrů ve směru osy Z. Výpočetní síť tedy tvořilo celkem 18 816 buněk. První model využitý pouze pro stanovení výkonu hořáku byl složen z nehořlavých a inertních materiálů, tak aby nebyly teploty na termočláncích ovlivněny použitým materiálem.

Počítačové simulace potvrdily, že tepelný výkon dle ČSN ISO 13785-1 [3], tedy 100 kW, nedokáže na fasádě generovat kýžené teploty a je nutné jej zvýšit. Potřebným výkonem hořáku pro teploty odpovídající maximu křivce vnějšího požáru je 300 kW.



### LEGENDA:

- 1 HLAVNÍ RAMENO DRŽÁKU ZKUŠEBNÍHO TĚLESA
- 2 BOČNÍ RAMENO DRŽÁKU ZKUŠEBNÍHO TĚLESA
- 3 HLAVNÍ KŘÍDLO ZKUŠEBNÍHO TĚLESA
- 4 HOŘÁK
- 5 STĚNA DRŽÁKU RADIOMETRU
- x• TERMOČLÁNKY
- R• RADIOMETR

Obr. 1 Schéma navržené požární zkoušky  
Fig. 1 Scheme of the proposed fire test

### VLIV HOŘÁKU NA MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

Jak bylo řečeno výše, pokud bude vzorek vystaven přímému požáru, nastává problém s měřením hustoty tepelného toku, která je v tu chvíli kombinací sálavého tepla fasádního vzorku a sálavého tepla hořáku umístěného pod vzorkem. Vliv hořáku na hodnotu sálavého tepla je nutno eliminovat, v případě konstantního výkonu hořáku tedy nejlépe odečíst hodnoty zjištěné z referenční zkoušky.

První model je pro tato data nepřesný z důvodu inertního materiálu použitého na fasádu, který je vzhledem k okolnímu prostředí netečný, nepřijímá tedy teplo a na výsledku se žádným způsobem nepodílí. Byl tedy použit druhý model, kde namísto inertní fasády byla nadefinována fasáda, kterou tvořil kontaktní zateplovací systém s tepelným izolantem z minerální vlny. Druhý model je tedy totožný s prvním modelem s výjimkou fasády, kterou tvořily materiály běžně používané. Z hlediska požární otevřenosti



## CHOVÁNÍ FASÁDNÍCH SYSTÉMŮ PŘI VELKOROZMĚROVÉ POŽÁRNÍ ZKOUŠCE

### BEHAVIOR OF FAÇADE SYSTEMS DURING LARGE SCALE FIRE TEST

**Bc. Matěj Baičev**

#### **Abstract**

*The properties of façades and façade systems have recently become a frequently discussed topic in connection with the field of fire protection. Important fact is that there is no uniform testing and classification standard for testing façade systems within the European Union. Each European Union member state is currently testing façade systems according to its own test standard, which is a complication for manufacturers and designers. The solution could be a new testing and classification standard for all member states proposed by the European Commission. The basis of this standard should be the British BS 8414 for simulation of large effect of fire and the German DIN 4102–20 for simulation of medium effect of fire. In this article is an analysis of the proposed method with large effect of fire using the CFD model. The result is a comparison of the calculated data for the reference model without ventilated cavity and with ventilated cavity.*

**Key words:** *façade; fire safety; temperature; ventilated cavity; CFD model; FDS*

#### **ÚVOD**

Fasádní systémy tvoří z mnoha hledisek klíčovou část obálky budov. Svými vlastnostmi a parametry ovlivňují fasády kvalitu vnitřního prostředí, energetickou náročnost provozu a v neposlední řadě estetický a architektonický výraz budovy. Svými vlastnostmi se liší v oblasti použitých materiálů, statickým řešením, montážní technologií a vhodností pro konkrétní typ realizovaného objektu (Obr. 1).



*Obr. 1 Kontrast a rozmanitost moderních fasádních systémů  
Fig. 1 Contrast and variety of modern façade systems*

V současnosti se na našem území i ve světě nachází velké množství výrobců produkujících široké spektrum fasádních systémů, které nám umožňují rozmanité a netradiční řešení architektonických a funkčních požadavků na realizované fasády. Mezi celou řadu funkčních požadavků kladených na fasádní systémy patří mimo jiné i požární bezpečnost. V současnosti se v ČR provádí požární zkoušky fasádních systémů ve středním měřítku dle ČSN ISO 13785–1 a ve velkém měřítku dle ISO 13785–2. V případě velkorozměrové zkoušky jsou zásadním problémem chybějící zkušební kritéria. V blízké době by se však tato situace měla změnit. Dle chystaného návrhu evropské komise by měla ve všech členských

státech EU platit nová zkušební norma pro velkorozměrové požární zkoušky ve dvou dostupných variantách. Varianta požární zkoušky založená na principech německé DIN 4102–20 simulující střední účinek požáru a varianta založená na principech britské BS 8414 simulující velký účinek požáru. Pro další výzkum byla zvolena zkouška s velkým účinkem požáru, na kterou byly sestaveny dva CFD modely v programu FDS verze 6.7.4. Prvním je model referenční zkoušky s nehořlavým povrchem, bez další obkladů a vrstev. Druhý model je oproti referenční zkoušce rozšířen o předsazený nehořlavý obklad „nulové“ tloušťky pro simulaci větrané dutiny. Pomocí zmíněných dvou modelů je záměrem rámcově představit chování požáru během této zkoušky. Mezi hlavní sledované parametry patří teplota, tepelný tok, rychlost proudění plynu, nebo chování plamene sledované ve vizualizačním programu Smokeview.

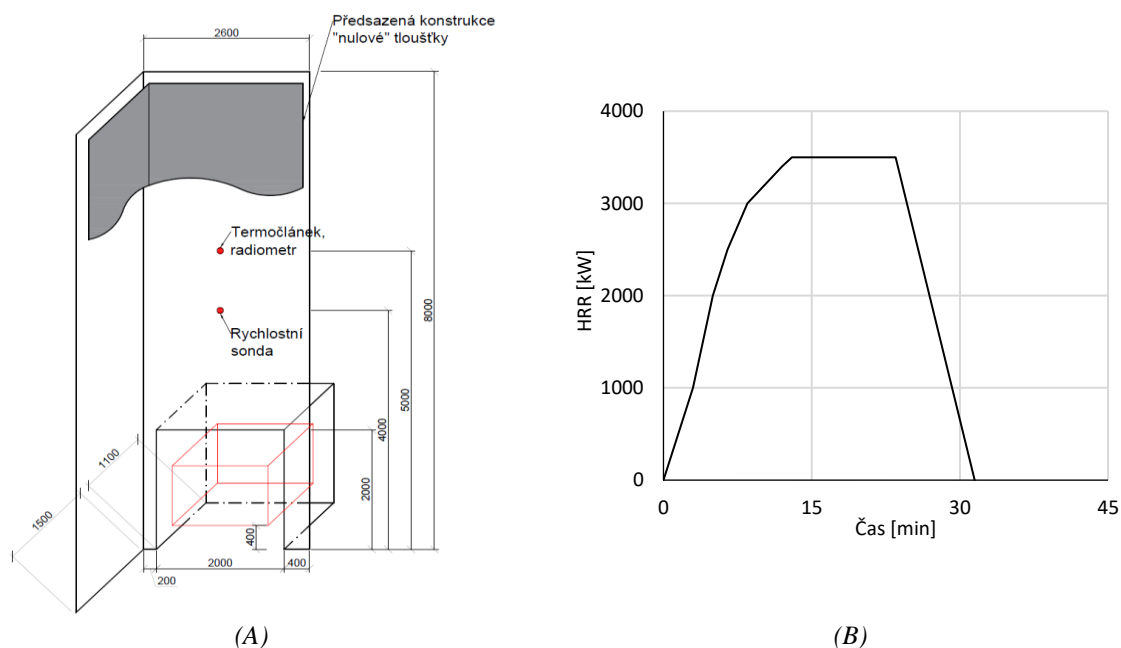
## VELKOROZMĚROVÁ POŽÁRNÍ ZKOUŠKA S VELKÝM ÚČINKEM POŽÁRU

Zkušební metoda navrhovaná evropskou komisí musí být použitelná pro různé typy fasád, tj. například pro ETICS, lehké obvodové pláště, větrané fasády, dřevěné fasády, strukturální izolační panelové systémy, sendvičové panelové systémy, systémy obkladů z kovových kompozitních materiálů apod.

Geometricky má zkušební zařízení půdorysný tvar písmene „L“, kde stěna hlavního křídla měří 2,6 m na délku a 8 m na výšku. Vedlejší křídlo má na délku 1,5 m a na výšku 8 m (Obr. 2A). Spalovací komora musí být umístěna na hlavním křídle tak, aby se oheň mohl šířit skrz otvor. Horní hrana komory musí být  $2 \pm 0,1$  m nad úrovní základny a komora musí být široká  $2 \pm 0,1$  m a hluboká  $1 \pm 0,1$  m. Materiál použitý na vyhotovení komory musí být schopen odolat účinkům požáru tak, aby nedošlo ke ztrátě celistvosti a stability. Zdrojem požáru je dřevěná hranice o celkové hmotnosti 400 kg ze dřeva o definovaných vlastnostech. Celkový rozměr hranice je 1,5 x 1 x 1 m [1].

## VSTUPNÍ DATA VÝPOČTU

Pro simulaci požární zkoušky v programu FDS byla sestavena základní geometrie zkoušeného modelu (Obr. 2A) a byly zadány parametry požáru v čase, se kterými software dále počítal. Pro tento účel byl použit již publikovaný graf rychlosti uvolňování tepla HRR [2] (Obr. 2B). Oba modely jsou rozděleny na dvě výpočetní sítě, u výpočetní sítě spalovací komory velikost kontrolního objemu  $0,05 \times 0,1 \times 0,1$  m. Zbytek modelu má výpočetní síť s velikostí kontrolního objemu  $0,1 \times 0,1 \times 0,1$  m.



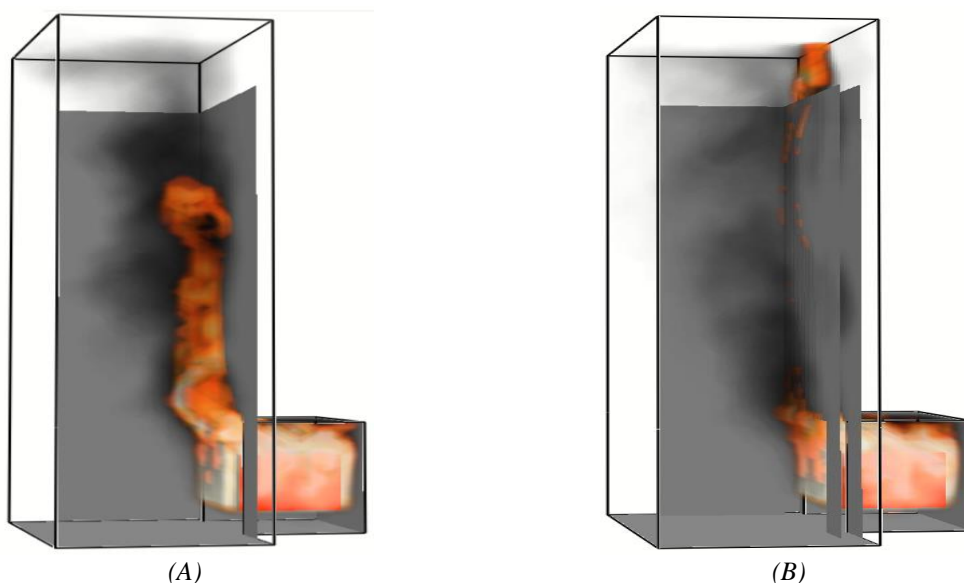
Obr. 2 (A) Geometrie zkušebního modelu s polohou měřících zařízení; (B) Použitý graf rychlosti uvolňování tepla dřevěné hranice [2]

Fig. 2 (A) Geometry of the test model with the position of the measuring devices; (B) Used graph of the heat release rate of the wooden crib [2]



## POPIS ZKOUMANÝCH MODELŮ A MĚŘENÝCH VELIČIN

Pro počáteční zkoumání byla zvolena nehořlavá zkušební sestava bez další vrstev a obkladů (Obr. 3 (A)), která dále bude sloužit jako reference pro další porovnávání výsledků. Měřenými veličinami určenými pro další vyhodnocení a porovnání se zkušební sestavou s větranou dutinou jsou teplota měřená pomocí termočlánku ve výšce 5 m, hustota tepelného toku měřená pomocí radiometru umístěného do výšky 5 m a rychlost proudění plynů měřená pomocí rychlostní sondy umístěné do výšky 4 m (Obr. 2 (A)). I v případě sestavy s provětrávanou dutinou (Obr. 3(B)) byl použit nehořlavý materiál, jako u referenční sestavy bez větrané dutiny. Základní geometrie referenční nehořlavé zkušební sestavy byla rozšířena o představený konstrukci (obklad) „nulové“ tloušťky pro simulaci provětrávané dutiny šířky 0,2 m. Měřenými veličinami jsou i nadále teplota, hustota tepelného toku a rychlost proudění plynu měřené pomocí zařízení umístěných do stejné výšky jako u referenčního modelu.

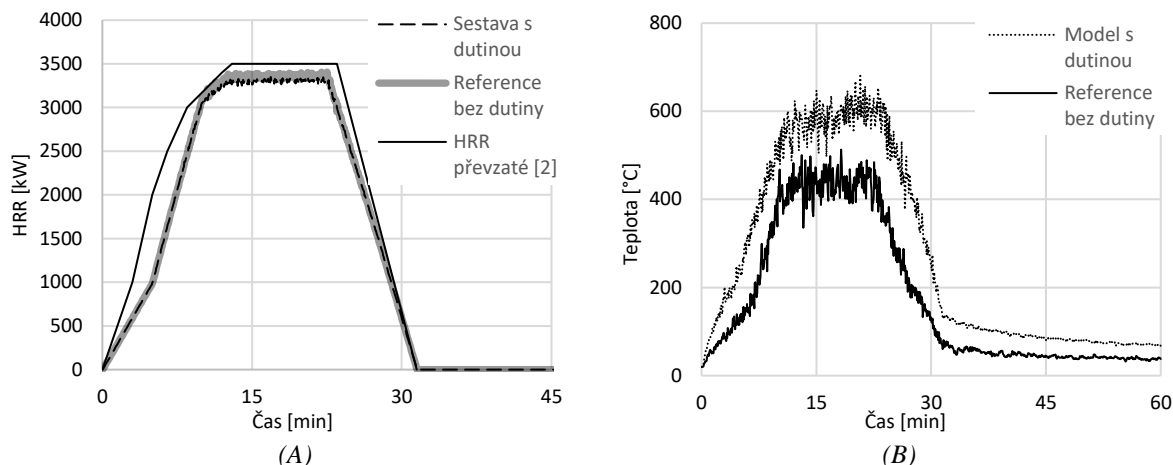


Obr. 3 Grafický výstup z programu Smokeview (A) referenční nehořlavá sestava bez větrané dutiny; (B) sestava s větranou dutinou

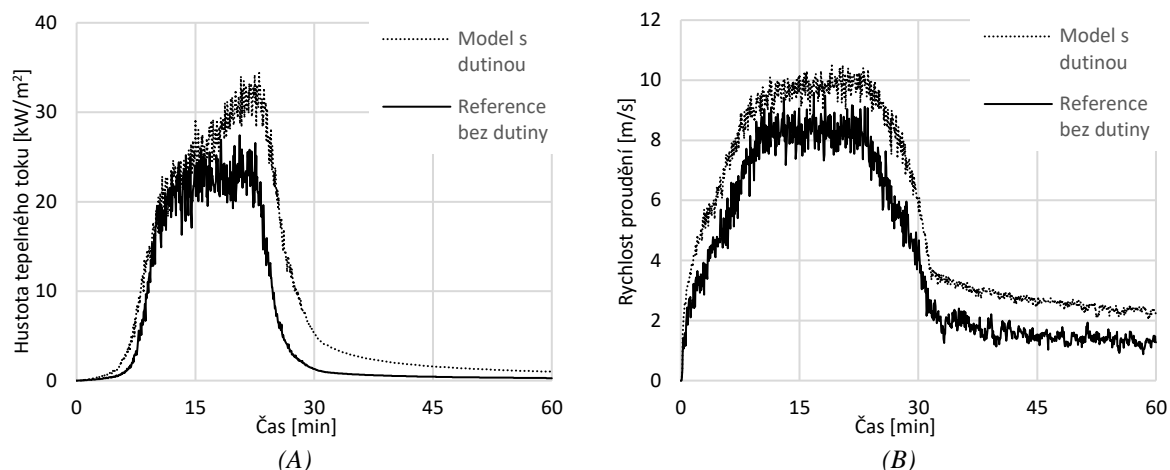
Fig. 3 Graphic output from Smokeview program (A) reference non-flammable specimen without ventilated cavity; (B) specimen with ventilated cavity

## POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

Na grafu (Obr. 4 (A)) je znázorněno porovnání rychlostí uvolňování tepla jednotlivých modelů s rychlostí uvolňování tepla převzatou z [2]. Znázorněné hodnoty se zásadně neliší, křivky mají téměř stejný tvar, nicméně je zde vidět že dosahují menších maximálních hodnot než zadané hodnoty, což je dáno vlivem útlumu v komoře. Z grafů (Obr. 4 (B), Obr. 5 (A) a Obr. 5(B)) je zřejmé, že je vliv větrané dutiny na rozvoj a intenzitu požáru zásadní. Všechny měřené veličiny dosahovaly vyšších hodnot u modelu s větranou dutinou. Nejmarkantnější rozdíl v naměřených hodnotách zaznamenal termočlánek (Obr. 4. (B)). Zatímco teploty u reference dosahovaly řádově 400–500 °C, u modelu s větranou dutinou byly mezi 25. a 30. minutou měřeny teploty mezi 600–650 °C. Od 25. minuty naměřené teploty klesají a od 35. minuty jsou nižší než 100 °C. Hodnoty naměřené radiometrem se přibližně do 15. minuty téměř neliší, v 15. minutě nastává zlom, a zatímco hodnoty měřené u reference stagnují a pohybují se stále v rozmezí 20–25 kW/m<sup>2</sup>, tak hodnoty měřené u modelu s dutinou narůstají a ve 20. nabývají hodnot mezi 30–35 kW/m<sup>2</sup>. Od 25. minuty obě hodnoty klesají a v minutě 30. nabývají téměř nulových hodnot. Rychlost proudění plynů je v případě reference mezi 7–9 m/s, a to přibližně mezi 12. a 25. minutou. V tom samém čase se rychlost proudění plynů u modelu s dutinou pohybuje 8–10 m/s. Z výše zmíněných čísel vyplývá, že má větraná dutina sama o sobě zásadní vliv na rychlost rozvoje a intenzitu požáru a že v kombinaci s hořlavým obkladem může bez dalších opatření vést k ničivým požárům budov.



Obr. 4 Srovnání: (A) průběhů rychlosti uvolňování tepla (HRR); (B) průběhu teplot  
 Fig. 4 Comparison of the: (A) course of heat release rate (HRR); (B) course of temperature



Obr. 5 Srovnání průběhů sledovaných veličin: (A) hustota tepelného toku; (B) rychlost proudění plynu  
 Fig. 5 Comprison of monitored quantities: (A) radiative heat flux; (B) velocity of gas

## ZÁVĚR

Současné nejednotné zkušebnictví napříč EU bude v blízké budoucnosti nahrazeno jednotnou zkušební a klasifikační normou pro velkorozměrové požární zkoušky ve variantě se středním a velkým účinkem požáru. Požární zkouška se středním účinkem požáru bude vycházet z německé DIN 4102–20, požární zkouška s velkým účinkem požáru z britské BS 8414. Důležitým krokem bude následná implementace národních požadavků do požárních norem řady ČSN 73 08xx, v jakých případech staveb tyto zkoušky požadovat. Předložený článek měl poukázat na důležitost řešeného tématu a na zásadní vliv větraných dutin na rozvoj a intenzitu požárů fasádních systémů.

## LITERATURA

- [1] HOFMANN-BÖLLINGHAUS et al, *Development of a European approach to assess the fire performance of facades*. 2018. ISBN 978-92-79-88000-1.
- [2] DRÉAN, Virginie, Bertrand GIRARDIN, Eric GUILLAUME a Talal FATEH. Numerical simulation of the fire behaviour of facade equipped with aluminium composite material-based claddings-Model validation at large scale. *Fire and Materials* [online]. 2019, **43**(8), 981–1002. ISSN 0308-0501, 1099-1018. Dostupné z: doi:10.1002/fam.2759

## POŽÁRNÍ TĚSNĚNÍ PROSTUPŮ POTRUBÍ LEHKÝM OCELOVÝM STŘEŠNÍM PLÁŠTĚM

### FIRE SEALING SYSTEM OF “MEP” PENETRATIONS THROUGH BUILT UP ROOF WITH TRAPEZOIDAL PROFILE SHEET SHELL

**Bc. Dominik Dvořák**

#### *Abstract*

*The usage of built up roofs with trapezoidal steel roof shell, to this day, is more frequent. Czech technical standards set requirements for construction fire resistance and how to seal penetrations in case of fire outbreak. When choosing appropriate system method for fire sealing in addressed roof, the challenge comes in absence of accredited system for fire sealing, as there are currently none available at the market. The first part of this article addresses problems in fire sealing methods of combustible pipe penetrations through trapezoidal profile sheet, such as critical spots and its possible approaches. Second part discusses fire experiment preparation, in which three choosed details will be tested in medium-scale fire experiment, using furnace for indicative fire resistance tests, developed by UCEEB CTU in Prague. The experiment outcomes will serve as foundation for designing new, more effective and less time-consuming system of fire sealing.*

**Key words:** fire sealing; combustible pipe; built up roof; trapezoidal profile sheet, MEP penetrations; flat roof

#### ÚVOD

Všechny stavby bez výjimky mají v současnosti nějaký druh instalací technického zařízení, ať už se jedná o rozvody kabelů, kanalizace či vzduchotechnického potrubí. Instalace mohou být rozděleny dle druhu na kabelové nebo potrubní, dle materiálu na hořlavé nebo nehořlavé a dle provozu na zavodněné a nezavodněné. Pokud technické zařízení prochází skrz požárně dělící konstrukci, vzniká v místě prostupu požární most, který pokud není řádným způsobem utěsněn na shodnou hodnotu požární odolnosti dělící stěny, představuje oslabení požárně dělící konstrukce a možný způsob rozšíření požáru do sousedního požárního úseku nebo vnější konstrukce [1].

Pokud je v požárně bezpečnostním řešení stanoven požadavek na požární odolnost střešního pláště, pak veškeré prostupy instalací musí být ucpány pomocí systémové požární ucpávky nebo pomocí zednického zapravení. Použití trapézového plechu znemožňuje využití zednického zapravení, a je tedy nutná instalace systémové ucpávky [2]. Nejnepríznivější situace z hlediska požární bezpečnosti nastává, pokud je prostup instalace tvořen z hořlavého nezavodněného potrubí ve svislém směru, jelikož teplo akumulované pod stropní konstrukcí výrazněji namáhá prostup než prostup procházející skrz stěnu. Plastové potrubí se vytaví a ponechá zcela volný prostor pro rozšíření požáru, oproti nehořlavému potrubí navíc může svým hořením přispívat k rozšíření požáru a dojde k obnažení případných hořlavých vrstev nad požární konstrukcí. Příkladem takové nepříznivé instalace může být střešní vpust' ve střešním plášti [3].

#### RELEVANCE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU

Při výběru systémové požární ucpávky pro střešní plášť s trapézovým plechem nastává problém, jelikož v současné době nejsou pro trapézový plech bez nabetonávky na českém trhu dostupné akreditované systémové požární ucpávky prostupů potrubí. V praxi je tento nedostatek řešen například pomocí vytvoření podružné konstrukce ve formě lokálního truhlíku (na bázi podhledu) v místě prostupu, který se dodatečně utěsní například pomocí intumescenčního rukávu či manžety. Další možnost, která je na stavbách prováděna, je, že zhotovitel ucpávky zvolí systémové řešení, které ale aplikuje do konstrukce, pro kterou ucpávka nebyla odzkoušena. Nicméně se jedná o neakreditované, neideální řešení vzhledem k ná-

ročnosti montáže, možnosti revizí a času. Dle konzultace s odborníky v oboru je směr na stavbách takový, že firmy mají k dispozici málo času a kapacit na zhotovení takhle složitých požárních ucpávek, což následně vede k ochotě financovat systémové řešení, které pro ně bude velmi jednoduché a rychlé na montáž, případnou revizi a opravu.

Co se týče zahraničních přístupů, například německé normy DIN mají řešení těsnění a protipožárního opatření prostupujících instalací skrz řešení střešní pláště. Jedná se o lokální opatření v ploše 1 m<sup>2</sup> pomocí materiálů úpravy kolem prostupu. Pokud je potrubí z termoplastických materiálů, je třeba otvor vzniklý po prohoření potrubí dodatečně utěsnit, např. pomocí klapky nebo protipožární manžety [1, 5].

## PROBLEMATIKA LEHKÉ OCELOVÉ STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

Prostup potrubí trapézovým plechem vytváří složité podmínky pro zajištění utěsnění za požáru, takzvaná kritická místa, která dle polohy prostupu potrubí představují slabá místa v případě požáru. Tato místa jsou ve většině případů neřešitelná konvenčními způsoby, jako je například použití pouze intumescentní pásky či manžety bez provedení dodatečného opatření. Hlavní příčinou kritických míst je tloušťka a rozdílné výškové úrovně trapézového plechu. Dle návrhu odvodnění střešního pláště může nastat situace, kdy potrubí prochází ne vždy v ideální poloze vlny trapézového plechu. Počet poloh prostupujícího potrubí může být vzhledem k vlně trapézového plechu nespočet, ale dají se shrnout do tří základních poloh, a to na potrubí prostupující dolní vlnou, horní vlnou nebo na rozhraní vln trapézového plechu. Vliv kritických míst se musí v návrhu systémové řešení zohlednit. Mezi kritická místa patří:

- nemožnost usměrnění intumescentních materiálů v tloušťce trapézového plechu, [3]
- nedostatečný prostor pro ukotvení protipožární manžety nebo požární klapky,
- požární most vzniklý po odhoření termoplastického potrubí, např. na rozhraní vln, [1]
- možnost šíření požáru ve vnitřní dutině vlny trapézového plechu. [1]

Je důležité zmínit, že návrh systému těsnění ovlivňuje i pořadí realizace, zda se uvažuje s řešením při realizaci střešního pláště (nutná koordinace zhotovitele střechy, střešní vpusti a ucpávky), nebo zda se řešení bude provádět až po instalaci střešní vpusti, nebo například při novém požadavku od změny stavby. Pokud se systémové těsnění provádí u již zhotoveného prostupu, pak opatření lze provést pouze ze spodní strany, pokud nechceme zasahovat do skladby střešního pláště.

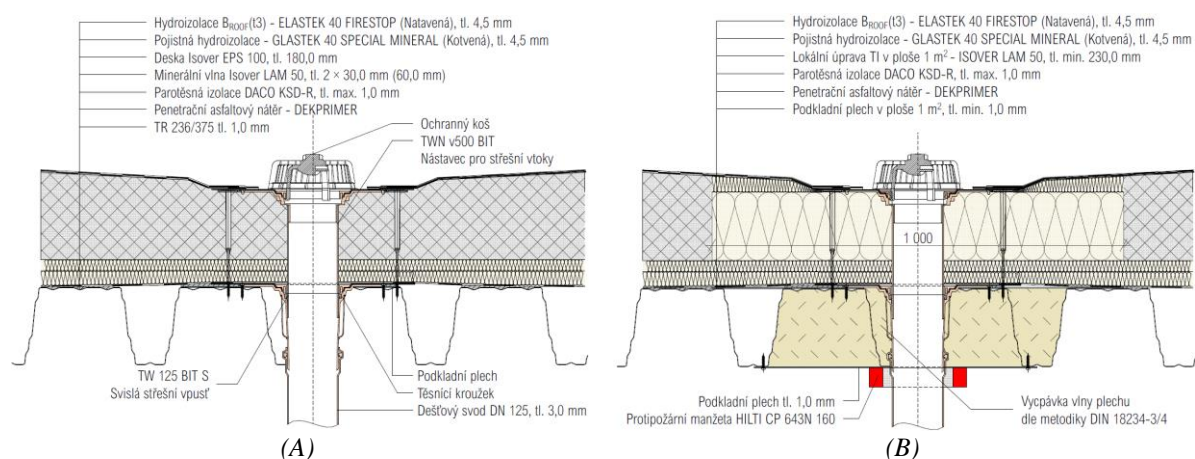
## POŽÁRNÍ EXPERIMENT

Jak tedy postupovat, pokud nelze využít způsobů těsnění dle českých technických norem, a žádný výrobce na českém trhu nemá atestovaný systém utěsnění? Odpověď je taková, že je třeba takovou požární ucpávku sestavenou speciálně pro prostředí v praxi navrhnout, a v akreditované laboratoři ji nechat odzkoušet a klasifikovat. Z hlediska co nejširší aplikace je pak nutné najít tu nejméně vhodnou skladbu, aby se prostup mohl použít i do „požárně bezpečnějších“ skladeb.

Po posouzení veškerých možností dle návrhových a zkušebních norem [1,2,5,6] byla vybrána kritéria pro zvolení „vhodné“ skladby střešního pláště pro návrh systémové požární ucpávky. Pro účel návrhu systémové požární ucpávky bude využita konstrukce střešního pláště s těmito vlastnostmi [2]:

- Konstrukce druhu DP1, obsahující materiály třídy reakce „A-E“ a vykazující požární odolnost REI 30 DP1,
- Posuzována jako nosná konstrukce střechy (požární strop nad posledním NP), tedy konstrukce s prokazatelnými požadovanými mezními stavy R = „únosnost“, E = „celistvost“ a I = „izolace“,
- Klasifikace hydroizolační vrstvy B<sub>ROOF</sub>(t3),
- Kombinace tepelného izolantu třídy reakce „A1/A2“ v min. požadované vrstvě pro zařazení do konstrukčního druhu DP1 a tepelného izolantu třídy reakce „E“ pro dosažení doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla střešního pláště  $U = 0,16 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .

Vzhledem k těmto skutečnostem budou provedeny tři referenční středněrozměrové zkoušky dvou vybraných detailů zobrazených na Obr. 1, se záměrem napodobit požadavky na zkoušení systémových ucpávek dle zkušebních norem [4]. První zkouška bude provedena pro skladbu střešního pláště s prostupem střešní vpusti, která nebyla nijak protipožárně opatřena. Druhá a třetí zkouška bude provedena pro stejnou skladbu s prostupem, ale opatřenou o řešení dle metodiky DIN 18234-4, kdy jeden ze zkušebních vzorků bude opatřen protipožární manžetou a další vzorek bude proveden pouze v materiálové úpravě bez manžety [1,5]. Poloha prostupu instalace byla zvolena na rozhraní vln trapézového plechu. Pro zamýšlené použití na stavbě (větrané potrubí) byla pro zkoušku zvolena konfigurace potrubí dle požadavků zkušební normy, u které budou oba konce potrubí nezavíčkované (U/U) [4]. Účelem referenčních zkoušek je zajištění podkladních informací, jak se tyto konstrukce chovají za požáru. Dle výsledků zkoušek budou navrženy dodatečné detaily, s cílem zjednodušit nebo zefektivnit způsoby těsnění řešené problematiky. Návrhy budou uvažovány pro zhotovení při realizaci střešního pláště, a pro případ zhotovení u již zhotoveného prostupu.

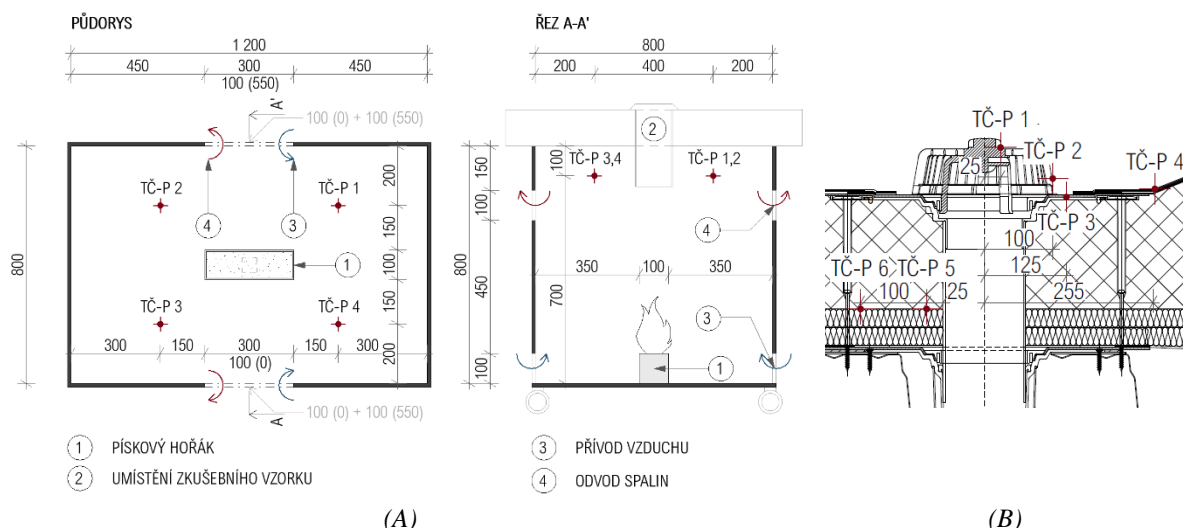


Obr. 1 (A) Detail prostupu bez protipožárního opatření; (B) Detail prostupu dle metodiky DIN 18234-4

Fig. 1 (A) Detail of penetration, without fire safety measurement; (B) Detail of penetration by DIN 18234-4 standards

Požární experimenty budou provedeny v požární laboratoři ČVUT UCEEB a bude využito zkušebního zařízení pro indikativní středněrozměrové zkoušky miniFUR (Obr. 2 (A)). Teplotní průběh uvnitř zkušebního zařízení pro tepelné zatěžování zkušebního vzorku bude proveden dle teplotní normové křivky ISO 834, kde k docílení požadovaných teplot v čase bude využito pískového hořáku spalujícího propan 2.5. Doba tepelného zatěžování zkušebního vzorku byla stanovena na 30 minut. Vnitřní teploty budou během zkoušky měřeny pomocí čtyř plášťových termoelektrických článků, umístěných v horní části zkušebního zařízení (Obr. 2 (A)), pomocí kterých bude automaticky regulován výkon hořáku v případě nevyhovující teploty. Dva termoelektrické články budou dále umístěny uvnitř skladby střešního pláště na rozhraní MV a EPS, s cílem zjistit, zda vnitřní průměrná teplota na rozhraní tepelných izolantů překročí hodnotu 140 °C (kritérium DP1). Poloha termoelektrických článků na samotném prostupu byla navržena dle požadavků zkušební normy, celkem čtyři články budou umístěny na koši vpusti a na okraji kotvící tvarovky. Konkrétní schéma rozmístění termoelektrických článků je zobrazeno na Obr. 2 (A,B).

Během požárního experimentu budou zaznamenávány hodnoty průběhů teplot uvnitř zkušebních vzorků a na jejich povrchu, včetně samostatného zkoumání teplot na povrchu prostupu. Vzhledem ke zvolené skladbě střešního pláště bude sledována hodnota na rozhraní tepelné izolace z minerální vlny a EPS. Dále bude zkoušeno přerušení mezního stavu E = „celistvost“ pomocí bavlněného polštářku (pouze nad skladbou střešního pláště) a sledována teplota a čas do přerušení mezního stavu I = „izolace“ [4].



Obr. 2 (A) Zkušební zařízení miniFUR a schéma umístění termoelektrických článků uvnitř zkušebního zařízení; (B) Schéma umístění termoelektrických článků pro zkušební vzorek  
 Fig. 2 (A) Testing furnace miniFUR and scheme of measuring devices inside furnace;  
 (B) Scheme of measuring devices on tested assembly

## ZÁVĚR

Seminární práce se zabývá problematikou těsnění prostupů hořlavého potrubí v lehké ocelové střešní konstrukci. Po zhodnocení požadavků, kritických míst a způsobů těsnění dle technických norem v zahraničí byla navržena skladba střešního pláště, včetně dvou zkušebních vzorků určených pro referenční zkoušku. Výsledky zkoušek budou sloužit jako základ pro návrh dodatečných způsobů těsnění, s cílem zjednodušit a zefektivnit způsoby těsnění řešené problematiky. Navržené detaily budou uvažovány pro situaci, kdy se požární opatření bude provádět společně s realizací střešního pláště, a pro případ, kdy je nutné těsnit již zhotovený prostup.

## PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří společnosti Hilti CZ s.r.o., zejména Ing. Aleši Havlovi, za poskytnutí odborných konzultací ohledně řešeného tématu a za poskytnutí nezbytných materiálů pro provedení plánovaného požárního experimentu, včetně zajištění inovačního vouchery pro financování ostatních potřebných položek.

## LITERATURA

- [1] VdS Schadenverhütung GmbH, [online projekční příručka]. Fire protection measures for roofs – Fire protection measures for roofs, VdS 2216en. 2011. Dostupné z: [http://vds-global.com/fileadmin/vds\\_publicationen/vds\\_2216en\\_web.pdf](http://vds-global.com/fileadmin/vds_publicationen/vds_2216en_web.pdf)
- [2] ČSN 73 0810. Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 64 s. Třídící znak 73 0810.
- [3] CHOI, K. K. Fire stops for plastic pipe. Fire Technology [online]. 1987, 23(4), 267–279. ISSN 0015-2684, 1572-8099. Dostupné z: doi:10.1007/BF01040584
- [4] ČSN EN 1366-3. Zkoušení odolnosti provozních instalací – Část 3: Těsnění prostupů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 96 s.
- [5] DIN 18234-4. Fire safety of large roofs for buildings - Fire exposure from below - Part 4: List of roof penetrations and roof edges, which fulfil the requirements of DIN 18234-3 without further provision of evidence. Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. 2018, 16s.

## RYCHLOST PROUDĚNÍ PLYNŮ V PODMÍNKÁCH POŽÁRU

### MEASUREMENT GAS FLOW VELOCITY IN THE TEST CONDITIONS OF FIRE

**Bc. Martin Spáčil**

#### **Abstract**

*Measuring flow velocity in fire experiments could be problematic and, in some cases, inaccurate due to high temperatures. Bi-directional velocity probe is used most often for its heat resistance and durability. The probe is indirect measuring method where flow velocity is calculated from temperature and pressure near the probe. Subjects of the article are two mathematical models in which measured flow velocity will be compared to calculated flow velocity from heat and pressure in the same spot of the model.*

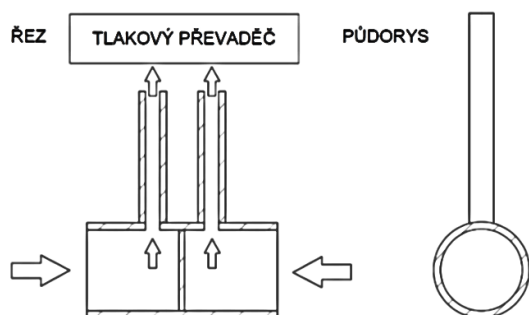
**Key words:** bi-directional probe; CFD; FDS; temperature; pressure; flow velocity

#### ÚVOD

Spolu s měřením teploty je měření rychlosti proudění při požárních experimentech jedním z nejzákladnějších způsobů, jak porozumět požáru a jeho chování, a jak charakterizovat požární prostředí. Měření rychlosti proudění vzhledem k vysokým teplotám, zplodinám hoření (zejména sazí), dynamice požáru a dalším faktorům může být problematické a v některých případech nepřesné.

#### MĚŘENÍ RYCHLOST PROUDĚNÍ V PODMÍNKÁCH POŽÁRU ZA POMOCI OBOSUMĚRNÉ RYCHLOSTNÍ SONDY

Obousměrná rychlostní sonda nebo také Pitotova trubice (Obr. 1) je dnes co se týče požárních experimentů nejpoužívanějším nástrojem pro nepřímé měření rychlosti proudění. Konstrukce sondy umožňuje měřit tlak ze dvou opačných stran těla sondy. Tělo sondy je tvořeno dutým kovovým válcem s rozdělovací uzavřenou stěnou v půli válce, která tvoří dvě samostatné komory. Z obou komor vede v kolmém směru k ose válce trubice spojující tělo sondy s tlakovým převaděčem. Proudící plyn vstupuje do sondy z jedné či druhé strany a vyvolá skrz trubici změnu tlaku v převaděči a ten pak poskytuje výstupní signál, jako změnu elektrického napětí. Převaděč je dále napojen na měřicí ústřednu pro záznam naměřených dat. S využitím kalibrační konstanty lze provést přepočítání změny napětí na změnu tlaku a následně se znalostí teploty nebo hustoty plynu v blízkosti rychlostní sondy lze za pomoci vzorce (1) vypočítat rychlost proudění.



(A)



(B)

Obr. 1 Obousměrná rychlostní sonda: (A) schéma; (B) příklad instalace při požárním experimentu  
Fig. 1 Bi-directional velocity probe: (A) diagram; (B) example of installation in a fire experiment

$$u = \frac{1}{K_p} \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p \cdot T}{353}} \quad \text{nebo} \quad u = \frac{1}{K_p} \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p \cdot T}{353}} \quad (1)$$

kde:  $u$  je rychlost proudění [m/s],  $\Delta p$  je rozdíl tlaků měřený rychlostní sondou [Pa],  $T$  je teplota naměřená v blízkosti rychlostní sondy [K],  $K_p$  je Reynoldsova číselná korekce pro obousměrnou rychlostní sondu [-],  $\rho$  je hustota plynu (vzduchu) při dané teplotě v blízkosti sondy [kg/m<sup>3</sup>].

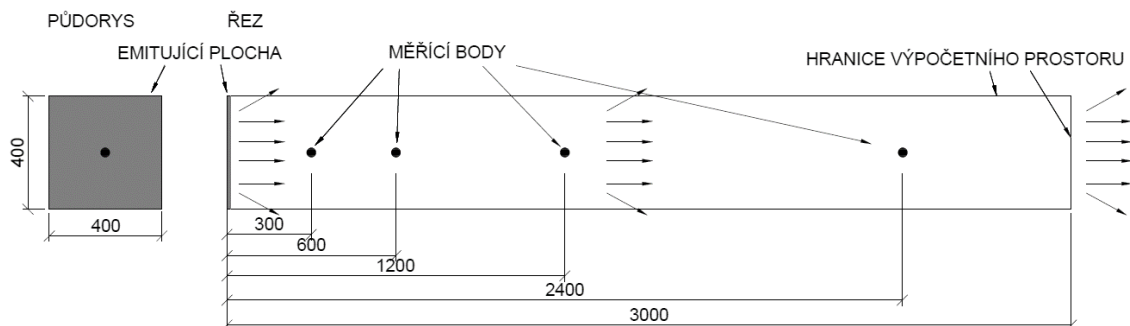
Vzorec pro výpočet rychlosti proudění vychází z Bernoulliho rovnice zákona o zachování mechanické energie. Reynoldsova číselná korekce závisí na Reynoldsově čísle, které vyjadřuje viskozitu. Pro výpočet Reynoldsovy číselné korekce je nutné odhadnout rychlost proudění, kterou se ovšem snažíme vypočítat. V tomto případě je nutné využít iteračního postupu, kdy se do vzorce pro Reynoldsovo číslo dosazuje odhadovaná rychlost proudění, dokud se spolu s vzorcem pro rychlost proudění oba vzorce ve výsledku neblíží nulovému rozdílu. Reynoldsovo číslo dále závisí na průměru rychlostní sondy, dynamické viskozitě vzduchu a hustotě vzduchu při dané teplotě v blízkosti sondy. Hlavní nevýhoda obousměrné rychlostní sondy je odchylka od přesného měření v případě přílišného sklonu sondy od proudícího plynu, tento sklon by neměl překročit 50°. Další nevýhoda je již zmíněná závislost na Reynoldsově čísle, dále jsou rizikové odchylky od správného měření v případě přílišného přiblížení měřící sondy k požáru, resp. k tepelnému zdroji. Výhoda obousměrné rychlostní sondy jsou především odolnost proti vysokým teplotám a do jisté míry určitá odolnost proti zplodinám hoření jako jsou saze [1, 2].

Hodnota Reynoldsova číselná korekce se pohybuje mez 0 a 1,08 v závislosti na Re. Reynoldsova číselná korekce bude při srovnání rychlosti nasimulované s vypočítanou z teploty a tlaku u modelů zanedbána. V následující analýze bude použit vzorec bez této konstanty pro proudění ventilačním otvorem dle [3]:

$$u = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p \cdot T}{353}} \quad (2)$$

## PRVNÍ MODEL – VOLNÉ PROUDĚNÍ

Na prvním modelu bude simulováno několik variant měnících se faktorů ovlivňujících rychlost proudění, jako je vzdálenost od zdroje proudění, teplota a objemový průtok proudícího vzduchu. Budou zde měřeny stejné nasimulované hodnoty jako u druhého modelu, tedy nasimulovaná teplota, tlak a rychlost proudění plynů. Výpočetní prostor modelu má rozměry obdélníku o rozměrech 0,4 m x 3 m x 0,4 m. Na levé části výpočetního prostoru leží emitující plocha s nastavitelnou rychlostí proudění, případně nastavitelným objemovým průtokem, plocha rovněž emituje do prostoru teplo podle před nastavitelné hodnoty (teploty plochy). Před emitující plochou leží čtyři měřící body měřící nasimulovanou teplotu, tlak a rychlost proudění. Hranice výpočetní plochy je nastavená jako otevřená.

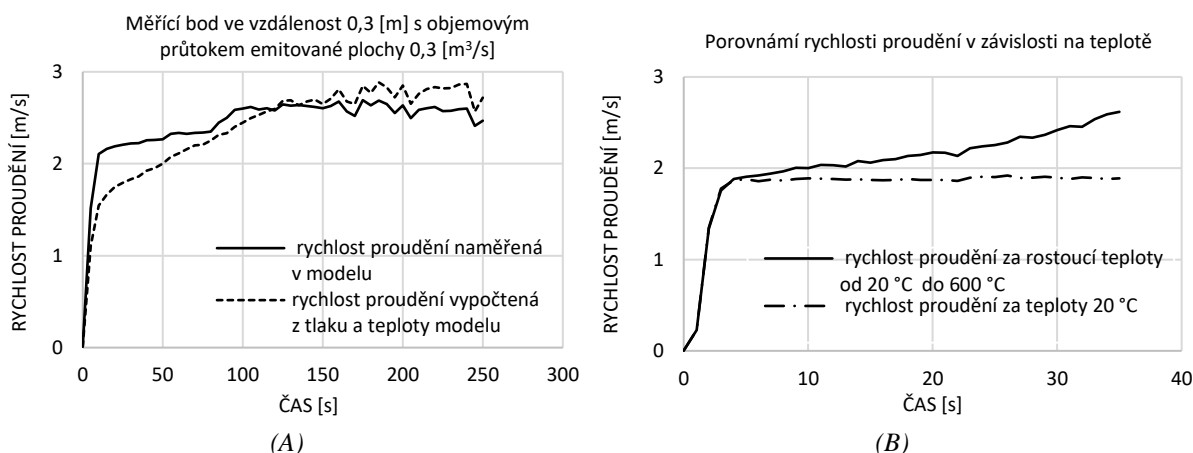


Obr. 2 Namodelovaný prostor  
Fig. 2 Modeled space

Vybraný výsledek (Obr. 3 (A)) je pro nastavenou hodnotu objemového průtoku 0,3 m<sup>3</sup>/s a teplotu vzrůstající v čase od 20 °C do 600 °C, simulace trvala 250 s, vybraný měřící bod byl od emitující plochy



vzdálen 0,3 m. Na Obr. 3 (B) můžeme pro zajímavost vidět, jak se nasimulovaná rychlost proudění u jednoho z měřících bodů měnila za narůstající teploty ve srovnání se simulací s konstantní teplotou 20 °C, simulace trvala 35 s.



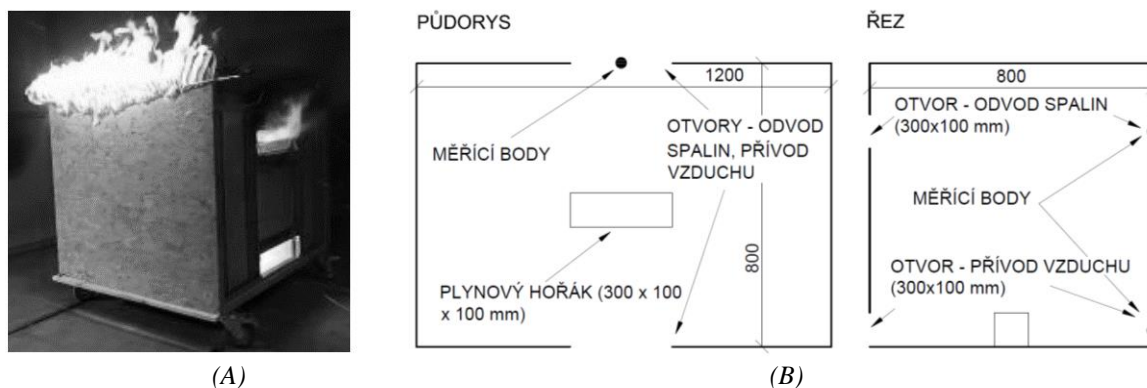
Obr. 3 (A) Porovnání rychlosti proudění; (B) Porovnání rychlosti proudění v závislosti na teplotě  
Fig. 3 (A) Flow velocity comparison; (B) Comparison of flow velocity as a function of temperature

Jak je již patrné z Obr. 3 (A), porovnané hodnoty jsou velmi podobné, především v čase kolem 120 s. Ostatní měřící body, resp. rychlosti, vycházely vesměs velmi shodně, bez ohledu na vzdálenost měřících bodů od emitující plochy, nastavovanou teplotu nebo sílu objemového průtoku emitující plochou.

## DRUHÝ MODEL – STŘEDNĚROZMĚROVÁ VIRTUÁLNÍ POŽÁRNÍ PEC

Druhý model byl vybrán pro komínový efekt ve ventilačních otvorech a jasně definované normové okrajové podmínky požáru. Pec jako taková slouží pro předběžné středněrozměrové zkoušky požární odolnosti (Obr. 4 (A)). Pec je navržena, aby průběh teplot v horní polovině pece odpovídal nominální normové teplotní křivce ISO 834.

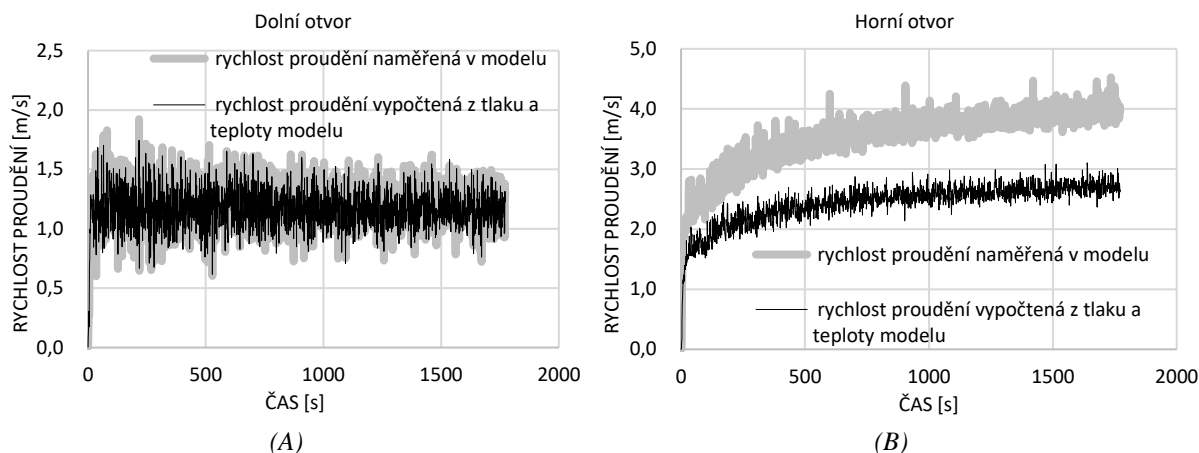
Návrh převzaté virtuální zkušební pece [4] vychází z požadavků normy ČSN EN 1363-1. V peci je umístěn plynový propanový hořák s tepelným výkonem do cca 150 kW. Hořák je umístěn uprostřed pece pro zajištění rovnoměrného ohřevu. Postupně rostoucí výkon plynového hořáku byl nastaven takovým způsobem, aby průběh teplot na horních termočláncích odpovídal nominální normové křivce ISO 834. Půdorysný rozměr pece je 1,2 m x 0,8 m, výška 0,8 m (Obr. 4 (B)). Do středů ventilačních otvorů na pravé straně pece pro přívod vzduchu (spodní otvor) a odvodu spalin (horní otvor) byly přidány body měřící teplotu, tlak a rychlost proudění.



Obr. 4 Pece pro středněrozměrové zkoušky požární odolnosti na UCEEB ČVUT v Praze  
Fig. 4 Furnaces for medium-scale fire resistance tests at UCEEB CTU in Prague

Byla provedena numerická simulace v softwaru FDS verze 6.7.4, kde byly sledovány teplota, tlak a rychlost proudění. Simulace probíhala po dobu 30 minut.

Ze získaných výsledků (Obr. 5 (A)) je zřejmá velmi dobrá shoda se vzorcem pro dolní otvor. V horním otvoru se hodnoty odlišují výrazněji (Obr. 5 (B)). Výraznější rozdíly naměřené rychlosti s vypočtenou ze vzorce se pohybuje kolem 1 m/s. Výsledek pro horní otvor ukazuje podobnou neshodu jako u experimentu [5], kde byla obousměrná rychlostní sonda, resp. výsledky její rychlosti vypočtené z teploty a tlaku srovnána s laserovou metodou pro měření rychlostí proudění v horní části ventilačního otvoru. Tato neshoda výsledků v otvoru pro odvod spalin oproti otvoru pro přívod vzduchu by bylo zajímavé zkoumat v případných budoucích navazujících experimentech.



Obr. 5 Porovnání rychlosti proudění: (A) v horním otvoru; (B) ve spodním otvoru  
Fig. 5 Flow velocity comparison: (A) in the upper hole; (B) in the bottom hole

## ZÁVĚR

Nasimulované hodnoty rychlosti proudění odpovídaly rychlosti proudění vypočtené ze vzorce (2), kde byly dosazovány hodnoty simulované teploty a tlaku. Shodnost výsledků neplatí pro horní otvor druhého modelu, kde se výsledky výrazně lišily, což mohlo být způsobeno přílišnou blízkostí měřícího bodu u simulovaného požáru. Další navazující diplomová práce by se mohla zabývat především druhým modelem, kde by se mohly porovnat výsledky z modelu a experimentu, kde by bylo užito obousměrné rychlostní sondy.

## LITERATURA

- [1] MCCAFFREY, BJ. a G. HESKESTAD. *A Robust Bidirectional Flow-Velocity Probe for Flame and Fire Application*. 1976.
- [2] POKORNÝ, Marek. *Instalační šachty z požárního hlediska*. Praha, 2012. Disertační práce k získání akademického titulu Ph.D. ČVUT v Praze, Fakulta stavební. Konstrukce pozemních staveb.
- [3] EMMONS, H.W. a T. (2008) TANAKA. *Vent Flow*. V *The SFPE Handbook of fire Protection Engineering*, 4th Edition (stránky 37-53, Section 2). Massachusetts: National Fire Protection Association.
- [4] CHLÁDEK, Jiří. *Malorozměrové zkoušky požární odolnosti*. Praha, 2019. Diplomová práce k získání akademického titulu Ing. ČVUT v Praze, Fakulta stavební. Konstrukce pozemních staveb.
- [5] BRYANT, Rodney A. *A comparison of gas velocity measurements in a full-scale enclosure fire*. *Fire Safety Journal* [online]. 2009, 44(5), 793–800. ISSN 03797112.

## HASICÍ ÚČINNOST VODNÍ MLHY

### FIRE EXTINGUISHING EFFICIENCY OF WATER MIST

**Bc. Tereza Verunáčová**

#### **Abstract**

*The purpose of this article is to analyse the effectiveness and extinguishing efficiency of the water mist under the fire conditions. The article lists the background theory and focuses on the water mist itself, its extinguishing efficiency in terms of mist creation and key parameters for mathematical modelling in the FDS program. In the experimental part, the interaction of heat with water mist is simulated on a simplified model. In the experimental part, different values of input parameters are used for particular models. The influence of these parameters and their values on the extinguishing efficiency of water mist are evaluated in the work.*

**Key words:** fire extinguishing efficiency of water mist; water mist; fire safety; FDS; active fire safety

### MLHOVÉ STABILNÍ HASICÍ ZAŘÍZENÍ

Stabilní hasicí zařízení je jeden z prvků aktivní požární ochrany, který významným způsobem zvyšuje úroveň požární bezpečnosti objektů, v nichž je instalován. Jedním z několika typů je stabilní hasicí zařízení mlhové, které je dle NFPA 750 definováno pomocí kapek, jejichž průměr  $D_{v0,99}$  je při běžném provozním tlaku menší než 1 mm. [1] To znamená, že 99 % kapek musí mít průměr menší než 1 mm. Některé zdroje [2, 3] definují vodní mlhu také jako  $D_{v0,90}$ , čili 90 % kapek je menší než 1 mm.

Mlhové SHZ má výhodu ve využití vody jako hasiva netoxického a poměrně snadno dostupného s vysokou účinností při požáru. Oproti sprinklerovým SHZ je množství vody dopravené do prostoru výrazně menší než v případě sprinklerových SHZ, čímž téměř eliminuje možné porušení vybavení vodou při svém delším působení. Dalšími pozitivními jevy vodní mlhy jsou také úspora hasicího média a menší prostorové nároky systému, vzhledem k menším rozměrům strojovny včetně rozvodů. [4]. Mlhové SHZ se dělí primárně dle provozního tlaku na nízkotlaké (do 12,5 bar), středotlaké (12,5–35 bar) a vysokotlaké (35– max 150 bar).

### NÁVRH MLHOVÝCH SHZ

Druh a velikost požárního nebezpečí je v případě sprinklerových SHZ klíčovým faktorem umožňujícím návrh soustavy, stejně jako u mlhových SHZ, pro který je však nutné ještě uskutečnit požární zkoušku. Postupy zkoušení zařízení hasicí schopnosti či jednotlivých komponentů mlhových SHZ jsou popsány v předběžné České technické normě ČSN P CEN/TS 14972. [2] Ta rovněž udává minimální požadavky pro návrh mlhových SHZ a doporučuje, jak je navrhovat, instalovat a zkoušet, neposkytuje však univerzální návod, který by byl sám o sobě dostačujícím podkladem. Při návrhu je nutné určit, k jakému účelu je mlhové SHZ navrhováno. Pokud má totiž sloužit ke kontrole a potlačení požáru, bude nutná nepřetržitá doba činnosti SHZ kratší než v případě, kdy je mlhové SHZ navrženo pro úplné uhašení požáru.

### FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ HASICÍ SCHOPNOST VODNÍ MLHY

Faktory ovlivňujících hasicí schopnost vodní mlhy lze rozdělit na externí vlivy a parametry trysky. Mezi externí vlivy patří především výška prostoru, jeho členitost (nemožnost vodní mlhy prostoupit konstrukcemi), vybavení prostoru a z toho odvozené množství uvolňovaného tepla a rychlost proudění spalin a okolního vzduchu. Důležité parametry trysky jsou jejich vzdálenost, průtok na jednotku plochy požáru, distribuce kapek uvnitř a kolem požáru, směr aplikace trysky, rychlost proudícího vzduchu a kapek. [5] V případě kapek obecně platí, že čím jsou menší, tím je mezifázová plocha větší a taktéž schopnost odebrání tepla. Se snížením velikosti kapky se snižuje také její hmotnost a vztlaková síla působící

na kapku v proudu zahřátých plynů může být větší než tíha kapky. Ta poté sice nepůsobí přímo v ohnisku, velice efektivně však absorbuje teplo z horkých plynů. Větší kapky mohou sice snáz proniknout přímo k palivu a tím ho ochladit, nemají však tak velkou plochu a nejsou tolik efektivní v odebírání tepla.

Se zvyšujícím se průtokem vody je množství dopravené vody do prostředí větší a s tím také teplo odebrané prostředím. Vzhledem k ochlazení okolí poté nedochází k takovému výparu a dusivý účinek způsobený nedostatkem  $O_2$  se tolik neprojevuje. [7] Množství kapek dopadajících na místo požáru je ovlivněno několika faktory, kterými jsou mimo již zmíněné také např. úhel výstřiku, stínění a rozsah požáru. Hybnost souvisí s množstvím (resp. hmotností) kapek, jejich rychlostí a úhlem výstřiku, který tvoří vodní kužel. Hybnost zčásti udává nejen to, zda kapky projdou skrz plameny až na hořící palivo, ale také to, jakým způsobem proniká okolní vzduch do vodního kužele a dále s ním reaguje. Hybnost musí být dostatečná pro to, aby umožnila dopad kapek na palivo před jejich vypařením. Bude-li však příliš velká a úhel výstřiku nebude vhodně zvolený, může dojít k nasávání vzduchu a podpoření hoření. [8]

## MECHANISMY HAŠENÍ VODNÍ MLHOU

Při hoření dochází k šíření tepla, což může nastat kondukcí, radiací nebo konvekcí. Pro možnost sledování vzájemné interakce tepla s vodní mlhou bude mít především význam šíření tepla konvekcí a radiací. Kondukcce má význam především pro zjištění množství odebraného tepla z prostředí. [9] Mlhové SHZ využívají v případě hašení požáru několika mechanismů, které využívají výhod menších rozměrů kapek. Patří mezi ně mechanismy chladící, dusivý, stínění, radiačního tepla, kinetický a naředňovací.

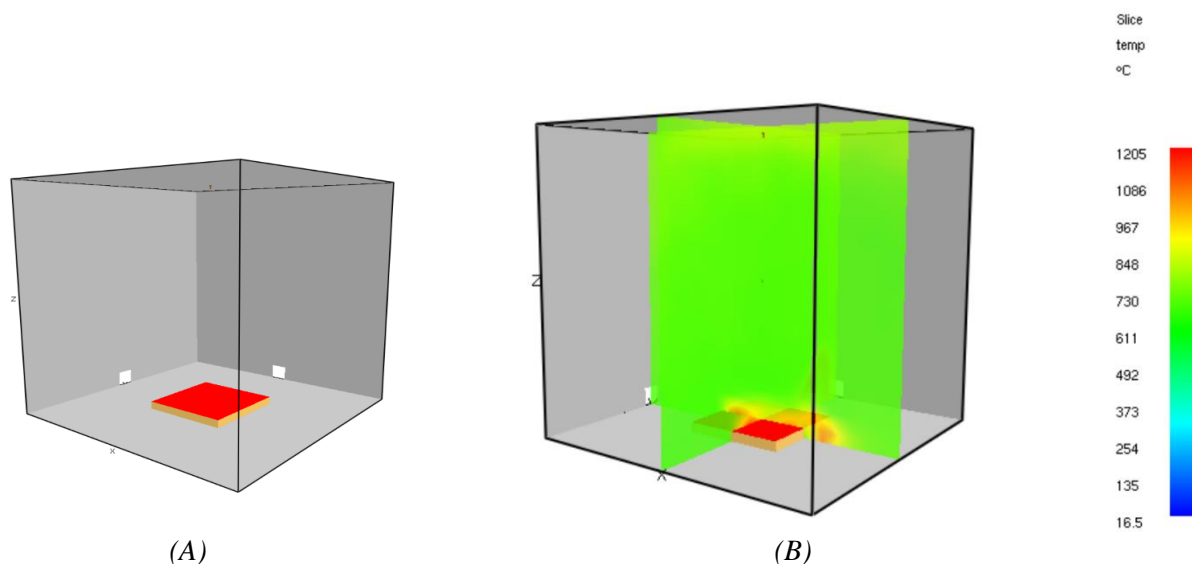
Chlazením se nazývá efekt, který je projevem interakce vodních kapek s plameny, palivem a okolními předměty. Pro velikost kapek vodní mlhy a schopností absorbovat mezifázové teplo platí, že čím jsou kapky menší, tím je plocha na stejný objem větší a spolu s ní se zvětšuje i ochlazovací efekt. Kromě ochlazování plynů je potřeba samotného ochlazení hořícího povrchu, aby bylo zabráněno procesu pyrolýzy. K průchodu kapek skrze plameny a plyny k hořícímu povrchu dochází při jejich průměru větším než 0,4 mm.

Nedostatek kyslíku v prostoru zasaženém požárem způsobuje dusivý účinek, který nastává především díky dvěma faktorům, a to spotřebování  $O_2$  procesem hoření s jeho vytlačení vodní párou. Dusivý mechanismus je však velice citlivý na otevřenost a větrání prostoru. V absolutně uzavřeném prostoru, kde je požár řízený ventilací by byl dusivý účinek intenzivní. V praxi je proudění vzduchu v různé míře standardním jevem, a je ho nadále potřeba při návrhu uvažovat. Zdánlivě uzavřený prostor může být komplikovaný také v souvislosti s náhlými změnami tlaku uvnitř prostoru. Působení dusivého mechanismu je v porovnání s jinými mechanismy v případě otevřených prostorů málo účinné.

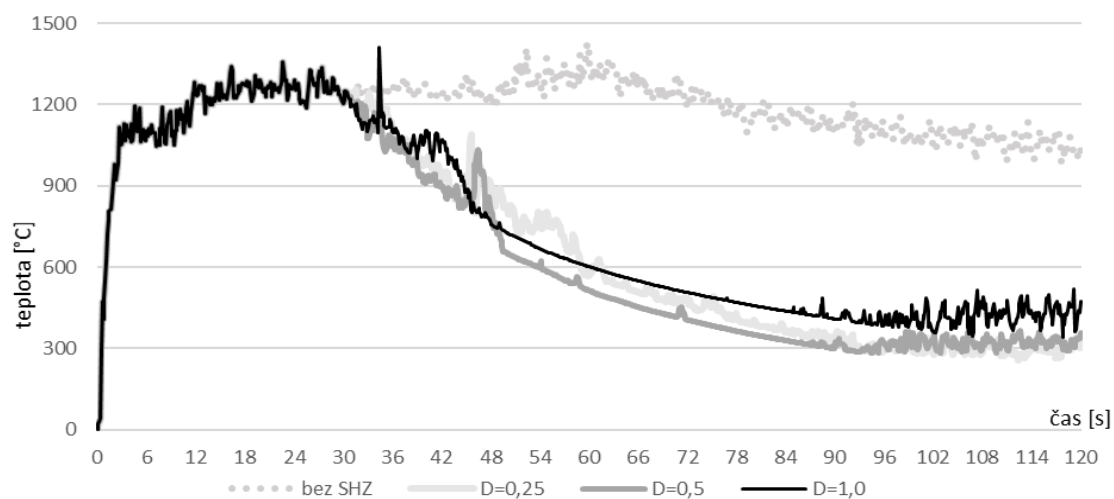
Radiační záření je emise energie ve formě elektromagnetického vlnění. Vodní kapky jsou schopny část záření pohltit, část odrazit a část opětovně vyzářit. V případě stínění radiačního tepla platí, že čím menší průměry a větší hustota kapek vodní mlhy, tím je šíření menší. Přítomností velkého množství velmi malých kapek dochází k postupnému zmírnění záření, které dopadá na okolní prostředí, a je tím možné omezit šíření požáru do okolí a zpomalit proces pyrolýzy.

## ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

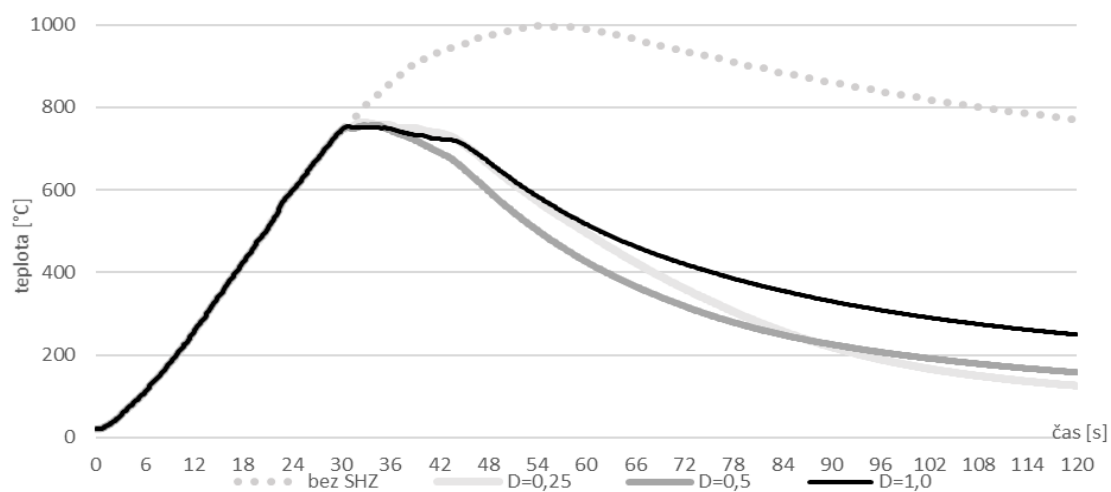
V rámci řešeného příkladu byl vytvořen model v programu FDS. Jednalo se o místnost tvaru krychle o straně 3 m. Prostor byl rozdělen na síť o hranách 10 cm. Aby v prostoru nedocházelo k výraznému zvýšení tlaku, který by mohl ovlivnit výsledky ochlazovacího účinku vodní mlhy, byly vytvořeny celkem 4 čtvercové otvory o straně 0,2 m, které se nachází ve středu každé stěny u podlahy. Zdrojem tepla byl hořák na propan čtvercového tvaru ve středu podlahy o ploše  $1 \text{ m}^2$  s rychlostí uvolněného tepla  $500 \text{ kW/m}^2$ . Ohraničující konstrukce jsou nastaveny jako adiabatické, pro eliminaci vlivu na ochlazování prostředí a izolaci chladícího efektu vodní mlhy. Dispozice modelového prostoru je znázorněna na Obr. 1.



Obr. 1 (A) Dispozice modelovaného prostoru; (B) znázornění průběhu teplot ve 30 s  
 Fig. 1 (A) Layout of the model space; (B) slice temperature spread in 30 s



Obr. 2 Maximální teplota v čase při působení mlhového SHZ a bez něj  
 Fig. 2 Maximum temperature over time with and without water mist



Obr. 3 Průměrná teplota v čase při působení mlhového SHZ a bez něj  
 Fig. 3 Average temperature over time with and without water mist

Teploty maximální i průměrné byly v první části pro všechny případy stejné. Po spuštění vodní mlhy ve 30. s se začaly teploty lišit, ale primárně mezi křivkou znázorňující teploty bez působení mlhového SHZ a zbytkem. Z grafu na Obr. 2 a 3 je možné pozorovat, že v počátku snižují teploty rychleji vodní mlha  $D = 0,5$  mm, z dlouhodobého hlediska je ale účinnější vodní mlha  $D = 0,25$  mm. Již v této fázi je patrné, že pro návrh vodní mlhy je nutné znát, co je pro vodní mlhu žádoucí – zda rychlé snížení teplot, či udržení nízkých teplot po dlouhou dobu.

## ZÁVĚR

Z výsledků řešeného příkladu lze potvrdit předpokládaný výsledek, že spuštěním vodní mlhy se snižuje v prostoru nejen maximální teplota, ale také teplota průměrná, a to výrazně. Na základě řešeného příkladu není v této fázi možné jednoznačně tvrdit, že byla prokázána závislost mezi velikostí kapek a efektivnějším snižováním teploty v prostoru. Prokazatelně nižšího chladicího efektu však bylo dosaženo v případě, kde byla pro hašení použita vodní mlha s průměrem částic 1 mm. V případě kapek o velikostech 0,25 a 0,5 mm je možné pozorovat různou účinnost krátce po aktivaci trysky, kdy se nejdříve jako účinnější jeví 0,5 mm, avšak později vyšší ochlazování vykazují 0,25 mm kapky. Uvedený efekt je pravděpodobně způsobený stoupajícím podílem vlivu mezifázové plochy s klesající teplotou prostředí.

## LITERATURA

- [1] NFPA 750 – Standard on Water Mist Fire Protection Systems. 2015 Edition. Quincy, Massachusetts: National Fire protection Association, 2014.
- [2] ČSN P CEN/TS 14972 Stabilní hasicí zařízení – Mlhová zařízení – Navrhování a instalace. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2012. 72 s
- [3] MORGAN J. HURLEY a kol. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering [online]. 2015. Dostupné z: [https://books.google.cz/books?id=xP2zCgAAQBAJ&dq=fire+water+mist&hl=cs&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.cz/books?id=xP2zCgAAQBAJ&dq=fire+water+mist&hl=cs&source=gbs_navlinks_s)
- [4] RYBÁŘ, P. Mlhová stabilní hasicí zařízení pro protipožární ochranu objektů a technologií. TZB-info. [vid. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/16205-mlhova-stabilni-hasici-zarizeni-pro-protipozarni-ochranu-objektu-a-technologiei-1-cast>
- [5] RASHBASH, D. J. The Extinction of Fire with Plain Water: A Review. Fire Safety Science Digital Archive [online]. 1986. Dostupné z: [https://www.iafss.org/publications/fss/1/1145/view/fss\\_1-1145.pdf](https://www.iafss.org/publications/fss/1/1145/view/fss_1-1145.pdf)
- [6] LIU, Zhigang a Andrew K. KIM. A review of water mist fire suppression systems - fundamental studies. Research Gate [online]. zima 2020. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/44050117\\_A\\_Review\\_of\\_Water\\_Mist\\_Fire\\_Suppression\\_Systems--\\_Fundamental\\_Studies](https://www.researchgate.net/publication/44050117_A_Review_of_Water_Mist_Fire_Suppression_Systems--_Fundamental_Studies)
- [7] QUINTIERE, James G. Principles of Fire Behavior. USA: CRC Press, 2016. ISBN 978-1-4987-3562-9.
- [8] VYSOKOMORNAY, Olga V., Geniy V. KUZNETSOV a Pavel A. STRIZHAK. *Experimental investigation of atomized water droplet initial parameters influence on evaporation intensity in flaming combustion zone*. Fire Safety Journal [online]. 2014, (70), 61–70. ISSN 0379-7112. Dostupné z: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.techlib.cz/science/article/pii/S0379711214001313>
- [9] JANSSENS, Marc J. An Introduction to Mathematical Fire Modeling. Lancaster, Pennsylvania: Technomic Publishing Company, Inc., 2020. 2. série. ISBN 1-56676-920-5.

## ANALÝZA VYHLÁŠENÍ POŽÁRNÍHO POPLACHU V UBYTOVÁNÍ PRO SENIORY

### FIRE ALARM ANALYSIS IN ACCOMMODATION FOR ELDERLY

**Bc. Jan Válka**

#### *Abstract*

This article aims to inform readers about the knowledge associated with evacuation of seniors in case of fire and their response to a fire alarm. The introduction part presents theoretical background regarding differences between accommodation for people who need constant social and health service provided by trained employees and between living in apartment buildings where seniors are more or less on their own. Based on the findings acquired in the literature review, the following part of the article presents their practical application in the form of so-called methodological card. The methodological card aims to help designers, occupants, and users of facilities for accommodation of elderly to ensure safety conditions during evacuation in emergency.

*Key words:* elderly; evacuation; fire alarm; fire safety; fire drill

#### ÚVOD

Stárnutí populace je v dnešní době dosti ožehavé téma, které trápí mnoho odborníků. Ať už se jedná o odborníky z oblasti stavebního inženýrství, ekonomy, či o odborníky přes požární ochranu. Dle Českého statistického úřadu stoupl počet seniorů v letech 2010-2018 o 5,4 % [1] a trend je nadále rostoucí. Za seniory jsou považovány osoby starší 60 let mající nárok pobírat starobní důchod. Tento věk se s vyspělejším zdravotnictvím postupně zvedá a odchod do důchodu je posouván. S přibývajícím věkem stoupá i počet hendikepů fyzických a mentálních. Fyzické hendikepy mohou v případě evakuace výrazně omezovat osoby v pohybu a v orientaci. Mentální hendikepy mohou ovlivňovat chování seniorů a reakci na vyhlášení požárního poplachu.

#### UBYTOVÁNÍ PRO SENIORY A SPECIFIKA V POŽÁRNÍ BEZPEČNOSTI A EVAKUACI

V České republice je v ubytovacích zařízeních seniorům poskytována trvalá nebo částečná zdravotní a sociální péče. Někteří senioři zůstávají ve svých bytech po celý život a pouze k nim dochází externí sociální služba, jiní senioři jsou soběstační a zvládají život ve svých bytech bez pomoci druhých. Struktura ubytování pro seniory se různí kraj od kraje, dle Registru poskytovatelů sociálních služeb (k 18.3.2020) je 1 159 domovů nabízející trvalou lůžkovou sociální a zdravotní péči [2]. Dle ČSÚ a statistické ročenky využívá těchto služeb celkem 55 173 klientů, 3,22 % z celkového počtu seniorů v ČR (k 31.12.2018) [3]. Ostatní senioři jsou odkázáni na vlastní bydlení a v případě potřeby na pomoc druhých (rodina, externí sociální služba).

V ubytování, ve kterých je poskytována lůžková péče, je nabízena neustálá sociální služba zaměstnanci, kteří jsou proškoleni a v případě požáru by měli být schopni bezpečně klienty evakuovat. Každé zařízení je obsazeno různými klienty a nabízí různě dlouhou dobu ubytování. Zařízení jako jsou domovy seniorů či domovy se zvláštním režimem nabízejí dlouhodobé ubytování v rámci měsíců a let. Ale například týdenní stacionáře a odlehčovací zařízení nabízejí péči na kratší dobu, max. do 3 měsíců. Další z možností ubytování je vlastní bydlení. K osobám, bydlícím ve vlastním bydlení může pravidelně docházet externí sociální pracovníce nebo člen rodiny a pomáhat s jejich potřebami. Případně možnost sociálního bydlení, kde jsou senioři ubytováni v sociálních bytech a sociální pracovníci k nim dochází ve sjednaných časech, jinak jsou senioři soběstační. Normy ČSN pohlízejí na ubytování pro seniory různými způsoby. Ubytování pro seniory jsou v zásadě řešena dle ČSN 73 0802 pro nevýrobní objekty [4], přičemž specifika různých provozů jsou podrobně řešena v dílčích normách jako ČSN 73 0833 [5] a ČSN 73 0835 [6]. Normové požadavky se mění dle velikosti zařízení, kapacity a způsobu navrhované péče.

Evakuace seniorů je složitý proces, důležitým aspektem je reakce osob na vyhlášení požárního poplachu. Doba do zahájení pohybu seniorů se od běžné populace může lišit a závisí na znalosti prostoru, denní době, zdravotním a psychickém stavu [7]. Problematikou evakuace osob se zabývalo několik studií [7-9]. V domovech pro seniory se pohybuje proškolený personál, který zná prostředí a je proškolen na to, jak se při vzniku požáru zachovat. Kdežto v bytových domech jsou seniory odkázáni sami na sebe [8]. Zásadní informací pro určení doby do zahájení pohybu jsou úkony, které osoby dělají před evakuací (např. čtení, koukání na televizi, spaní, koupání, hledání domácího mazlíčka apod.) [9]. Další studie zabývající se dobou do zahájení pohybu v domovech pro seniory stanovila průměrnou dobu do zahájení pohybu na 258 s [9]. Studie probíhala ve 3 úrovních poskytované péče. Nezávislá úroveň péče, kde klienti nepotřebují téměř žádnou péči a většinou jsou soběstační, asistovaná péče nabízí klientům pomoc při každodenních činnostech, péče psychologická, kde je obyvatelům rozšířená péče při psychických poruchách. Průměrná hodnota doby do zahájení evakuace domovů poskytující nejvyšší zdravotnickou a sociální péči byla 122 s (bylo zaznamenáno pouze 5 klientů ze 14 ubytovaných), pro domovy pro seniory poskytující různou sociální a zdravotní péči byla průměrná doba do zahájení pohybu stanovena na: 336 s; 189 s; 413 s; 233 s [9].

Včasná reakce na požární poplach je klíčová pro bezpečnou evakuaci. Požární poplach zajišťuje evakuační rozhlas, evakuační sirény anebo způsobila prověřená a proškolená osoba, případně autonomní detekce a signalizace s vestavěnou akustickou signalizací. Zpráva linoucí se z požárního rozhlasu by měla být přesná a vhodná [10]. V případě vyhlášení požárního poplachu by nejprve mělo zaznít varovné hlášení a posléze varovný signál. Při vyhlášení poplachu musí být všechny rušivé zvuky z reproduktorů omezeny nebo vyloučeny. Hlasová oznámení by měla obsahovat současně i vizuální pečlivě zváženy identifikátory (barevné rozlišení únikových cest, případně jiných sektorů, kam je evakuace směřována), [10]. Doporučení pro použití akustického vyhlášení požárního poplachu budou specifikována v metodické kartě.

## METODICKÁ KARTA

Získané znalosti ze studií a výzkumů, které se zabývaly reakcí osob na vyhlášení požárního poplachu, rychlost do zahájení pohybu, chování osob při požáru, normovými a vyhláškovými požadavky, jsou zpracovány do „metodické karty“. Metodická karta má za úkol pomoci projektantům požární bezpečnosti, požárně bezpečnostních zařízení a uživatelům objektu s návrhem a užíváním objektu v souladu s požární bezpečností. Ze získaných znalostí jsou vytvořeny modelové situace, které jsou rozděleny na základě kapacity objektu, velikosti objektu a poskytované sociální a zdravotní služby. Toto rozdělení reflektuje normové rozdělení, které určuje podmínky pro návrh protipožárních opatření v objektu. Struktura metodické karty bude následující:

### 1. Modelová situace a její popis

První část karty je hlavičkou, která obsahuje druh objektu (např. domov pro seniory, domov se zvláštním režimem, bytový komplex apod.), kapacitu ubytování (např. do 12 osob, do 50 osob) a podlažnost objektu, od které závisí některá vybavení na požární zabezpečení. Informace o poskytované kapacitě a velikosti objektu je důležitá s ohledem na návrh požárně bezpečnostních opatření. Např. dle ČSN 73 0835 [6] ubytování nad 50 osob musí být vybaveny systémem elektrické požární signalizace. Dalším údajem je informace o klientech, kteří se v objektu pohybují, zda se jedná o mobilní, osoby s omezenou schopností pohybu a imobilní osoby. Každá možnost ubytování poskytuje různou péči. Např. domov pro seniory poskytuje pobytové služby s trvalým výskytem personálu. Zatímco ubytování v bytových komplexech naopak poskytují pobytovou službu bez trvalého výskytu personálu.

### 2. Normové požadavky

Další kapitola metodické karty je zaměřena na normové požadavky, které jsou dány českými technickými normami požární bezpečnosti staveb (PBS) ČSN 73 08xx. Stavbami poskytující trvalé sociální a zdravotní služby se zabývá norma ČSN 73 0835 PBS – Budovy zdravotnických zařízení a sociální péče [6]. Tato norma rozděluje ubytování zdravotnické péče a ubytování sociálních služeb do 4 skupin:



Lůžkové zdravotnické zařízení LZ1, lůžkové zdravotnické zařízení LZ2, Zřízení sociální péče – domy s pečovatelskou službou, Zařízení sociální péče – ústavy sociální péče. Rozdělení do skupin je dle způsobu poskytované péče a počtu klientů, kterým je tato péče poskytována. Druhou normou, která řeší ubytování pro seniory je norma ČSN 73 0833 PBS – Budovy pro bydlení a ubytování [5]. Tato norma se více zabývá objekty určenými k vlastnímu bydlení a sociálnímu bydlení do 12 osob, kde není seniorům poskytována trvalá sociální a zdravotní péče. Norma rozděluje objekty dle jejich užité plochy a počtu podlaží a počtu bytových jednotek na objekty druhu OB1 a OB2. Do skupiny OB1 patří rodinné domy a bytové domy s omezenou kapacitou a podlažností. Do skupiny OB2 patří bytové domy, které přesahují kapacitu pro zařazení do skupiny OB1. Do skupiny OB2 dále patří i ubytování sociálních služeb, které poskytuje péči klientům do 12 osob.

### 3. Vyhláškové požadavky

Budovy zdravotnických zařízení, bytové domy, sociální zařízení jsou objekty, ve kterých se vyskytují obyvatelé se sníženou schopností pohybu a orientace, případně osoby neschopné samostatného pohybu a orientace. Dle vyhlášky č. 246/2001 Sb. [11] jsou stavby pro osoby se sníženou schopností pohybu a orientace zařazeny mezi stavby, které mají tzv. složité podmínky pro zásah. Z tohoto zařazení vyplývají jisté podmínky, které musí provozovatelé těchto objektů splnit. Jedná se o dokumentaci zdolávání požárů, dokumentaci o začlenění provozovaných činností, stanovení organizace zabezpečení požární ochrany, požární řád, požární poplachové směrnice, požární evakuační plán, dokumentace o požární ochraně, požární kniha. Dále je povinností provozovatele provádět požární prohlídky odborně způsobilou osobou v požární ochraně nejméně 1 x 6 měsíců a provádět školení zaměstnanců o požární ochraně. Tyto všechny dokumenty a požadavky budou pro konkrétní modelovou situaci shrnuty v kapitole určené pro vyhláškové požadavky.

### 4. Akustická signalizace, elektrická požární signalizace způsob vyhlášení požárního poplachu

Včasná reakce osob od vyhlášení požárního poplachu úzce souvisí se způsobem vyhlášení, tedy zda bude požár vyhlášen akustickým signálem či evakuační hláškou. To mimo jiné závisí i na velikosti objektu a vybavenosti požárně bezpečnostními zařízeními. Metodická karta vybírá z obecných možností nejvhodnější způsob pro konkrétní modelovou situaci – ve smyslu doporučení a diskuse nad možnými klady a zápory jednotlivých řešení pro danou modelovou situaci. Způsobů vyhlášení požárního poplachu je několik. Nejběžnějším způsobem vyhlášení poplachu je verbální zvolání osobou (např. „HOŘÍ“). Signál zvolání je závislý na lidském faktoru a osobě která zpozoruje požár. Účinnějším způsobem pro vyhlášení požárního poplachu je elektronický systém zabezpečení. Elektronický systém využívá různé druhy a způsoby vyhlášení požárního poplachu. Používají se evakuační rozhlas, sirény, nouzový zvukový systém. Např. nejvýhodnějším způsobem vyhlášení poplachu v domovech sociálních služeb je využití nouzového zvukového systému, nebo evakuačního rozhlasu. Tyto dva systémy dokáží rozdělit evakuační poplach do několika zón. Např. vyhlásí poplach jen v určitém sektoru objektu, nebo informuje pouze osoby zodpovědné za evakuaci. Sirény jsou pak založeny na výrazném zvukovém signálu o vysokých frekvencích a vysoké hlasitosti a využívají se v případech, kdy je nutné vyhlášení všeobecného poplachu.

### 5. Evakuace osob

Poslední položka využita v metodické kartě popisuje evakuaci osob. Obsahuje požadavky na evakuační plán, použití evakuačních pomůcek (evakuační podložky, evakuační saně, evakuační vozík a jiné) a popsání vhodného způsobu evakuace (postupná, celková) s možným návrhem evakuace. Tyto požadavky byly získány ze studií, např. [8-10], které popisovaly chování klientů i zaměstnanců při vyhlášení požárního poplachu a jejich dobu reakce na zahájení pohybu při vyhlášení požárního poplachu.

## ZÁVĚR

Ubytování pro seniory je velmi specifické téma, které zaměstnává spoustu odborníků. Pro lepší orientaci v této problematice a zvýšení požární bezpečnosti osob v ubytování pro seniory je vytvořena metodická

karta. Metodická karta obsahuje potřebné informace a poznatky získané v teoretické části a má za cíl pomoci projektantům požární bezpečnosti, požárně bezpečnostních zařízení a provozovatelům objektů se lépe orientovat v problematice požární bezpečnosti v ubytovacích zařízeních pro seniory a evakuace osob z těchto zařízení. Zároveň pohlíží i na zaměstnance a jejich pravidelná školení. Teoretické poznatky jsou získány na základě několika zahraničních studií.

## LITERATURA

- [1] *Senioři* | ČSÚ [online]. [vid. 2020-03-10]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/seniori>
- [2] *Registr poskytovatelů sociálních služeb* [online]. [vid. 2020-03-19]. Dostupné z: [http://iregistr.mpsv.cz/socreg/vitejte.fw.do?SUBSESSION\\_ID=1584616792235\\_9](http://iregistr.mpsv.cz/socreg/vitejte.fw.do?SUBSESSION_ID=1584616792235_9)
- [3] MINISTERSTVO PRÁCE A SOCIÁLNÍCH VĚCÍ. *Statistická ročenka z oblasti práce a sociálních věcí*. 2019
- [4] ČSN 73 0802. *Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty*, Praha: Český normalizační institut, 2009 + Z1 2013 + Z2 2020
- [5] ČSN 73 0833. *Požární bezpečnost staveb – Budovy pro bydlení a ubytování*, Praha: Český normalizační institut, 2010 + Z1 2013 + Z2 2020
- [6] ČSN 73 0835. *Požární bezpečnost staveb – Budovy zdravotnických zařízení a sociální péče*, Praha: Český normalizační institut, 2006 + Z2 2020
- [7] SIMKINS E. T., *Study on High-rise Evacuation of Elderly Residents during Fire Alarms*. B.m.: Galesburg Fire Department, Galesburg, Illinois. 2005
- [8] PROULX G. *Evacuation time and movement in apartment buildings* [online]. 1995, 24(3), 229–246. ISSN 0379-7112. Dostupné z: doi:10.1016/0379-7112(95)0023-M
- [9] GONZALES, K., L. FOLK, J. GALES, M. KINSEY, C. ELISABETTA a T. YOUNG. *Emergency egress for the elderly in care home fire situations*. In: *FIRE AND MATERIAL* [online]., 2020, 44, 585-606, Dostupné z doi:10.1002/fam.2820
- [10] OMORI, H., E. D. KULIGOWSKI, S. M. V. GWYNNE a K. M. BUTLER. *Human Response to Emergency Communication: A Review of Guidance on Alerts and Warning Messages for Emergencies in Buildings*. *Fire Technology* [online]. 2017, 53(4), 1641–1668. ISSN 1572-8099. Dostupné z: doi:10.1007/s10694-017-0653-3
- [11] *Vyhláška č. 246/2001 Sb., o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci)*





## MATERIÁLY NA BÁZI DŘEVA K POŽÁRNÍ OCHRANĚ OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ

### WOOD-BASED MATERIALS FOR FIRE PROTECTION OF STEEL STRUCTURES

**Bc. Michaela Tábořská**

#### *Abstract*

*Using wood as a renewable natural source is very common in the world, hence it can be seen not only in civil engineering more often these days than in the past. This work sums up the topic that concerns not only wood characteristics during a fire, which change a lot when being exposed to high temperatures, but also its behavior during a fire. One specific characteristic of wood that has to be mentioned here is its charring which creates so called charring layer. This layer works as an insulation and it protects that part of wood which has not been affected by a fire. Wood itself has a lot of benefits but its biggest negative, that raises certain misgivings, is its flammability. This work deals with a fact that it is possible to increase fire protection of a steel construction by timber or by wood-based material which then helps to prevent a supporting element or even a whole object from potential collapse. In the article there is a comparison of two protective elements, and that is spruce timber with chipboard desk.*

**Key words:** wood; timber; charring rate; fire; wood charring models

#### ÚVOD

V dnešní době jsou dřevo a materiály na bázi dřeva díky svým vlastnostem stále více používány nejen ve stavebnictví. Je to přírodní obnovitelný zdroj, který má nižší energetické nároky na výrobu a nižší znečištění. Přestože je hořlavé, lze jej díky výbornému chování při požáru použít jako ochranný materiál. Během požáru se na straně vystavené požáru objeví zuhelnatělá vrstva, která po určitý čas slouží jako izolační ochranná vrstva pro pevné materiály, jež se nacházejí pod ní. Požární ochranu pomocí dřevěných desek nebo rostlého dřeva je možné využít k ochraně ocelových prvků.

#### CO JE TO DŘEVO A JAK SE CHOVÁ PŘI POŽÁRU

Dřevo je přírodní materiál, který se nachází kolem nás. Jeho nejdůležitější složkou je celulóza a hemi-celulóza. Ve stavebnictví je to jeden z nejstarších stavebních materiálů. Od použití rostlého dřeva se využití rozšířilo na materiály na bázi dřeva, všechny jeho podoby je možné uplatnit v různých odvětvích stavebnictví. Značnou nevýhodou dřeva ve stavebnictví je, že je nehomogenní a hořlavé. Nesourodost se vyznačuje nejen jinými vlastnostmi rovnoběžně s vlákny a kolmo na vlákna, ale různými vadami dřeva, jako jsou suky a smolníky. [1]

Při vystavení dřeva požáru nastává změna v pevných vazbách v organické hmotě. Kvůli zvýšené teplotě se tyto vazby přerušují a nastávají endotermické a exotermické reakce. Během těchto reakcí dochází k vysušování dřeva a uvolňování velkého množství tepla [2]. Vrstvy dřeva během požáru jsou patrné na Obr. 1.

Důležitými teplotami při vystavení dřeva požáru je teplota vzplanutí, která se pohybuje okolo 180–270 °C, a bod hoření, který se pohybuje v rozmezí 260–290 °C. Při teplotě 330–370 °C dochází k samovolnému vznícení bez použití otevřeného plamene. Teplota 120 °C se uvažuje za kritickou mez deformace zatížené nosné dřevěné konstrukce. Teplota vznícení na povrchu je cca 300 °C. Veškeré tyto hodnoty jsou ovlivněny druhem dřeva a obsahem vlhkosti. [2]

Zajímavým procesem dřeva je pyrolýza, při které dochází k tepelnému rozkladu dřeva. Nachází se mezi zuhelnatělou vrstvou a dřevem nezasazeným od požáru a má tloušťku přibližně 5 mm. Tepelný rozklad probíhá bez přístupu kyslíku. Vrstva pyrolýzy je znázorněna na Obr. 1.

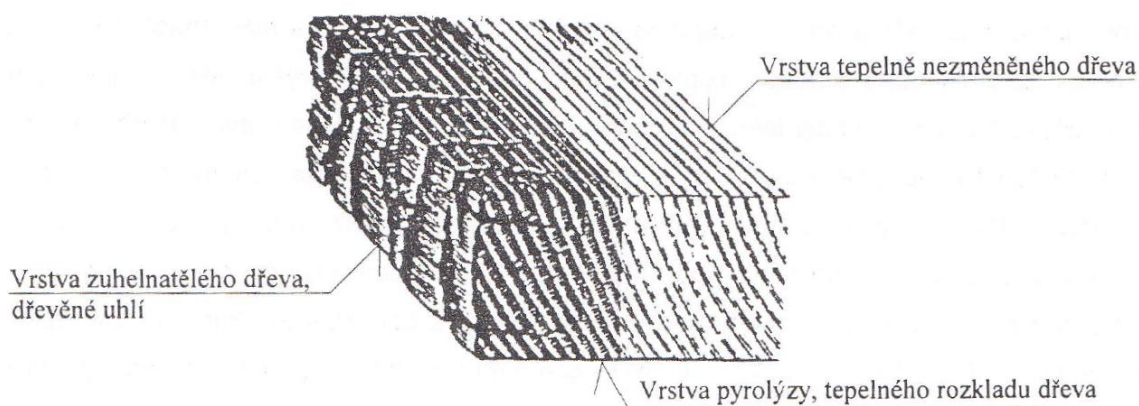
Základní vlastností, která ovlivňuje chování dřeva, je vlhkost. Vlhkost je vyjádřena procenty a udává hmotnost vody k hmotnosti dřeva v absolutně suchém stavu. Vlhkost dále ovlivňuje například tepelnou vodivost, měrnou tepelnou kapacitu a hustotu. Tyto vlastnosti mají vliv na prostup tepla materiálem, respektive jeho izolační schopnost. [3]

## ZUHELNATĚNÍ DŘEVA

Během požáru dochází k degradaci na vystavené straně dřeva. Při této degradaci dochází k přeměně požárem nedotknutého dřeva na zuhelnatělou vrstvu. Tato vrstva brání přístupu vzdušného kyslíku do vnitřní části prvku, a tím tlumí hoření a dobře chrání nezasaženou část dřeva. [4]

Pro stanovení zuhelnatění dřeva se používají různé postupy, a to analytické a numerické modely a experimenty. Experimenty jsou v dnešní době velmi nákladné, a tak je snaha najít jiný způsob, jak zkoumat nejen zuhelnatění dřeva. K tomu slouží numerické a analytické modely, jež se snaží matematicky popsat chování dřeva při požáru.

V současnosti existuje několik analytických modelů pro stanovení rychlosti zuhelnatění. Modely jsou popsány v normě ČSN EN 1995-1-2 [5] a ve výzkumných publikacích, např. Mikkola (1991) [6] či Hietaniemi (2005) [7]. Zmíněné analytické postupy jsou porovnány v publikaci [8]. Dále bylo provedeno několik experimentů, jejichž výsledky byly porovnány s numerickými modely, např. [9] a [10]. Vývoj dalších analytických a numerických modelů stále pokračuje a je možné nalézt i výsledky dalších experimentů.



Obr. 1 Vrstvy dřeva během požáru  
Fig. 1 Layers of wood during a fire

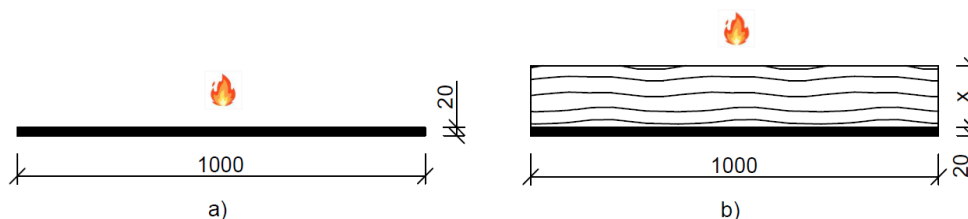
## CHOVÁNÍ OCELI BĚHEM POŽÁRU

Ocel velmi dobře vede teplo, a tak dochází k jejímu rychlému prohřátí. Ocel je sice nehořlavý materiál, ale nemá vysokou požární odolnost, proto je potřeba ve většině případů ocelovou konstrukci chránit. Při zvýšených teplotách bohužel mění své mechanické vlastnosti, což k její pevnosti nepřispívá.

## VÝPOČET POTŘEBNÉ TLOUŠŤKY DŘEVA PRO OCHRANU OCELOVÉ KONSTRUKCE

K výpočtu potřebné tloušťky dřeva pro ochranu ocelové konstrukce byl zvolen ocelový prvek tl. 20 mm (deska), který je vystaven požáru z jedné strany (Obr. 2). Nejprve byla přírůstkovou metodou podle ČSN EN 1993-1-2 [11] vypočítána teplota nechráněné ocelové konstrukce. Poté byla stejným způsobem vypočtena i teplota chráněné ocelové konstrukce. Chráněným prvkem byla rovněž ocelová deska s tloušťkou 20 mm na jeden metr délky, přičemž zmíněnou ochranu tvořilo rostlé smrkové dřevo a dřevotřísková deska. Při výpočtu byly uvažovány konstantní hodnoty tepelné vodivosti, vlhkosti a měrné tepelné

kapacity, jelikož nebyly známé proměnné hodnoty pro materiál na bázi dřeva. Proto se konstantní hodnoty uvažovaly i u rostlého dřeva, aby bylo možné výsledky porovnat.



Obr. 2 a) Nechráněný ocelový prvek; b) Chráněný ocelový prvek dřevem  
Fig. 2 a) Unprotected steel element; b) Steel element protected with wood

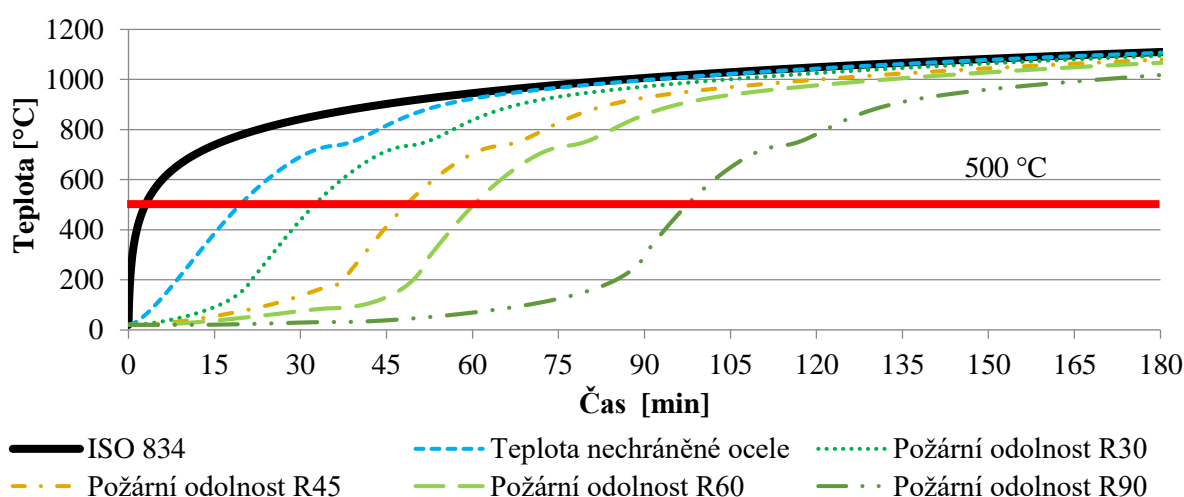
Tloušťka dřeva či materiálu na bázi dřeva se měnila, přičemž bylo zjišťováno, jaká tloušťka je potřebná pro požadovanou požární odolnost. Byla zkoumána požární odolnost 30, 45, 60 a 90 minut. Pro požární odolnost 15 minut nebyla stanovena tloušťka ochranného materiálu, jelikož tuto požární odolnost splňuje samostatný nechráněný ocelový prvek. Přehled požadovaných tlouštěk ochranného materiálu je uveden v Tab. 1.

Tab. 1 Potřebná tloušťka ochranného materiálu pro požadovanou požární odolnost  
Tab. 1 Necessary thickness of a protecting material for required fire resistance

Požární odolnost	Tloušťka ochranného materiálu	
	Rostlé dřevo – smrk	Dřevotřísková deska
<b>R15</b>	-	-
<b>R30</b>	15 mm	15 mm (16 mm) <sup>1)</sup>
<b>R45</b>	25 mm	23 mm (25 mm) <sup>1)</sup>
<b>R60</b>	35 mm	30 mm (32 mm) <sup>1)</sup>
<b>R90</b>	60 mm	41 mm (- mm) <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Hodnoty uvedené v závorce jsou tloušťky desek dostupných na trhu, hodnoty bez závorky jsou minimální potřebné tloušťky pro splnění požární odolnosti

Průběh teplot nechráněného ocelového prvku a ocelového prvku s různou tloušťkou požární ochrany je vidět na Obr. 3. V uvedeném grafu jsou znázorněny pouze teploty pro ochranu rostlým dřevem. V grafu je rovněž znázorněna hranice 500 °C, která je pro ocelový prvek uvažována jako kritická a je využita k posouzení požární odolnosti prvku.



Obr. 3 Průběh teplot v případě nechráněné oceli a v případě oceli chráněné rostlým dřevem o různých tloušťkách dřeva

Fig. 3 Development of temperatures for unprotected steel and for steel protected by wood with different thickness

**ZÁVĚR**

Zvyšovat požární odolnost ocelových prvků dřevem či materiálem na bázi dřeva je možné a nese to s sebou plno výhod. Nejenže je možné zvýšit požární odolnost, ale lze k tomu použít obnovitelný přírodní zdroj, který může v interiéru sloužit i jako designový prvek. Na druhou stranu se jedná o hořlavý materiál, který nosnou ocelovou konstrukci, jež spadá do druhu konstrukční části DP1, přesune do druhu konstrukční části DP3, což přináší určitá omezení ve výstavbě (např. omezení počtu nadzemních podlaží, velké odstupové vzdálenosti atd.). I přesto je možné dřevo pro ochranu ocelových konstrukcí použít.

**LITERATURA**

- [1] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2005. ISBN 978-80-86769-72-1.
- [2] KUPILÍK, Václav. *Stavební konstrukce z požárního hlediska*. Praha: Grada, 2006. ISBN 978-80-247-1329-8.
- [3] HORÁČEK, Petr. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. ISBN 978-80-7375-169-2.
- [4] CHARVÁTOVÁ, Magdaléna. *Požární odolnost lehkých dřevěných skeletů vícepodlažních budov*. Praha, 2017. Disertační práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební.
- [5] ČSN EN 1995-1-2. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Praha: Český normalizační institut, 2006. 68 p.
- [6] MIKKOLA, Esko. Charring Of Wood Based Materials. *Fire Safety Science* [online]. 1991, **3**, 547–556. ISSN 18174299. Dostupné z: doi:10.3801/IAFSS.FSS.3-547
- [7] HIETANIEMI, Jukka. *A Probabilistic Approach to Wood Charring Rate*. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Working Papers, No. 31, 2005 <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workin-gpapers/2005/W31.pdf>
- [8] KAMENICKÁ, Zuzana, Jaroslav SANDANUS, Lukáš BLESÁK, Kamila CÁBOVÁ, František WALD a Jaroslav SANDANUS. Methods for determining the charring rate of timber and their mutual comparison. *WOOD RESEARCH*. 2018, **63**, 8.
- [9] CÁBOVÁ, Kamila, Filip ZEMAN, Lukáš BLESÁK, Martin BENÝŠEK a František WALD. Virtual test of fire-resistance of a timber beam. *Structures in Fire SiF'2018*. 2018, 8.
- [10] WALD, František a kol. *Benchmark studies: Verification of numerical models in fire engineering*. Prague: CTU Publishing House, Czech Technical University, 2014. ISBN 978-80-01-05442-0.
- [11] EN 1993-1-2. *Eurokód 3: Návrh ocelových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Konstrukční požární konstrukce*. Brussels: CEN, 2005. 78 p.



## POŽÁRNÍ ODOLNOST MECHANICKY SPOJOVANÉHO KŘÍŽEM VRSTVENÉHO DŘEVA

### FIRE RESISTANCE OF MECHANICALLY JOINTED CROSS LAMINATED TIMBER

**Bc. Diana Vnenková**

#### *Abstract*

*This work is focused on fire resistance of mechanically jointed cross-laminated timber. The charring layer is the main principle in determining the fire resistance as a protective layer of effective cross section. At the moment it is necessary to determine the effect of the mechanically joints, the heat conducted by the mechanically joints and the effect of the gaps between the layers. These factors must be determined experimentally. The screws connecting the layers can have a positive effect on the holding of the charred layer. In this work, an analytical model was created for the buckling and shear load-bearing capacity of the wall panel in case of fire with the application of ČSN EN 1995-1-2. In the calculation, a constant rate of charring was assumed for the entire cross section as for solid wood.*

**Key words:** *cross laminated timber; fire resistance; CLT; fire; charring rate*

#### ÚVOD

Panely z křížem vrstveného dřeva se způsobem spojování jednotlivých vrstev lepením jsou na trhu více než 20 let. Oblíbenými jsou zejména v zahraničí, kde se uplatňují ve výstavbě vícepodlažních budov. Obecně výstavba vícepodlažních dřevostaveb má své důležité aspekty při návrhu, tím je požární odolnost, tuhost a akustika. V tomto ohledu lepené CLT panely vykazují pozitivní vlastnosti prokázané mnoholetými zkušenostmi a experimenty.

Požární odolnost je v tomto odvětví důležitým bodem, který je nutno respektovat. Technologie mechanicky spojovaného křížem vrstveného dřeva vznikla zejména za účelem snížení výrobních nákladů ve srovnání s lepeným způsobem spojování. Nicméně je důležité tuto technologii zhodnotit také z hlediska požární odolnosti. Konkrétně stanovení tloušťky vrstvy zuhelnatění je tou hlavní podstatou k určování požární odolnosti dřevěných konstrukcí. V České republice je na trhu momentálně menší počet výrobců, kteří se zabývají tímto způsobem spojování. Bohužel s tím souvisí to, že v současnosti nejsou přístupné návrhové postupy na způsob spojování vrstev. Pro výrobu CLT od roku 2016 existuje norma ČSN EN 16351. Výrobci tedy používají pro své výrobky technické osvědčení, předpisy a vlastní software. Při návrhu jsou uplatněny analytické metody, mezi které patří teorie mechanicky spojovaných nosníků dle ČSN EN 1995-1-1[4], kompozitní teorie a smyková analogie [1].

#### KŘÍŽEM VRSTVENÉ DŘEVO ZA POŽÁRU

Obecně v průběhu požáru mohou nastat dva jevy v chování CLT panelu. Jedná se tedy o to, že vrstva zuhelnatění neodpadne, a tím chrání zbytek CLT prvku. To znamená, že CLT se chová obdobně jako masivní dřevo. Druhý jev, který může nastat, je ten, kdy vrstva zuhelnatění odpadne. Tím je část dřeva po odpadnutí vrstvy hned vystavena plnému požáru, případně zvyšujícím se teplotám. Kvůli tomu je rychlost zuhelnatění další vrstvy vyšší oproti krajní vrstvě. Odpadnutí zuhelnatělé vrstvy je také ovlivněno polohou panelu, chováním lepidla za zvýšených teplot a tloušťkou vrstev [2].

V případě lepeného CLT bylo prokázáno, že při použití jednosložkového polyuretanového lepidla dochází k odpadnutí zuhelnatělé vrstvy. Následně dochází k vystavení další vrstvy vyšším teplotám. Na základě této skutečnosti byla stanovena rychlost zuhelnatění první vrstvy 0,65 mm/min a rychlost zuhelnatění další vrstvy dvojnásobně vyšší, konkrétně 1,3 mm/min. Při návrhu je tedy možné uplatnit postup pro chráněné prvky dle ČSN EN 1995-1-2 [5], který je dle zkoumání na straně bezpečnosti. Při použití močovino formaldehydového lepidla s nižší citlivostí na teplotu nedocházelo k odpadnutí

vrstev. Chování bylo tedy obdobné jako u masivního dřeva, a dokonce rychlost zuhelnatění byla menší než stanovená hodnota 0,65 mm/min dle ČSN EN 1995-1-2 [5] [3]. Tím vzniká otázka pro stanovení rychlosti zuhelnatění CLT panelu s mechanickým spojováním vrstev, u kterého bylo prozatím potenciálně konstatováno, že může docházet ke kladnému vlivu spojovacích prostředků z hlediska odpadávání vrstev. To by znamenalo, že rychlost zuhelnatění by byla konstantní obdobně jako u CLT panelu s močovino formaldehydovým lepidlem. Ale nutno podotknout, že zároveň vznikají nové ovlivňující faktory, které je nutné v návrhu zahrnout. Tím jsou myšleny spojovací prostředky a jimi vedené teplo skrz lamely a možný vznik širších spár mezi vrstvami. K určení rychlosti zuhelnatění mechanicky spojovaného CLT panelu by dostal uplatnění následující analytický vztah (1) [2]:

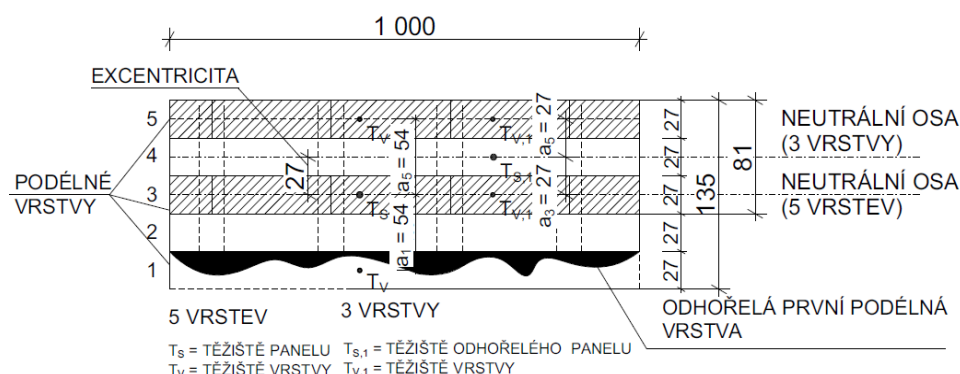
$$\beta_{n,fin} = k_s * k_{pr} * k_n * k_g * k_{cr} * k_j * k_{co} * \beta_n \quad (1)$$

kde:

- $k_s$  koeficient průřezu
- $k_{pr}$  ochranný koeficient, který zohledňuje chování chráněných povrchů a následné rozdílné rychlosti zuhelnatění
- $k_n$  koeficient zohledňující rohové zaoblení
- $k_g$  koeficient zohledňující mezery mezi vrstvami
- $k_{cr}$  koeficient zohledňující praskliny a trhliny
- $k_j$  koeficient zohledňující spoje
- $k_{co}$  koeficient zohledňující vedení tepla přes spojovací prvek
- $\beta_n$  rychlost zuhelnatění dle ČSN 1995-1-2 [5]

### ANALYTICKÝ MODEL VZPĚRNÉ ÚNOSNOSTI CLT STĚNY ZA POŽÁRU

Úkolem řešeného příkladu je vytvoření analytického modelu s uplatněním příslušných norem pro požární situaci. Stěnový panel z mechanicky spojovaného křížem vrstveného dřeva lze uvažovat jako mechanicky spojovaný prvek s účinnou ohybovou tuhostí  $(EI)_{ef}$  dle informativní přílohy B ČSN EN 1995-1-1 [4]. Tato metoda se také nazývá tzv. gama metoda a princip je založený na teorii lineární pružnosti [4]. Ve výpočtu jsou zahrnuty jen podélné vrstvy, které působí ve směru zatížení. Jednotlivé vrstvy jsou navzájem spojeny mechanickými spojovacími prostředky s modulem prokluzu  $K$  a jsou rovnoměrně rozmístěné ve vzdálenosti  $s$ . Účinná ohybová tuhost  $(EI)_{ef}$  je závislá na průřezových charakteristikách a na součiniteli poddajnosti spojení  $\gamma$ . Pro spojení jednotlivých vrstev jsou uvažovány vrutové spoje, a na základě jejich délky 80 mm jsou zvoleny tloušťky lamel 27 mm. Stěnový panel výšky 3 m je složený z 5 vrstev a použité dřevo je třídy C24. Metodou redukovaného průřezu je stanovena šířka vrstvy zuhelnatění. Rychlost zuhelnatění je uvažována 0,65 mm/min jako pro rostlé dřevo. Pro tento příklad je požadovaná požární odolnost stanovena na 30 min, avšak tento analytický model znázorňuje spíše podstatu výpočtu únosnosti stěnového panelu. Podstata výpočtu za požáru spočívá v redukci modulu prokluzu dle ČSN EN 1995-1-2 [5] a vzniku kombinace tlaku a ohybu vlivem excentricity.



Obr. 1 Účinný průřez stěnového panelu za požáru  
Fig. 1 Effective cross section of the wall panel in a fire situation

Vrstva uhelnatění stanovena dle redukovaného průřezu s uvažovanou tloušťkou nulové pevnosti 7 mm jako pro rostlé dřevo v požadované době 30 min činila 26,5 mm. Dá se říct, že první podélná vrstva odhořela a druhá příčná vrstva slouží jako ochrana zbylých podélných vrstev. Možné je zvýšit požární odolnost odhořením i příčné vrstvy. Z logické úvahy je patrné, že pro stanovení účinného průřezu pětivrstvého panelu (tři podélné vrstvy) je nutné uvažovat alespoň dvě podélné vrstvy pro výslednou únosnost za požáru. Postup výpočtu charakteristik pro účinnou ohybovou tuhost vzniklého třívrstvého panelu dle vztahu (2) je obdobné jako za běžné teploty s využitím redukovaného modulu prokluzu dle vztahu (4). Dále dochází k posunutí neutrální osy, a zároveň vzniku excentricity z hlediska působícího zatížení na původní pětivrstvý panel (Obr. 1).

$$(EI)_{ef,fi} = \sum(EI)_{ef,3} + (EI)_{ef,5} = \left( (E_3 * I_{3,fi}) + \gamma_{3,fi} * E_3 * A_3 * a_3^2 \right) + \left( (E_5 * I_{5,fi}) + \gamma_{5,fi} * E_5 * A_5 * a_5^2 \right) \quad (2)$$

Součinitel poddajnosti spojení dle vztahu (3):

$$\gamma_{3,fi} = \gamma_{5,fi} = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 * E_{mean} * A_1 * s_1}{K_{fi} * h_{CLT}^2}} \quad (3)$$

$$K_{fi} = K_u * \eta_{fi} \quad (4)$$

kde:

$K_{fi}$	redukovaný modul prokluzu [N/mm]
$K_u$	modul prokluzu za běžné teploty pro konečný mezní stav [N/mm]
$\eta_{fi}$	redukční faktor, pro hřebíky a šrouby hodnota 0,2 dle ČSN EN 1995-1-2 [5]
$E_{mean}$	modul pružnosti podélných vrstev [MPa]
$I_{3,fi}; I_{5,fi}$	moment setrvačnosti podélných vrstev [mm <sup>4</sup> ]
$A$	plocha průřezu podélné vrstvy na metr stěny [mm <sup>2</sup> ]
$h_{CLT}$	výška stěnového panelu [mm]
$s$	vzdálenost spojovacích prostředků [mm]
$a$	vzdálenost těžiště jednotlivých vrstev k těžišti panelu [mm]

Následně je tedy nutné posoudit stabilitu stěny z hlediska kombinace tlaku a ohybu. Ze stanovené rovnice (5) lze konstatovat, že vznikají 2 neznámé veličiny. Týká se to maximální možné zatěžovací síly  $N_{d,fi}$  a ohybového momentu  $M_{d,fi}$  vzniklý vlivem excentricity. Lze tyto veličiny matematicky vyjádřit a stanovit rovnici o jedné neznámé.

$$\frac{N_{d,fi}}{A_{ef,fi}} + \frac{N_{d,fi} * e}{W_{fi}} \leq 1 \quad (5)$$

Pro porovnání výsledků vycházela charakteristická vzpěrná únosnost za běžné teploty pětivrstvého panelu 238 140 N. V požární situaci s požadovanou požární odolností 30 min vycházela únosnost 65 411 N.

### ANALATICKÝ MODEL VÝZTUŽNÉ ÚNOSNOSTI CLT STĚNY ZA POŽÁRU

Postup výpočtu je aplikován na stěnový panel tl. 81 mm o 3 lamelách s tloušťkou 27 mm. Stěna je tuhým spojem kotvena v místě paty stěny, na němž je zavedeno liniové svislé zatížení a bodové vodorovné zatížení, které je uvažované jako zatížení větrem. Hlavním klíčovým bodem v tomto řešení je, že vlivem vodorovné síly vzniká zatížení na spojovací prostředky. Týká se to síly od torzního momentu ve středu otáčení spoje a posouvajících sil rovnoměrně rozložené na spojovací prostředky. Kvůli rozdílným modulům pružnosti lamel v tlaku rovnoběžně s vlákny  $E_0$  a kolmo k vláknům  $E_{90}$ , a také kvůli spárám mezi lamelami nedochází k přenosu normálových sil vyvozených svislým zatížením z podélných lamel

do příčných lamel. Celkové zatížení na jeden stříh spojovacího prostředku lze určit jako vektorový součet vzniklých sil vlivem působící vodorovné síly [6]. Analytický model za požáru v podstatě spočívá v tom, že dochází k redukci charakteristické únosnosti spoje  $F_{v,Rk,fi}$  za běžné teploty dle ČSN EN 1995-1-2 [5], která musí přenést celkové zatížení na spojovací prostředek stanovené za běžné teploty. Celkové zatížení na spojovací prostředek, které je vyvolané vodorovnou silou se předpokládá neredukované (vítr).

V porovnání s celkovým zatížením v podélné lamelle musí platit podmínka (6):

$$F_{v,Rk,fi} \geq F_{0,i} \quad (6)$$

V porovnání s celkovým zatížením v příčné lamelle musí platit podmínka (7):

$$F_{v,Rk,fi} \geq F_{90,i} \quad (7)$$

Po úpravě stanovených podmínek a dosazení vzniklých vnitřních sil na jeden stříh spojovacího prostředku lze vyvodit maximální vodorovnou sílu působící na stěnový panel. Výsledná výztužná únosnost je posléze minimální hodnota vyvozena z rozdělení na podélnou a příčnou vrstvu. Požární odolnost nechráněného vrutu je dle ČSN EN 1995-1-2 [5] stanovena na 20 min. S tím souvisí určení požární odolnosti řešeného třívrstvého panelu, která by odpovídala R15. Na základě toho by vrstva zuhelnatění dle redukovaného průřezu činila 15 mm. Účinná tloušťka první podélné vrstvy by odpovídala 12 mm, přičemž je potenciálně schopna přenášet část zatížení.

## ZÁVĚR

Z analytického modelu vzpěrné únosnosti pětivrstvého panelu lze konstatovat, že je možné zvýšit požární odolnost odhořením i příčné vrstvy v případě, pokud budeme dopředu uvažovat dvě podélné vrstvy z hlediska přenosu vzniklého zatížení vlivem požáru. Analytický model výztužné únosnosti třívrstvého panelu zahrnuje vliv působící vodorovné síly (větru), která způsobuje zatížení na vruty. Dle ČSN EN 1995-1-2 [5] je požární odolnost nechráněného vrutu stanovena na 20 min, tím by požární odolnost panelu odpovídala R15. S předpokladem konstantní rychlosti zuhelnatění 0,65 mm/min činí tedy účinná tloušťka zuhelnatělé první podélné vrstvy 12 mm, to znamená, že potenciálně dokáže přenést část zatížení. Z logického uvážení by pětivrstvý panel vykazoval vyšší požární odolnost a únosnost za požáru tím, že je větší pravděpodobnost zachování dvou zbylých účinných podélných vrstev.

## LITERATURA

- [1] GAGNON, S., PIRVU C. a FPINNOVATIONS (INSTITUTE). *CLT handbook – cross-laminated timber*. Québec: FPIinnovations, 2011. ISBN 978-0-86488-547-0.
- [2] KLIPPEL, M., SCHMID, J. Design of Cross – Laminated Timber in Fire. *Structural Engineering International* [online]. 2017, roč. 27, č. 2, s. 224–230. ISSN 1016-8664
- [3] FRANGI, A., FONTANA M., HUGI, R., JÜBSTL, R. Experimental analysis of cross laminated timber panels in fire. *Fire Safety Journal*. 2009, roč. 44, č. 8, s. 1078–1087. ISSN 03797112
- [4] ČSN EN 1995-1-1:2007 Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [5] ČSN EN 1995-1-2:2007 Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru.
- [6] VELEBIL, L. *Únosnost a tuhost výztužných stěn z mechanicky spojovaného křížem vrstveného dřeva*. Praha: ČVUT, 2020.

## MODELOVÁNÍ SPOJŮ S VLOŽENOU OCELOVOU DESKOU ZA POŽÁRU

### MODELLING OF STEEL TO TIMBER JOINTS EXPOSED TO FIRE

**Bc. Jaroslav Zeman**

#### **Abstract**

*The article is focused on the behaviour of the steel to timber joints in wooden structures exposed to the fire. Steel to timber joints are characterized by a higher load-bearing capacity at normal temperatures than wood-wood joints. Due to the extensive details of the joint configuration, it is problematic to determine the expected fire resistance. There is a 30 minutes limitation for calculating loadbearing capacities by methods in the Eurocode 5 part 1-2. The load-bearing capacity of an unprotected joint is mainly influenced by the reduced strength limit of the bolt caused by the rapid increase in temperature and the reduced cross-section of the wooden element. In this work an analytical model computing load bearing capacity of the joint due to ISO834 fire is created. The model is based on Eurocode 5, part 1-1, with rules of Eurocode 5 part 1-2, and for steel components based on rules of Eurocode 3 part 1-2. Then there are results of five configurations of joint, which are compared to the test results.*

**Key words:** steel to timber joint; fire resistance; ISO-fire tests; heat transfer; loadbearing capacity

#### **ÚVOD**

Článek je zaměřen na chování spoje dřevěných konstrukcí s vloženou ocelovou deskou za požáru. Ty jsou v dřevěných konstrukcích nejslabší komponentou. Spoje s vloženou ocelovou deskou se za běžné teploty vyznačují vyšší únosností, než spoje dřevo-dřevo. V důsledku rozsáhlé členitosti konfigurace spoje je problematické stanovit předpokládanou požární odolnost. Únosnost nechráněného spoje ovlivňuje především redukováná mez pevnosti svorníku zapříčiněná rychlým nárůstem teploty a dále redukováný průřez dřevěného prvku. V rámci této práce je vytvořen analytický model. Výsledkem modelu je průběh meze únosnosti v závislosti na čase zahrnující vliv zvýšené teploty. Model je na závěr srovnán s výsledky již provedených testů.

#### **SPOJE PODLE ČSN EN 1995-1-2**

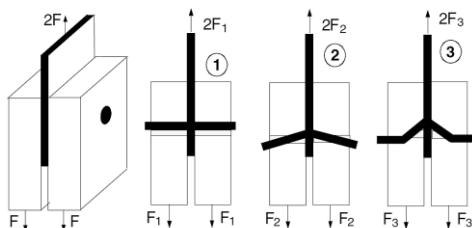
Dle zjednodušených pravidel je v rámci tabulkového přístupu pro nechráněné spoje uvedena požární odolnost, která pro svorníky činí 15 minut. Tu lze pro hřebíky a kolíky, nevycházející přes povrch, navýšit až na 30 minut díky zvětšení rozměrů průřezu o tloušťku  $a_{fi}$ . Tloušťka  $a_{fi}$  se vypočte z rychlosti zuhelnatění  $\beta_n$ , součinitele zohledňujícího zvětšený tepelný tok skrz spojovací prostředek  $k_{flux}$  a z rozdílu požadované požární odolnosti s tabulkovou hodnotou. Toto navýšení je limitní pro 30 minut. Druhou metodou je redukce normového zatížení dle redukčního součinitele. Redukční součinitel je závislý na parametru  $k$ , který je platný pouze do 30 minut. Z toho vyplývá, že metody dle ČSN EN 1995-1-2 [1] jsou pro nechráněné svorníkové spoje omezeny na dobu 30 minut.

V rámci studií [2] a [3] byly vyhotoveny vzorky, které byly zkoušeny za běžné teploty. Zkoušky ukázaly, že únosnost dle ČSN EN 1995-1-2 je konzervativní. Vzorky o stejné konfiguraci byly podrobeny požární zkoušce podle normové teplotní křivky ISO834. Jednotlivé vzorky byly během zkoušky zatěžovány konstantní silou o hodnotě 10 %, 20 % a 30 % z únosnosti vyhodnocené z testu za běžné teploty. Testy ukázaly, že při stupni využití 30 % všechny zkoušené vzorky dosahovaly vyšší požární odolnosti, než 30 minut. Z jedné konfigurace dosáhl vzorek, při 10% stupni využití, požární odolnosti 90 minut. Podrobněji viz dále v tomto článku. Na základě tohoto poznatku je zřejmé, že metody, uvedené v ČSN EN 1995-1-2 jsou konzervativní, a při nižším stupni využití lze dosáhnout požární odolnosti přes 30 min.

Pro stanovení orientační požární odolnosti je v této práci vytvořen analytický model spoje, jenž může sloužit pro ověření výsledků numerického modelu a případného rozhodnutí o požární zkoušce.

## ANALYTICKÝ MODEL

Analytický model vychází z principů posouzení spoje za běžné teploty dle ČSN EN 1995-1-1 [4], kde jsou uvedeny tři možné stavy porušení znázorněné na Obr. 1. V prvním případě nastává porušení v důsledku otláčení dřevěného prvku v oblasti svorníku. Ve druhém případě má na únosnost vliv otláčení dřevěného prvku a plastická únosnost spojovacího prvku – kolíku/svorníku. Ve třetím případě je únosnost ovlivněna plastickým momentem spojovacího prvku – kolíku/svorníku. Pro výpočet únosnosti je uvažováno vystavení požáru dle normové teplotní křivky ISO834. Jsou redukovány materiálové charakteristiky – mez pevnosti svorníku a mez kluzu spojovací desky. Současně jsou redukovány geometrie průřezu a materiálové charakteristiky dřeva za zvýšené teploty.



Obr. 1 Stavy porušení [4]

Fig. 1 Failure modes [4]

Pro ocelové prvky je průběh teploty prvku stanoven dle přírůstkové metody (1) dle ČSN EN 1993-1-2 [5].

$$\Delta\Theta_{a,t} = k_{sh} \cdot (A_m/V) / (c_a \cdot \rho_a) \cdot \dot{h}_{net} \cdot \Delta t \quad (1)$$

Exponovaná plocha  $A_m$  se v průběhu vystavení požáru zvětšuje v důsledku snižování tloušťky  $d_{char,0}$  (2) odhoříváním dřeva.

$$d_{char,0} = \beta_0 \cdot t \quad (2)$$

Výpočet návrhové hodnoty tepelné pohltivosti na jednotku plochy  $\dot{h}_{net}$  je uveden v ČSN EN 1991-1-2 [6]. Dle studie [7] je polohový faktor pro určení teploty vložené desky závislý na vzdálenosti desky od povrchu. Ten se se zvyšující vzdáleností od povrchu blíží k nule. Díky tomu se deska, která je nižší než výška průřezu spoje, prohřívá pomaleji než deska, která je stejně vysoká jako dřevěný průřez.

Průřez dřeva je redukován metodou redukováných vlastností dle ČSN EN 1995-1-2 [1]. Tloušťkou  $d_{char,n}$  (3) je průřez redukován.

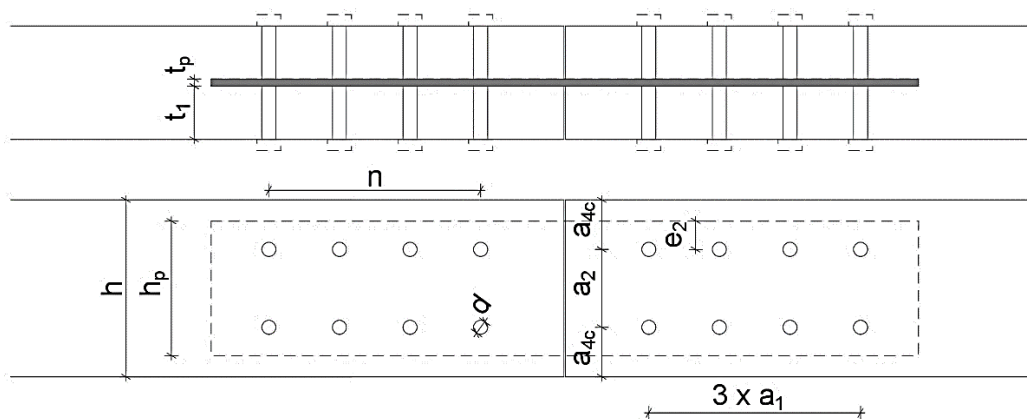
$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t \quad (3)$$

Redukční součinitel pevnosti v tlaku  $k_{mod,fi}$  se poté získá z obvodu vystaveného požáru a plochy zbytkového průřezu. (4)

$$k_{mod,fi} = 1,0 - (1/125) \cdot (p/A_r) \quad (4)$$

## APLIKACE MODELU NA ZKOUŠENÝCH KONFIGURACÍCH

Pro ověření analytického modelu jsou vypočteny únosnosti spoje na základě provedených zkoušek. Na Obr. 2 je znázorněna geometrická konfigurace spoje. V tab. 1 jsou uvedeny parametry jednotlivých konfigurací zadávané do analytického modelu. Testované vzorky byly zhotoveny ze dřeva GL24h s objemovou hmotností  $450 \text{ kg/m}^3$ . Mez pevnosti spojovacího plechu byla  $360 \text{ MPa}$  a kolíku/svorníku  $300 \text{ MPa}$ .

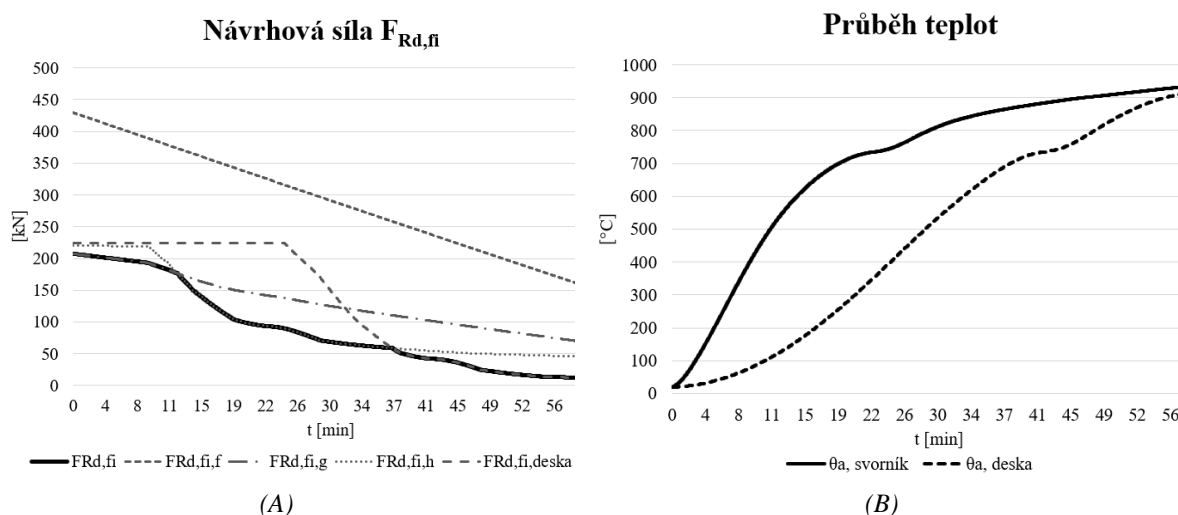


Obr. 2 Geometrická konfigurace spojů  
Fig. 2 Geometrical configuration of joints

Tab. 1 Geometrická konfigurace testovaných spojů vložená do analytického modelu  
Tab. 1 Geometrical configuration of tested joints inserted to the analytical model

Ozn.	d	t <sub>1</sub>	t <sub>p</sub>	h	h <sub>p</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>4c</sub>	e <sub>2</sub>	n
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	-
A'	16	76	8	252	114	112	64	95	25	4
A'13d	16	76	8	254	114	208	64	95	25	4
B'	20	75	10	292	143	140	80	107	32	4
C'	12	77	6	212	87	84	48	83	20	4
D'	20	100	10	288	143	140	80	107	32	4

Ukázka výsledků analytického modelu je na Obr. 3. Z grafu je vidět, že na únosnosti při konfiguraci A' má největší podíl plastický moment kolíku/svorníku a následně vlastnosti spojovací desky, která je při odhořívání vystavena účinkům požáru s měnícím se polohovým faktorem a poté zvětšujícím se exponovaným povrchem.  $F_{RD,fi}$  je výsledná únosnost.  $F_{RD,fi,f}$  je únosnost v otlacení dřeva.  $F_{RD,fi,g}$  je únosnost v otlacení dřeva a plastického momentu kolíku/svorníku.  $F_{RD,fi,h}$  je únosnost plastického momentu kolíku/svorníku.  $F_{RD,fi,deska}$  je únosnost oslabeného průřezu spojovací desky.



(A) (B)  
Obr. 3 (A) Únosnost za požáru - A'; (B) Průběh teplot  
Fig. 3 (A) Bearing capacity due to fire - A'; (B) Temperature evolution

Zkoušené vzorky byly zatěžovány 10 %, 20 % a 30 % své únosnosti za běžné teploty. V analytickém modelu byla stanovena doba, kdy dojde k poklesu únosnosti pod zatěžovací sílu získanou z provedených zkoušek. Tato doba je poté porovnána se skutečnou dobou únosnosti získané ze zkoušky, viz Tab. 2.

Tab. 2 Srovnání požární odolnosti dle analytického modelu s experimenty [2]

Tab. 2 Comparison of fire resistance due to analytical model with experiments data [2]

Označení	$\eta_{fi}$	$t_{fi, test}$	$t_{fi, analytický}$	Chyba
	[%]	[min]	[min]	
A'	10	55	48	14,6
	20	41	39	5,1
	30	36	36	0,0
A' 13d	30	36	34	5,9
B'	10	52	72	27,8
	30	37	41	9,8
C'	10	54	45	20,0
	30	39	32	21,9
D'	10	90	83	8,4
	30	45	46	2,2
Průměrná chyba				11,6

## ZÁVĚR

V článku je popsán přístup navrhování spojů podle ČSN EN 1995-1-2 na účinky požáru, který je pro nechráněné spoje omezen na požární odolnost 30 minut. Ze zjištění, že spoje mohou dosahovat vyšší požární odolnosti než 30 minut, byl v rámci této práce vytvořen analytický model pracující na principech přístupu návrhu za běžné teploty, avšak s redukovanými materiálovými charakteristikami jednotlivých komponent. Pro redukční součinitele jsou teploty ocelových komponent vypočteny dle přírůstkové metody ČSN EN 1993-1-2. Dřevěné prvky jsou redukovány metodou redukování vlastností dle ČSN EN 1995-1-2. Výsledné hodnoty analytického modelu jsou porovnány s provedenými zkouškami z předchozích studií. Průměrná chyba analytického modelu vychází 11,6 %. Ta je pravděpodobně zapříčiněna omezeními analytického modelu, jež je nutné brát v úvahu. Model především nezohledňuje vedení tepla z kolíků/svorníků do dřeva, a tím rychlejší odhořívání v oblasti kolíků/svorníků. Dále není zohledněn přestup tepla z kolíku/svorníku do spojovací desky. Toto je nejvíce viditelné na konfiguracích s větším průměrem svorníku a větší hloubkou hrany desky od povrchu, což má vliv na polohový faktor. Analytický model může sloužit pro určení pravděpodobné požární odolnosti jako verifikace pro numerické modely a následnou možnou požární zkoušku pro validaci.

## LITERATURA

- [1] ČSN EN 1995-1-2 Eurokód 5: *Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru*, 2006
- [2] M. AUDEBERT, D. DHIMA, M. TAAZOUNT a A. BOUCHAIR. Numerical investigations on the thermo-mechanical behavior of steel-to-timber joints exposed to fire. *Engineering Structures* [online]. nedatováno, 2011. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029611003361?via%3Dihub>
- [3] P. RACHER, K. LAPLANCHE, D. DHIMA a A. BOUCHAIR. Thermo-mechanical analysis of the fire performance of dowelled timber connection. *Engineering Structures* [online]. nedatováno, 2010. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029609004350>
- [4] ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: *Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*, 2006
- [5] ČSN EN 1993-1-2 Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru*, 2006
- [6] ČSN EN 1991-1-2 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí - Část 1-2: Obecná zatížení - Zatížení konstrukcí vystavených požáru*. 2004
- [7] PEDRO PALMA a ANDREA FRANGI. Modelling the fire resistance of steel-to-timber dowelled connections loaded perpendicularly to the grain [online]. nedatováno, 2017. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379711217307257?via%3Dihub>



## ANALÝZA STYČNÍKOVÉHO SPOJE PROVEDENÉHO POMOCÍ DESKY S OBOUSTRANNĚ PROLISOVANÝMI TRNY VLOŽENÉ MEZI DŘEVĚNÉ PRVKY

### ANALYSIS OF TIMBER JOINT WITH DOUBLE-SIDED PUNCHED METAL PLATE FASTENER EMBEDDED BETWEEN TIMBER ELEMENTS

**Bc. Petra Schindlerová**

#### *Abstract*

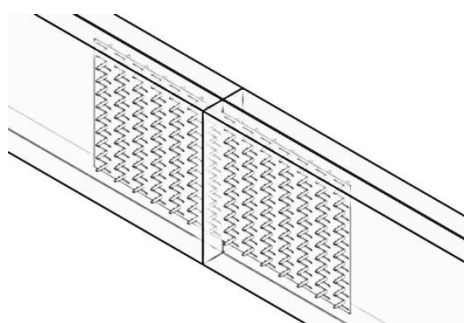
*The aim of this paper is to present the analytical calculation of the fire resistance of a timber joint with a double-sided punched metal plate fastener embedded between timber elements. The calculation is performed according to the Eurocode 3 and the Eurocode 5 for the structural fire design. A joint in tension is considered. The fire resistance is defined by the time of reaching the critical temperature of the metal plate. The gas temperature development is given by the nominal standard temperature-time fire curve. The increase of temperature in the metal plate is determined by steel temperature development method with consideration of the charring depth of timber members. The calculation gives 20 minutes of fire resistance for the joint with timber members 35 mm thick. Based on the gained results, the timber members can offer an effective protection for the metal plate fastener during a fire event.*

**Key words:** timber; fire; joint; fastener; double-sided punched metal plate

#### ÚVOD

Ocelové desky s prolisovanými trny se využívají při spojování dřevěných prvků stejné tloušťky v jedné rovině. Známé jsou svým využitím ve styčnicích příhradových vazníků. Desky mají trny prolisované z jedné strany a zalisovávají se do dřevěných prvků z vnější strany. Z požárního hlediska je tento typ spoje nejméně spolehlivý. Kolaps vazníku se styčnicovými deskami s prolisovanými trny bývá náhlý a dochází k němu po 5-10 minutách požáru. Příčinou ztráty stability dřevěné konstrukce je tenká ocelová deska, která účinky vysoké teploty měkne a ve spojích dochází k rychlému poklesu únosnosti. [1]

Návrhem oboustranně prolisované desky a jejím vložením mezi dřevěné prvky (Obr. 1), je možné vytvořit spoj, který bude vykazovat vyšší požární odolnost. Dřevo slouží jako účinná ochrana ocelových prvků před účinky požáru. Při požáru se na povrchu dřevěných prvků vytváří vrstva dřevěného uhlí, která působí jako izolační vrstva [2].



*Obr. 1 Ocelová deska s oboustranně prolisovanými trny vložená mezi dřevěné prvky  
Fig. 1 Double-sided punched metal plate inserted between timber elements*

Inspirací nového technického řešení styčnicového spoje dřevěných konstrukcí jsou práce zabývající návrhem ocelové desky s oboustranně prolisovanými trny jako spřahovacího prostředku pro dřevobetonové stropy. Při tomto využití je ocelová deska zalisovaná mezi dvojicí dřevěných nosníků, část desky přesahuje nosníky a je určena pro spřažení s betonovou deskou. Z výsledků prací lze vyvodit, že oboustranně prolisovaná deska spolehlivě spojuje dřevěné prvky. [3]

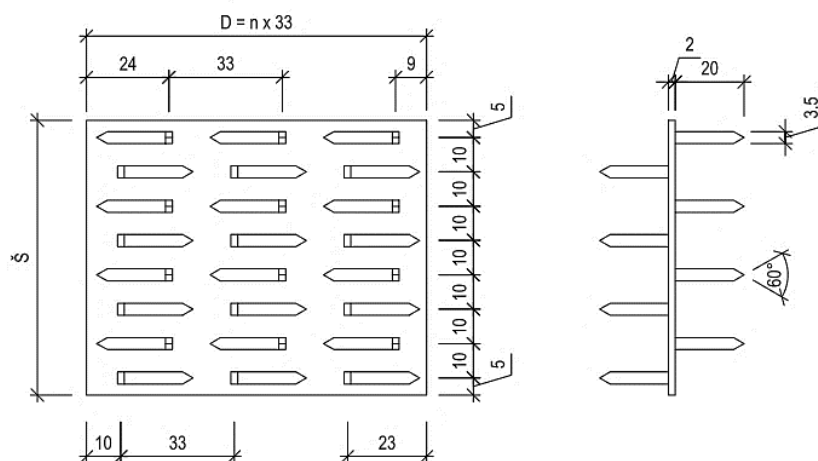
## PŮSOBENÍ SPOJE ZA BĚŽNÉ TEPLoty

Z hlediska mechanického působení patří styčnickové desky s prolisovanými trny mezi spojovací prostředky povrchového typu, u kterých dochází k přenosu sil na povrchu konstrukčních prvků [4]. Síla je ve spoji přenášena z dřevěných prvků do trnů, z trnů je přenášena do kovové desky a přes spáru spoje prostřednictvím trnů do konstrukčních prvků na druhé straně spoje [2]. U oboustranně prolisované desky lze předpokládat stejný způsob přenosu sil.

Navrhování spojů s deskami s prolisovanými trny se provádí podle postupů uváděných v normách ČSN EN 1995-1-1 [5] a ČSN 73 1702 [6]. Pro stanovení únosnosti spojů dle normových vzorců je třeba znát charakteristické pevnostní vlastnosti styčnickové desky, které se stanovují na základě zkoušek popsáných v ČSN EN 1075 [7]. Pro mezní únosnost spoje je rozhodující pevnost zakotvení trnů v konstrukčním prvku nebo únosnost desky ve spáře mezi dřevěnými prvky [2].

## NÁVRH SPOJE S OBOUSTRANNĚ PROLISOVANOU DESKOU

V současné době výrobci desek s prolisovanými trny nenabízí žádné oboustranně prolisované, které by mohly být navrženy pro nosný spoj. Z toho důvodu je nejdříve proveden návrh nového typu desky s oboustranně prolisovanými trny. Návrh desky vychází z geometrie styčnickové desky BV20 [8]. Ocelová deska s prolisovanými otvory je ze žárově pozinkovaného plechu tloušťky 2 mm. Délka prolisovaných trnů je 20 mm, šířka 3,5 mm. Po délce desky je rozteč prolisovaných trnů 33 mm, vzdálenost mezi řadami trnů je 10 mm. Každá druhá řada trnů je prolisována na opačnou stranu desky (Obr. 2).



Obr. 2 Geometrie navržené desky s oboustranně prolisovanými trny  
Fig. 2 Geometry of the designed double-sided punched metal plate

Pro analýzu spoje je v této práci uvažován styčník tažených prutů, pro který je navržena ocelová deska šířky 200 mm. Průřez dřevěných prvků je dimenzován s ohledem na únosnost ocelové desky ve stykové spáře v kritickém řezu a také dle normových pravidel pro navrhování spojů s prolisovanými styčnickovými deskami. Kritický řez ocelové desky je v místě otvorů po prolisovaných trnech. Proces návrhu spoje zahrnuje iterační postup, který vychází z výsledků přírůstkové metody. Konečný návrh šířky dřevěných prvků je 35 mm s výškou průřezu 240 mm, materiálem je jehličnaté dřevo.

## ANALÝZA SPOJE ZA POŽÁRNÍ SITUACE

Doba požární odolnosti stavební konstrukce je určena časem, kdy dojde k porušení jednoho z mezních stavů, který je u konstrukce požadován. U staticky namáhané konstrukce je požadovanou funkcí únosnost a stabilita, mezní stav R. Ke ztrátě stability dřevěných konstrukcí se spoji mechanickými prostředky z oceli dochází při překročení kritické teploty ocelového prvku. Spoj v tomto okamžiku ztrácí únosnost.

Pro výpočet kritické teploty je předpokládáno rovnoměrné rozložení teploty v průřezu styčnickové desky. Nárůst teploty v ocelové desce je určen přírůstkovou metodou a současně s uvážením hloubky zuhelnatění dřevěných prvků. Analýza je provedena podle ČSN EN 1993-1-2 [1] a ČSN EN 1995-1-2 [5] pro navrhování konstrukcí na účinky požáru. Rozvoj teploty plynů v okolí je popsán nominální normovou teplotní křivkou podle ČSN EN 1991-1-2 [10].

Hloubka zuhelnatění je vzdálenost mezi vnějším povrchem původního dřevěného prvku a polohou čáry zuhelnatění, jež odpovídá poloze izoterm 300 °C [4]. Hloubka zuhelnatění se zahrnutím účinku zaoblení rohů a trhlin je dána nominální hloubkou zuhelnatění  $d_{char,n}$ , která se určí z výrazu (1):

$$d_{char,n} = \beta_n t \text{ (mm)}, \quad (1)$$

kde  $\beta_n$  – nominální návrhová rychlost zuhelnatění ( $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ),  
 $t$  – doba vystavení účinkům požáru (min).

Pokud čára zuhelnatění dosahuje trnů ocelové desky, zuhelnatění postupuje rychleji, viz výraz (2):

$$d_{char,n} = k_{flux} \beta_n t \text{ (mm)}, \quad (2)$$

kde  $k_{flux}$  – součinitel zohledňující zvětšený tok skrz spojovací prostředek (-).

Požární odolnost je v této práci stanovena prostřednictvím času dosažení kritické teploty v ocelové desce  $\theta_{a,cr}$ . Kritická teplota je uvažována pro nejnepríznivější stupeň využití  $\mu_o$ , viz výpočet (3):

$$\theta_{a,cr} = 39,19 \ln[1/(0,9674 \cdot \mu_o^{3,833}) - 1] + 482 = 39,19 \ln[1/(0,9674 \cdot 1^{3,833}) - 1] + 482 = 349,1 \text{ °C} \quad (3)$$

Přestup tepla do ocelové desky je stanoven analytickou přírůstkovou metodou, s uvážením dvou fází přestupu tepla. V první fázi je ocelový prvek izolován dřevěnou hmotou, výpočet je proveden přírůstkovou metodou pro chráněnou konstrukci. Druhá fáze výpočtu nastává, když čára zuhelnatění dosahuje trnů ocelové desky a dochází k postupnému prohořívání dřeva kolem trnů k desce. Výpočet nárůstu tepla v oceli je ve druhé fázi proveden přírůstkovou metodou pro nechráněné konstrukce.

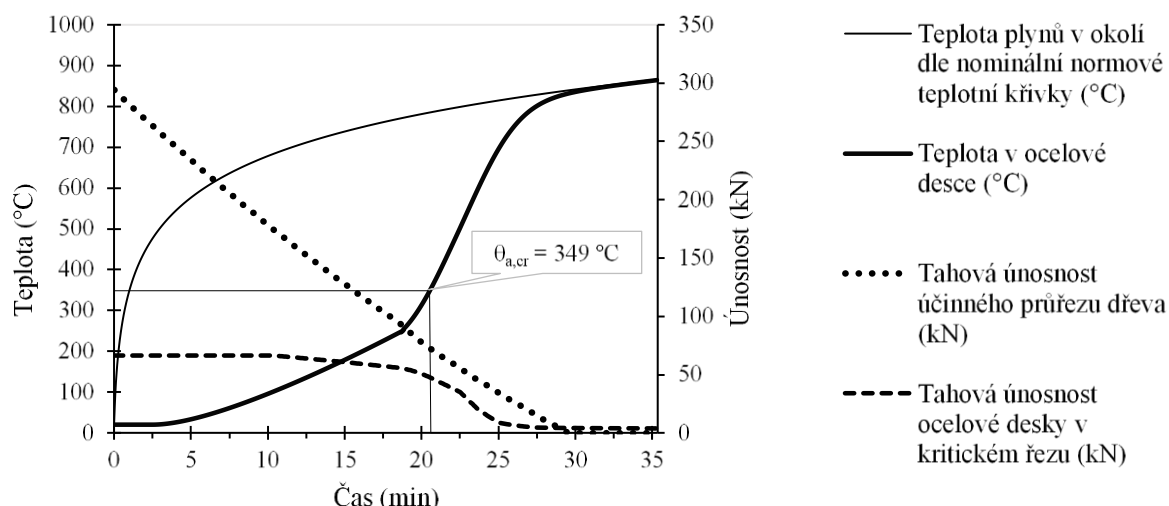
Tab. 1 Výsledné hodnoty získané z analytické přírůstkové metody a hloubka zuhelnatění

Tab. 1 Calculated results of the temperature development method and the charring depth

Čas		Teplota plynů v okolí $\theta_g$ (°C)	Hloubka zuhelnatění $d_{char}$ (mm)	Přírůstek teploty		Teplota v ocelové desce $\theta_{a,t}$ (°C)
t (s)	t (min)			I. fáze $\Delta\theta_{a,t}$ (°C)	II. fáze $\Delta\theta_{a,t}$ (°C)	
0	0,00	20,00	0,00	0,00	-	20,0
5	0,08	96,54	0,07	0,00	-	20,0
1120	18,67	771,08	14,93	1,64	-	247,5
1125	18,75	771,75	15,03	-	2,97	250,5
1230	20,50	785,03	17,13	-	5,71	345,0
1235	<b>20,58</b>	785,64	17,23	-	5,80	<b>350,8</b>

V čase 20,58 minuty od vzniku požární situace je překročena kritická teplota v ocelové desce.

Současně s hloubkou zuhelnatění a narůstající teplotou v ocelové desce byly ověřovány průběhy tahové únosnosti jednotlivých prvků. Únosnost dřevěných prvků je stanovena metodou účinného průřezu. Výpočet únosnosti ocelové desky za požáru je proveden pro kritický řez. Z grafu na Obr. 3 vyplývá, že při dosažení kritické teploty, nedochází k významnému poklesu únosnosti ocelové desky. Únosnost dřevěných prvků je v tomto bodě vyšší než hodnota únosnosti ocelové desky za běžné teploty.



Obr. 3 Únosnost jednotlivých prvků spoje, teplota v ocelové desce a kritická teplota  
 Fig. 3 The load capacity of single elements, temperature in metal plate and the critical temperature

## ZÁVĚR

V práci byla zjišťována požární odolnost spoje s oboustranně prolisovanou deskou vloženou mezi dřevěné prvky. Ocelová deska tloušťky 2 mm byla posuzována mezi dřevěnými prvky šířky 35 mm. Kritériem stanovení požární odolnosti byla vypočítaná kritická teplota, tato je rovna 349,1 °C. Požární odolnost spoje, určená analytickým výpočtem, je 20 minut. Zbytková tahová únosnost při dosažení kritické teploty u ocelové desky činí 47,47 kN, to je 72 % z únosnosti za běžné teploty, zbytková únosnost dřevěných prvků je rovna 72,39 kN. Na základě získaných výsledků lze tvrdit, že ocelová deska je účinně chráněná za požární situace i při návrhu poměrně malé tloušťky dřevěných prvků.

## LITERATURA

- [1] KUPILÍK, Václav. Spojie dřevěných konstrukcí za požáru. *Střechy, fasády, izolace*. 2014, **21**(7), 32–34. ISSN 1212-0111.
- [2] KOŽELOUH, Bohumil. *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5. STEP 1*. Zlín: KODR, 1998. ISBN 978-80-238-2620-3.
- [3] KUKLÍK, P., P. NECHANICKÝ a A. KUKLÍKOVÁ. Development of prefabricated timber-concrete composite floors. In: *World Conference on Timber Engineering 2012 (WCTE 2012)*. 2012, s. 519–526. ISBN 978-1-62276-305-4.
- [4] KUKLÍK, P. a A. KUKLÍKOVÁ. *Navrhování dřevěných konstrukcí: příručka k ČSN EN 1995-1*. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87093-88-7.
- [5] ČSN EN 1995-1-2. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Praha: ÚNMZ. 2006.
- [6] ČSN 73 1702. *Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: ÚNMZ. 2007.
- [7] ČSN EN 1075. *Dřevěné konstrukce – Zkušební metody – Spojie se styčnickovými deskami s prolisovanými trny*. Praha: ÚNMZ. 2000.
- [8] BOVA: *Katalog spojovacích prostředků* [online]. Dostupné z: [http://www.bova-nail.cz/upl/ke\\_stazeni/100001s\\_Katalog\\_20BOVA.pdf](http://www.bova-nail.cz/upl/ke_stazeni/100001s_Katalog_20BOVA.pdf)
- [9] ČSN EN 1993-1-2. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Praha: ÚNMZ. 2006.
- [10] ČSN EN 1991-1-2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*. Praha: ÚNMZ. 2004.

## ČÁSTEČNĚ POŽÁRNĚ CHRÁNĚNÉ KONSTRUKCE

### PARTIALLY FIRE-PROTECTED STRUCTURE

**Bc. Patrik Dobrovolný**

#### *Abstract*

*This paper reviews in its first part studies focussed to the topic passive fire protection of steel structures during fires. Further is for numerical study of asked length of partial fire protection determined non-linear model of the thermal conductivity coefficient.*

**Key words:** *fire; steel construction; passive fire protection; heat transfer analysis; partial fire-protection*

#### ÚVOD

Požárně nechráněné ocelové prvky konstrukce dosahují vlivem velké tepelné vodivosti oceli a malé hmotnosti prvků požární odolnosti kolem R15. Chráněné prvky podle typu ochrany R30 až R240. Dříve se typ a tloušťka požární ochrany prvků konstrukce navrhovala na snížení teploty prvku na 450 °C až 560 °C. Dnes se navrhuje na požadovanou požární odolnost prvků, částí nebo celé konstrukce. Při požárním návrhu části nebo celé konstrukce se lze přiblížit realitě modely požárních scénářů, požáru, přestupu tepla do konstrukce a celé konstrukce vystavené zvýšeným teplotám. Lze tak přesně předpovědět požární odolnost. Při návrhu části nebo celé konstrukce není obvykle nutné část nosníků a ztužidel požárně chránit. V konstrukci vznikají spoje mezi požárně chráněnými a nechráněnými prvky. Požární ochrana se realizuje na spoje a přetahuje na požárně nechráněné prvky. Délka přesahu se dosud určovala empiricky. Z experimentů a požárů na skutečných budovách je známo, že při rychlém vystavení konstrukce zvýšené teplotě při požáru se vlivem rychlosti vedení tepla v oceli v prvcích, které jsou požárně chráněny, teplota požárně chráněných prvků po desítkách mm rovná teplotě prvku požárně chráněného. Na otázku, po jaké délce požární ochrany je teplota prvku požárně chráněného zvýšena jen o 5 % je zaměřena připravovaná práce. Problematikou se zabývala řada pracovišť.

#### NUMERICKÁ STUDIE ČÁSTEČNĚ POŽÁRNÍ OCHRANY STROPNIC INTUMESCENTNÍM NÁTĚREM

Práce se zabývala stanovením vzdálenosti požární ochrany vedlejších prvků pro požární zpěňující nátěry. Nejprve byl stanoven součinitel tepelné vodivosti nátěru stanovený z rovnice pro přírůstkovou metodu. Následně byl sestaven numerický model. V tomto modelu bylo cílem získat takovou vzdálenost ochranného nátěru, která by zaručovala rozdíl teplot mezi vedlejším a hlavním prvkem nosné konstrukce maximálně 2 %. Simulace probíhala po dobu 180 min, nebo do okamžiku dosažení teploty hlavního prvku 750 °C. V modelu byla prověřena rozsáhlá škála možností. Součinitele průřezů se pohybovaly od 55 m<sup>-1</sup> do 315 m<sup>-1</sup>. Tloušťka nátěru poté od 0,2 mm do 2,5 mm a délka nátěru od místa připojení poté od 400 mm do 1100 mm. Výsledkem simulace bylo poznání, že vzdálenost požární ochrany se zvětšuje se zvětšující se tloušťkou požární ochrany a snižujícím se součinitelem průřezu. Není tedy vhodné používat plošně stejnou vzdálenost požární ochrany pro stejný zpěňující nátěr na různých profilech o různých tloušťkách. [1]

#### EXPERIMENTÁLNÍ STUDIE POŽÁRNĚ CHRÁNĚNÉHO PRŮVLAKU S NECHRÁNĚNÝMI STROPNICEMI

Byl vyzkoušen požárně chráněný průvlak HEA 240 s připojenými stropnicemi HEA 100 bez požární ochrany. Průvlak byl navržen délky 4,7 m. Nechráněné stropnice byly upevněny ve vzájemné vzdálenosti 600 mm. Během zkoušky byly měřeny vývoj teploty a mechanická odezva do kolapsu konstrukce. Průvlak je ošetřen epoxidovým nátěrem tloušťky 6,2 mm. Zkouška probíhala podle uhlovodíkové

křivky. Na začátku zkoušky bylo mechanické zatížení 92 kN, které se postupně v krocích podle deformace průvlaku snižovalo o 10 kN. Zkouška byla ukončena po 75 min. Vzhledem k tomu, že stropnice byly bez požární ochrany, docházelo k významnému ohřevu průvlaku v místě připojení stropnic. Podle výsledků testu byla připravena numerická analýza vlivu požární ochrany stropnic na výslednou únosnost konstrukce. Bylo uvažováno s požární ochranou na celou délku stropnic. Podle očekávání došlo ke zvýšení času do kolapsu konstrukce v rozsahu několika minut. [2]

## POŽÁRNÍ OCHRANA HORNÍ ČÁSTI TĚŽEBNÍ PLOŠINY

Práce zkoumala požární ochranou vedlejších nosných prvků na těžebních plošinách, která se obvykle pohybuje okolo 450 mm. Byla vytvořena simulace, ve které byly porovnány dva modely, objemový a skořepinový. Výsledky byly srovnatelné. Byly prověřeny vzdálenosti požární ochrany měnicí se od 0 cm do 100 cm. [3]

Na základě výše zmíněných analýz byl sestaven model požáru pro horní modul, skládající se ze tří podlaží. Požární zatížení mělo průběh dle uhlovodíkové křivky. Požár byl vymodelován jako koule s konstantním tepelným tokem, jehož maximum bylo stanoveno na 200 kW/m<sup>2</sup>. Požár byl umístěn do šesti různých míst. Požáry byly umístěny v blízkosti hlavních nosných sloupů, prostředních sloupů a uprostřed modulu. Během studie bylo prověřeno osm variant požární ochrany vedlejších nosných prvků od možností bez ochrany až po ochranu po celé délce těchto prvků. Z výsledků studie lze vyčíst, že zvolená vzdálenost 450 mm lze uvažovat jako správnou. [3]

## ANALYTICKÝ MODEL DÉLKY POŽÁRNÍ OCHRANY

V práci byl připraven analytický model pro návržení délky částečné požární ochrany pomocí teorie přenosu tepla jedním směrem. Základním předpokladem je, že teplota ocelového prvku před ztrátou únosnosti se pohybuje od 580 °C do 750 °C v závislosti na poměru využití, štíhlosti a vybočení podpor. Běžné teplotní křivky byly v analytickém postupu nahrazeny průměrnou teplotou. Dalším předpokladem je rovnoměrné vystavení celého obvodu nosníku požáru. Model vychází z úpravy Fourierova zákona a vede na rovnici ve tvaru:

$$\frac{T-T_f}{T_i-T_f} = \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right) e^{\left(\frac{a\bar{h}S}{KV}\right)} \quad (1)$$

V rovnici (1) jsou vlastnosti tepelné ochrany obsažené v  $\bar{h}$ , zatímco  $K$  se vztahuje k tepelné vodivosti oceli. Pro prismatickou tyč  $S/V = H_p/A$  což je teplotní tvarový součinitel. Tloušťka požární ochrany je počítána z  $S/V = H_p/A$  chráněného prvku. Řídící diferenciální rovnice je rovnice (1). Je vidět že všechny parametry kromě délky požární ochrany jsou známy. Výsledky požární ochrany dle rovnice (1) byly porovnány s výsledky několika požárních testů, v blízkosti připojení vedlejšího prvku byly poté výsledky srovnatelné. [4]

## NÁVRHOVÝ PROGRAM NA ČÁSTEČNĚ CHRÁNĚNÉ PRVKY

Společnost Promat vyvinula numerický nástroj PROMAT<sup>®</sup> Semi-3D, která umožňuje rychlé stanovení délky požární ochrany bez nutnosti trojrozměrné analýzy konečných prvků celé geometrie posuzovaného spojení. Dvourozměrný model a zachová parametry průřezů hlavního i připojeného nosného prvku, pomocí účinné tloušťky, která je navržena rovna součiniteli průřezu vynásobeného plochou průřezu. [5]

Řešení bylo verifikováno na 29 příkladech řešených ve 3D. Jednotlivé příklady pokrývají různé geometrické a materiálové kombinace. Například změnu součinitele průřezu hlavního i připojeného prvku, připojené prvky různých velikostí, připojení prvku na stojinu, nebo přírubu. Dále jednotlivé připojení, nebo dvojité. Tvar a orientace připojeného prvku, změna délky a tloušťky požární ochrany. Výsledky z plných 3D modelů jsou srovnatelné s výsledky s náhradní tloušťkou. Při zkracování délky požární

ochrany je ale program konzervativnější. Program není validován na experimentech ani verifikován na simulace požární ochrany obklady. [5]

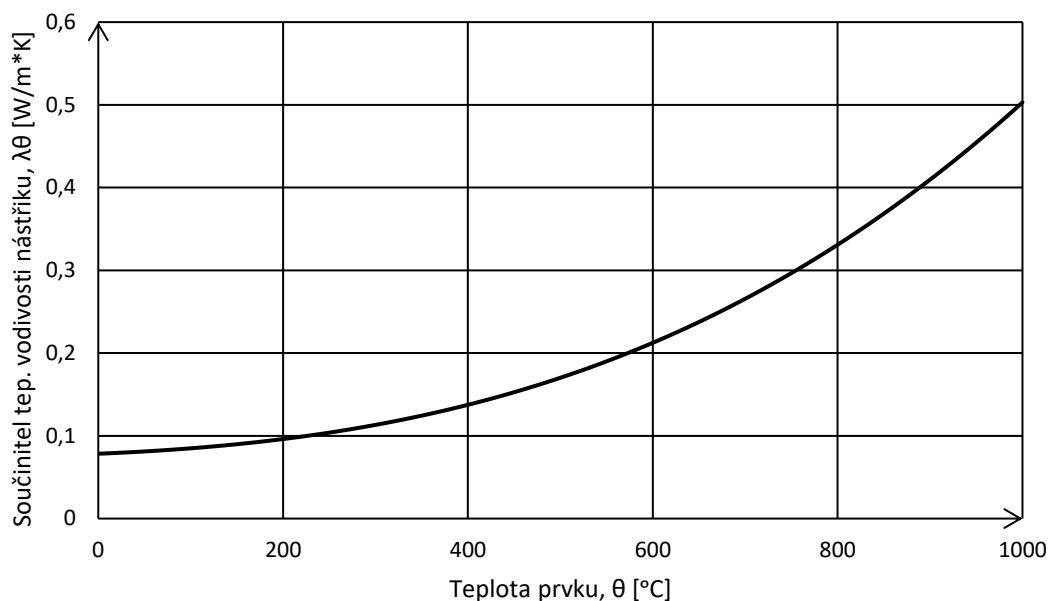
### NELINEARITA TEPELNÉ VODIVOSTI

Pro využití v diplomové práci byl stanoven nelineární průběh tepelné vodivosti požárního nástřiku TER-FIX v závislosti na teplotě z výsledků poskytnutých požárních zkoušek. Jednalo se o zkoušky 18 různých průřezů. Tloušťka požární ochrany se pohybovala od 7 mm do 40 mm. K výpočtu byla použita metoda nejmenších čtverců v programu Microsoft Excel. Během výpočtu byla hustota nástřiku uvažována  $440 \text{ kg/m}^3$  a měrná tepelná kapacita nástřiku  $1100 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ . Obě hodnoty byly ponechány konstantní. Nejprve byla stanovena tepelná vodivost z přírůstkové metody a následně vyjádřena její závislost na teplotě. Pomocí metody nejmenších čtverců byly stanoveny koeficienty  $\lambda_0^*$  a  $C$  pro každý vzorek. Z vypočtených hodnot došlo u dvou výsledků k výrazné odchylce, od ostatních. Tato odchylka zásadně ovlivňovala průměrnou hodnotu koeficientů. Z tohoto důvodu byly finální hodnoty koeficientů uvažovány jako medián z jednotlivých hodnot. Výsledná rovnice pro nástřík má tvar:

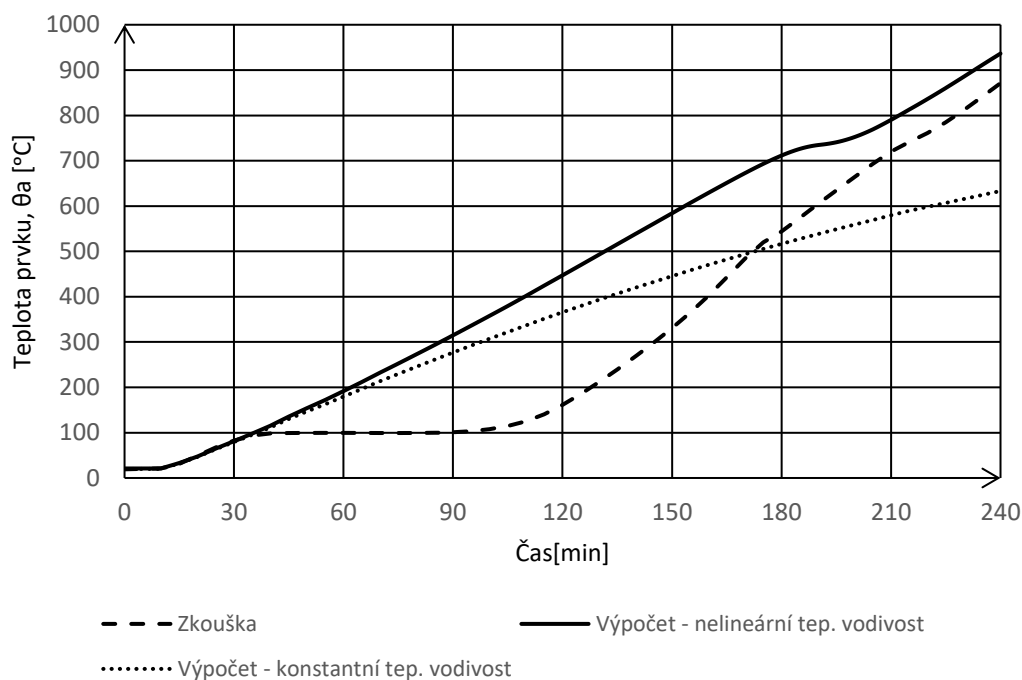
$$\lambda^* = 0,0741 + 2,078 * 10^{-10} * T^3 \quad (2)$$

kde  $T$  je teplota prvku [K].

Průběh tepelné vodivosti nástřiku je znázorněn na Obr. 1. Poté byl porovnán průběh teploty naměřené během zkoušky a vypočítaný s nelineárním součinitelem tepelné vodivosti. Porovnání je znázorněno na Obr. 2.



Obr.1 Průběh součinitele tepelné vodivosti vyjádřený z výsledků zkoušek  
Fig.1 The course of the thermal conductivity coefficient expressed from the test results



Obr.2 Porovnání teploty pro konstantní a teplotně závislou tepelnou vodivost na HEA 200, tloušťka požární ochrany 40 mm

Fig.2 Comparison of temperature for the constant and temperature dependant thermal conductivity on HEA 200, fire protection thickness 40 mm

## ZÁVĚR

Příspěvek shrnul problematiku částečné požární ochrany prvků ocelových konstrukcí. Seznámil s experimentálními, numerickými i analytickými pracemi, které se na problematiku zaměřily. Pro numerické modelování problematiky je třeba popsat nelineární tepelné vlastnosti materiálu konstrukce. Nelinearita oceli je dobře známá. Nelinearita pasivní požární ochrany se pro předpokládanou konstantní tepelnou kapacitu a hustotu popisuje nelineárním průběhem součinitele tepelné vodivosti. Získaný model bude použit v připravované diplomové práci pro sestavení numerického modelu problematiky MKP programem ANSYS. Modelována bude délka požární ochrany při změně její tloušťky, průřezu sloupu, nosníku a přípoje. Cílem je získat požadovanou délku pomocí analytického modelu.

## LITERATURA

- [1] PODOLSKI, D., Y.Ch. WANG a J. YUAN. *Numerical investigation of intumescent 'coatback' on unprotected secondary beams [online]*. Dostupné z: <https://www.taylorfrancis.com/books/e/9781315107202/chapters/10.1201/9781315107202-18>
- [2] AMDAHL, J., T. HOLMÅS a B. SKALLERUD. *Ultimate strength of structural members with attachments during accidental fires [online]*. B.m.: Norwegian University of Science and Technology SINTEF, Trondheim, Norway. 2003. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/267712943\\_Ultimate\\_Strength\\_of\\_Structural\\_Members\\_with\\_Attachment\\_During\\_Accidental\\_Fires](https://www.researchgate.net/publication/267712943_Ultimate_Strength_of_Structural_Members_with_Attachment_During_Accidental_Fires)
- [3] FRIEBE, M., B.S. JANG a Y. JIM. *A parametric study on the use of passive fire protection in FPSO topside module. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering [online]*. 2014, 6(4), 826–839. ISSN 20926782. Dostupné z: doi:10.2478/IJNAOE-2013-0216
- [4] YASSERI, S. *Coat-back length in passive fire protection. In: Offshore mechanics and artic engineering conference. 2002, s. 621–627.*
- [5] BREUNESE, A. *A Simple Method for Calculation of Coat Back Length [online]*. 2019 [vid. 2019-12-02]. Dostupné z: <https://www.pfpnet.com/wp-content/uploads/2019/02/Coat-Back-Lengths-PROMAT-Paper.pdf>



## PROKÁZÁNÍ POŽÁRNÍ ODOLNOSTI OCELOVÝCH REGÁLŮ A VESTAVEB VE VELKOPLOŠNÝCH SKLADOVACÍCH HALÁCH

### EVALUATION OF THE STEEL RACKS AND SECONDARY STRUCTURES INBUILT IN THE LARGE STORAGEHOUSES IN TERMS OF FIRE SAFETY

**Bc. Petr Bittermann**

#### *Abstract*

*In the first part, this article addresses the partitioning of storehouse steel racks and inbuilt constructions, as well as requirements according to Czech technical standards. Second part consist of thermal comparison between steel beams and column, without using any active equipment designed for fire prevention, while using forced smoke and heat ventilation and finally when sprinkler system is installed.*

**Key words:** *steel rack; storehouse; inbuilt construction; secondary construction; platforms; storage gallery; fire resistance; analysis of heat release*

#### ÚVOD

V současné době je nezbytné skladování různého zboží, to má za následek nedostatek prostoru ve skladovacích halách. Je tedy nutné rozšiřovat tyto skladovací prostory různými systémy jako jsou vysoké regály s plošinami pro obsluhu a zejména pak systémy, které zasahují do více podlaží tzv. mezipatra. Mezipatra (Obr. 1) mohou mít až pět podlaží s plochou jednoho podlaží klidně i několik tisíc m<sup>2</sup>. Ovšem problém nastává v posuzování těchto konstrukcí, normy mají požadavky pouze doporučené, proto je těžké posoudit požární odolnost těchto konstrukcí, na kterých sice přímo nezávisí stabilita objektu, ale jejichž kolaps může mít ve skutečnosti fatální následky pro evakuaci, zásah jednotek Hasičského záchranného sboru a dokonce může druhotně ovlivnit nosnou konstrukci haly či celistvost obvodového pláště apod.



*Obr. 1 Mezipatro [2]*

*Fig. 1 Mezzanine [2]*

#### DRUHY SKLADOVANÍ

Skladováním se rozumí souhrn činností, které vykonávají funkci skladu, tzn. způsobilost přejímky zásob, zaskladnění, popř. zhodnocení užité hodnoty, vydávání zásob, úkony potřebné k manipulaci zásob [1]. V Tab. 1 jsou uvedeny druhy skladovacích systémů.

Tab. 1 Skladovací systémy [1]

Tab. 1 Storage systems [1]

Typ jednotkového břemena	Skladovací systém
paletizované zboží	přestavitelné ocelové regály
	jednostranně a oboustranně průjezdné paletové regály
	regály pro zakladače
	paletové regály s volným přístupem
malé díly ukládané mechanicky	regály s volným přístupem pro malá břemena
	vícepodlažní regály pro malá břemena
malé díly ukládané ručně	policové regály
	vícepodlažní policové regály
	konzolové policové regály pro obchod – gondoly
	Mezipatra
dlouhá jednotková břemena	konzolové regály
	kazetové regály
pohyblivé skladování paletizovaného zboží	přesuvné regály
	dynamické skladování v regálech
	regály s pohyblivými vozíky
pohyblivé skladování malých dílů	přesuvné policové regály
	dynamické skladování v policových regálech
	karusely a skladovací výtahy

## POŽÁRNÍ ODOLNOST

Hodnoty požárních odolností jsou pouze doporučené. Jejich splnění posuzuje oprávněný projektant (požární specialista), který posuzuje splnění konkrétních podmínek zejména s ohledem na dobu evakuace z předmětných prostor. Zřídkka bývá požadavek na požární odolnost také zakotven v požárně bezpečnostním řešení a vzešel právě z přítomnosti trvalých pracovních míst na vestavbě, nebo požadavku Hasičského záchranného sboru při vydání stanoviska s odvoláním na možné provedení zásahu. Ve všech případech by měly být položky splněny, protože pokud by dotčené konstrukce měly nedostatečnou požární odolnost, docházelo by k rozšíření požáru nebo zvýšení intenzity požáru. Jsou-li chráněny části konstrukce, které mohou být tepelně namáhané při požáru a závisí na nich stabilita technického, technologického či jiného zařízení, tak lze považovat požární odolnost za splněnou. [3]

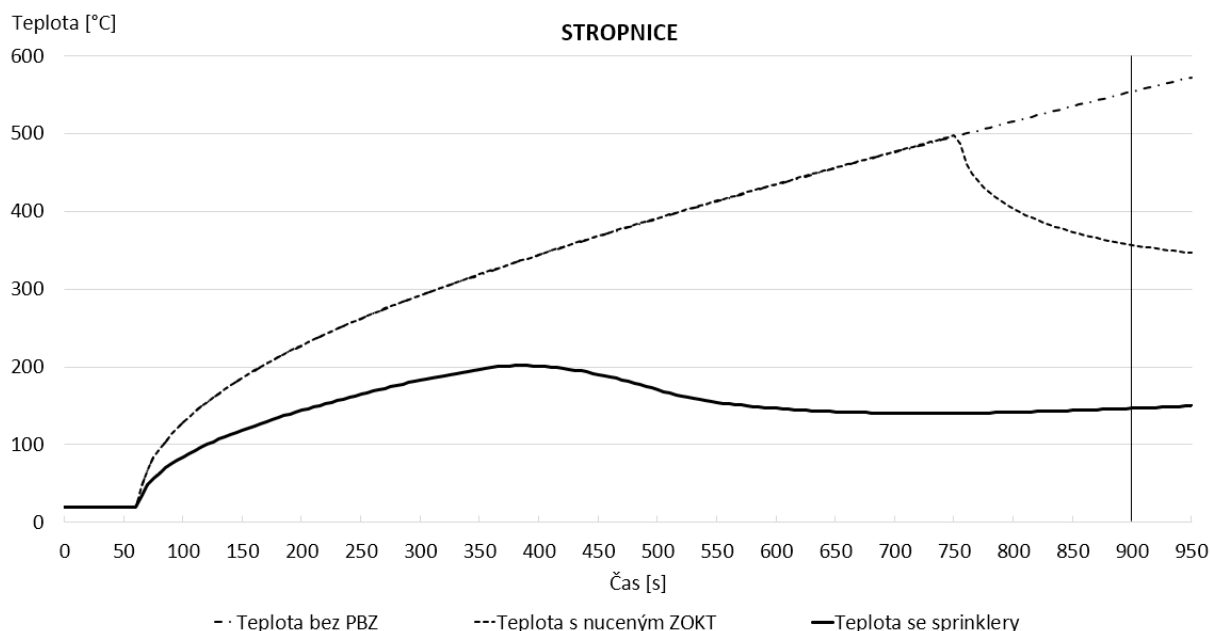
V prvních nadzemních podlažích výrobních požárních úseků, ve kterých jsou umístěny vestavby, jenž mají nejvýše tři podlaží, se při určení počtu podlaží nebo výšky objektu ( $h$ ) a mezních rozměrů požárního úseku nemusí přihlížet k těmto vestavbám, pokud: a) požárně dělící a nosné konstrukce, které zajišťují stabilitu objektu (a to i vestaveb) jsou druhu DP1; b) jsou vestavby samostatnými požárními úseky a mají požárně oddělené únikové cesty od nechráněných únikových cest požárního úseku, přičemž z každé vestavby musí vést alespoň jedna cesta přímo na volné prostranství; c) jejich celková půdorysná plocha je: 1) menší než 15 % půdorysné plochy požárního úseku, v němž jsou umístěny, nejvýše však 300 m<sup>2</sup>, nebo 2) menší než 25 % půdorysné plochy požárního úseku, v němž jsou umístěny, pokud součinitel  $c \leq 0,7$  a pokud požární úseky vestavby, které jsou ve IV. a vyšším stupni požární bezpečnosti, mají součinitel  $c \leq 0,85$ . Součinitel  $c$  zohledňuje instalaci požárně bezpečnostních zařízení v požárním úseku. Zvýšení požární bezpečnosti napomáhá aktivní požárně bezpečnostní zařízení a opatření, jenž mají podstatný vliv na požární a ekonomické riziko. Aktivní požárně bezpečnostní zařízení a opatření zahrnují: a) možnost rychlého zásahu jednotkami požární ochrany; b) samočinné stabilní hasicí zařízení; c) samočinné odvětrávací zařízení. Varianty b) a c) jsou podmíněny instalací elektrické požární signalizace. [3]

Na rozdíl od přímého požadavku na požární odolnost regálové konstrukce či sekundární konstrukce mezaninu, požadavek na vybavení PBZ je v normách přímo uveden. Přítomnost těchto zařízení má při výpočtu požární odolnosti ocelové konstrukce výrazný vliv, a proto se zde otevírá možnost stanovit požární odolnost takových konstrukcí aplikací požárního inženýrství. Pro ohýbané prvky průřezu třídy 4 se uvažuje kritická teplota  $\theta_{crit} = 500$  °C [4]. Pro tlačené prvky průřezu třídy 4 se uvažuje kritická teplota  $\theta_{crit} = 450$  °C. [4]

## ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Řešený příklad spočívá v porovnání teplot s použitím požárně bezpečnostních zařízení a následným statickým posouzením prvků. První část se skládá ze statického výpočtu za běžné teploty. V druhé části je statický návrh za zvýšené teploty pomocí součinitele  $A_m/V$  a následně zjištěné kritické teploty. Pro další výpočty teplot byl použit program CFAST, ve kterém byl pro simulaci vytvořen úsek kouřové sekce o rozměrech 40 x 50 m. Jako zdroj požáru byly uvažovány plastové přepravky z polypropylenu, ve kterých je umístěn stejný materiál, přepravky jsou umístěné přibližně uprostřed prostoru na podlaze. Zde byl nadefinován požár s HRR polypropylenu s postupně přibývajícím hořícím materiálem.

Cílem bylo zjistit teploty v čase 15 minut bez použití požárně bezpečnostního zařízení, s použitím nuceného zařízení pro odvod kouře a tepla, s použitím sprinklerů a porovnání s normovou teplotní křivkou. Poté následovalo určení redukčních součinitelů meze kluzu a meze pevnosti oceli s následným výpočtem únosnosti prvků za zvýšené teploty. Na Obr. 2 a 3 je vidět průběh teplot s použitím jednotlivých požárně bezpečnostních zařízení. Pro nucený odvod kouře a tepla bylo použito ventilátorů ve střeše o ploše 1 m<sup>2</sup>, průtokem vzduchu 3,2 m<sup>3</sup>/s a s teplotou spuštění 92 °C v celkovém počtu 10 kusů. Sprinklery byly umístěny ve výšce 2,9 m, jsou tedy přímo ve vestavbě, jejich vzdálenost je 2,5 m a aktivační teplota je 68 °C. V rámci článku je vyobrazena stropnice a sloup.

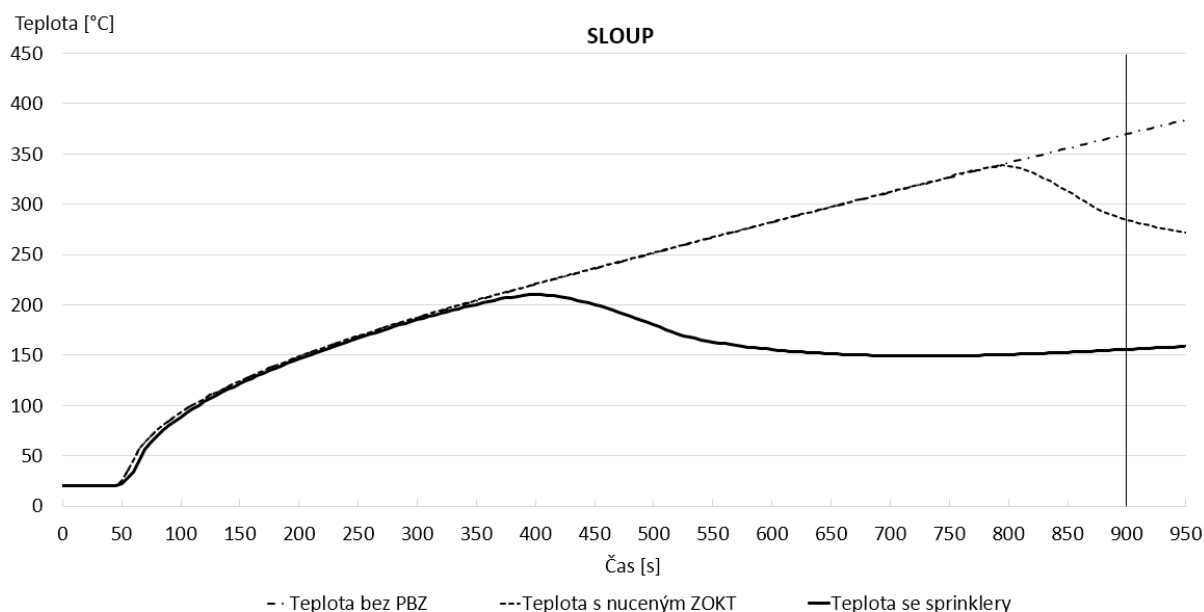


Obr. 2 Průběhy teplot na stropnici  
Fig. 2 Temperature profiles on the beam

Tab. 2 Porovnání teplot a únosností stropnice

Tab. 2 Comparison of temperatures and load-bearing capacity of the joist

Stropnice	T [°C]	$K_{y,0}$ [-]	$M_{pl,Rd}$ [kNm]	$M_{Ed}$ [kNm]	$V_{pl,Rd}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]	
Kritická teplota průřezu	675,16	0,290	12,756	12,240	57,417	13,600	Vyhovuje
Bez PBZ	553,62	0,614	27,006	12,240	121,566	13,600	Vyhovuje
SOZ nucené	356,36	1,000	43,985	12,240	197,991	13,600	Vyhovuje
Sprinklery	146,78	1,000	43,985	12,240	197,991	13,600	Vyhovuje
Normová teplotní křivka	738,56	0,184	8,093	12,240	36,430	13,600	Nevyhovuje



Obr. 3 Průběhy teplot na sloupu  
Fig. 3 Temperature profiles on the column

Tab. 3 Porovnání teplot a únosností sloupu

Tab. 3 Comparison of temperatures and load-bearing capacity of the column

Sloup	T [°C]	$K_{y,0}$ [-]	$K_{E,0}$ [-]	$N_{b,Rd}$ [kN]	$N_{Ed}$ [kN]	
<b>Kritická teplota průřezu</b>	622,20	0,417	0,270	121,048	164,916	Nevyhovuje
<b>Bez PBZ</b>	369,81	1,000	0,730	315,614	164,916	Vyhovuje
<b>SOZ nucené</b>	284,65	1,000	0,845	339,711	164,916	Vyhovuje
<b>Sprinklery</b>	155,73	1,000	0,944	372,784	164,916	Vyhovuje
<b>Normová teplotní křivka</b>	738,56	0,184	0,115	52,077	164,916	Nevyhovuje

## ZÁVĚR

Z Tab. 2 a 3 je patrné, že nejnižších teplot dosahuje varianta se sprinklery. Únosnost prvků, u kterých byla teplota určena z normové teplotní křivky je nedostačující. Totéž platí pro kritické teploty sloupu. Teploty s použitím nuceného odvodu kouře a tepla jsou v průměru o 50 % nižší. Teploty s použitím sprinklerů a jsou v průměru o 72 % nižší. Sprinklery jsou tedy nejúčinnějším požárně bezpečnostním zařízením z hlediska dosažení požární odolnosti těchto konstrukcí.

## LITERATURA

- [1] BUDŇÁKOVÁ, Michaela a Antonín DUŠÁTKO. *Skladové objekty a jejich provoz z pohledu bezpečnostních, hygienických a požárních předpisů*. Olomouc: ANAG, 2012. ISBN 978-80-7263-756-0.
- [2] OHRA, Regalanlagen GmbH. *Skladovací plošiny* [online]. Dostupné z: <https://www.ohra.cz/produkty/skladovaci-plosina/>
- [3] ČSN 73 0804. *Požární bezpečnost staveb - Výrobní objekty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [4] ČSN EN 1993-1-2. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.

## NUMERICKÉ MODELOVÁNÍ ZDĚNÉ SKLENĚNÉ STĚNY PŘI POŽÁRU

### NUMERICAL MODELLING OF GLASS BRICK WALL EXPOSED TO FIRE

**Bc. Anna Vacíková**

#### **Abstract**

*This article is focused on modelling of a glass brick wall exposed to fire. Temperature distribution depends on some facts that cannot be precisely determined and modelled for generalized case, such as  $H$  vs.  $T$  heating curve of glass, material characteristics (different producers use different materials) and influence of fluid glass. In this article there is some temperature distribution for specific case published. There will be detailed theoretical base and sensitivity analysis processed in subsequent thesis.*

**Key words:** glass brick fire resistance; thermal analysis; glass-transition temperature; numerical modelling; Ansys Mechanical

#### **ÚVOD**

Předmětem této práce jsou zděné stěny z plných skleněných cihel spojovaných maltou prodávanou pod názvem Vetromalta. Plné skleněné cihly mají oproti běžněji používaným dutým skleněným cihlám vyšší tepelnou vodivost, ale také vyšší pevnost v tlaku i tahu. Proto se nejčastěji uplatňují jako nosné prvky, na které nejsou kladeny požadavky na prostup tepla (sloupy, zábradlí, dělicí stěny uvnitř objektu apod.). Tato práce je zaměřena na chování stěny z plných skleněných cihel při požáru a navazuje na diplomovou práci [1], ve které byl vytvořen 1D model vedení tepla dle experimentu společnosti Vitrablok, s.r.o. ve spolupráci s Katedrou ocelových a dřevěných konstrukcí Fakulty stavební ČVUT v Praze.

V rámci navazujícího výzkumu byl vytvořen 3D model využívající metodu konečných prvků v programu Ansys Mechanical. V dalším kroku bude model verifikován, validován a bude provedena citlivostní studie. Model tak může sloužit ke stanovení kritéria izolace pro různé konstrukční uspořádání (tloušťka zdiva, vnitřní a vnější rohy, zaoblení, výztužná žebra aj.), a to pro různé teplotní křivky. Další možností je využití modelu k určení zbytkové tloušťky, případně únosnosti, stěny po požáru.

#### **PŘÍKLADY KONSTRUKCÍ Z PLNÝCH SKLENĚNÝCH CIHEL**

Přestože je použití plných skleněných cihel při zdění konstrukcí stále vnímáno jako netradiční a inovativní, příkladů užití v praxi pomalu přibývá. Některé konstrukce využívají kromě skleněných cihel také nosné ocelové prvky. Mezi takové patří například Optical Glass House v Hirošimě, kde jsou skleněné cihly navléknuté na ocelové závitové tyče. Mezi jednotlivé řady jsou vloženy ocelové pásky pro ochranu cihel při utahování matek na závitech. [2]

Jiné konstrukce však plně využívají potenciál nosných plných skleněných cihel. Pravděpodobně první aplikací je Atocha Memorial, postavený na památku bombových útoků na madridské vlaky v roce 2004, při nichž zahynulo 191 osob a později také jeden policista při snaze zatknout pachatele. [3] Stavba je tvořena plnými skleněnými cihlami spojovanými tenkovrstvým lepidlem vytvrzeným pomocí UV záření. Oválný skleněný válec váží 140 tun a je vysoký 11 m. Uvnitř věže je přetlakem udržována ETFE membrána potíštěná vzkazy od truchlících sepsanými po útoku. Plochou střechu tvoří 10 a 12 mm silné skleněné desky uložené na pěti skleněných trámech délky 8,5 m. Tento impozantní pomník byl odhalen 11. března 2007 u příležitosti třetího výročí přímo naproti nádražní budově. [4]

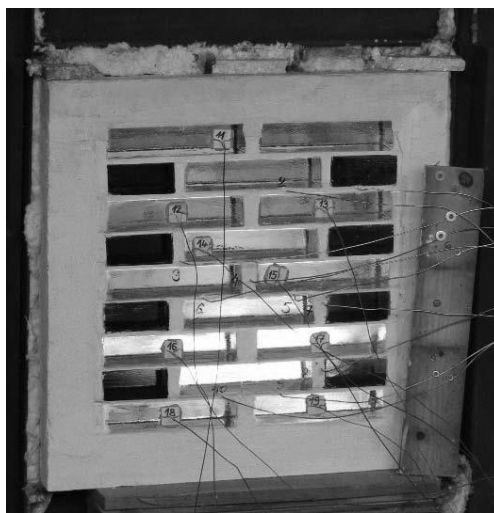
V literatuře mnohokrát popisovaným zástupcem staveb z plných skleněných cihel je budova zvaná Crystal Houses v Amsterdamu. Za účelem modernizace obchodního domu a zároveň zachování historického rázu města byla navržena skleněná fasáda na rozmezí druhého a třetího nadzemního podlaží postupně přecházející v historické terakotové cihly. Na návrhu konstrukce spolupracovalo architektonické studio MVRDV s řadou předních výzkumných pracovišť (Technologickou univerzitou Delft, firmou

ABT, společností Brouwer & Kok aj.). Cihly vyrobila italská sklárna Poesia in Resana ručním odléváním a jako spojovací materiál bylo použito průhledné lepidlo vytvrzované UV zářením, aby spáry nenarušovaly vzhled budovy. [5]

Předchozí dva příklady zahrnovaly použití přesných cihel zděných na tenkou vrstvu lepidla. Poněkud jednodušší na výrobu cihel, technologii zdění a požadavky na přesnost je zdění na obyčejnou maltu. Ta totiž může vyrovnat případné nerovnosti. Tuto technologii měla využít nová věž ve městě Isny na jihu Německa. Na místě původní historické brány měla být vztyčena moderní, ale tradičně zděná, skleněná konstrukce. Návrh se skládal ze 3 tubusů, které se směrem nahoru rozšiřovaly. Nahoře se propojily v jeden prstenec držící ocelovou kouli, ve které bylo dřevěné auditorium pro 120 osob. Pro dosažení téměř pasivní termoregulace byla zvolena tloušťka stěn 50 cm. Takto silná stěna dokáže absorbovat až 90 % sluneční energie a zbytkové teplo může být odváděno potrubním systémem. Pro výrobu cihel si švýcarský architekt Peter Zumthor vybral českou firmu Happy Materials. Zkušební cihly testovali také inženýři z ETH v Curychu a ve Stuttgartu. [6] Navzdory pečlivé přípravě byl projekt vetován téměř ¾ obyvatel města Isny, protože návrh vypadal jako zubní stolička či kalhoty. [7]

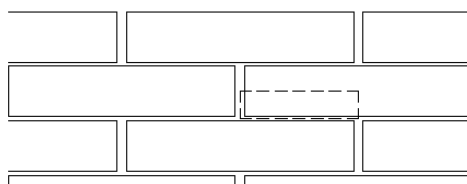
## EXPERIMENT A NUMERICKÝ MODEL

Model přebírá materiálové vlastnosti, geometrii a okrajové podmínky z experimentu, který proběhl v říjnu roku 2017 pod vedením pracovníků Katedry ocelových a dřevěných konstrukcí Fakulty stavební ČVUT v Praze ve spolupráci se společností Vitrablok, s.r.o. Jednalo se o malorozměrový experiment zahřívání zděné stěny z plných skleněných cihel firmy Vitrablok s.r.o. s maltou (označovanou obchodně Vetromalta) jako spojovacím materiálem. Více podrobností o experimentu lze najít např. v článku Performance of glass brick wall exposed to fire [8]. Na Obr. 1 je zobrazena zkoušená konstrukce.



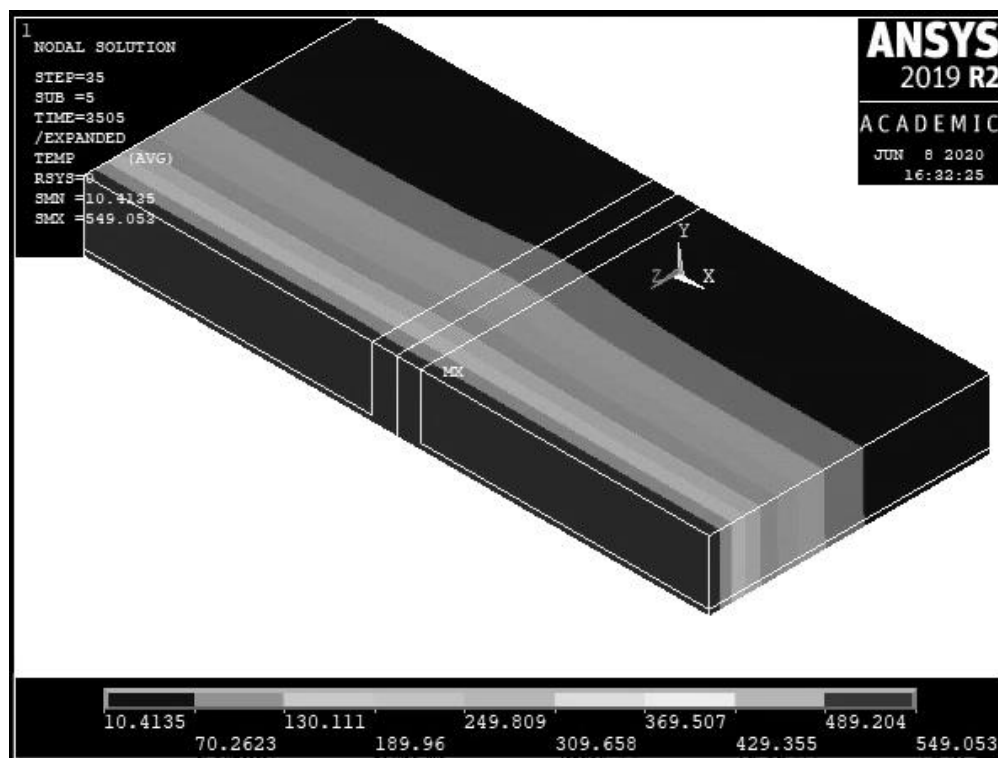
Obr. 1 Zděná skleněná stěna během zkoušky [8]  
Fig. 1 Glass brick wall during the test [8]

Pro snížení výpočtového času a pro zjednodušení zobrazení je v programu modelována pouze taková část, pomocí které lze kopírováním a zrcadlením získat komplexní obraz (Obr. 2). Jde tedy o čtvrtinu cihly a polovinu tloušťky přilehlých spár. Ve směru působení tepla model není nikterak zkrácen.



Obr. 2 Modelovaná část vzorku  
Fig. 2 Modelled part of the sample

Po nastavení tepelného namáhání podle normové teplotní křivky a materiálových charakteristik převzatých z diplomové práce [1] bylo možné sledovat průběh teplot ve vzorku v jednotlivých časových krocích. Obr. 3 ukazuje model v čase 3505 s, po prvním zrcadlení podle osy symetrie. Nejvyšší dosažená teplota je 549 °C. Pozorovat lze vyšší teplotu malty oproti teplotě skla ve stejné vzdálenosti od zahřívajícího povrchu.



Obr. 3 Průběh teplot při zahřívání dle normové teplotní křivky v čase 3505 s

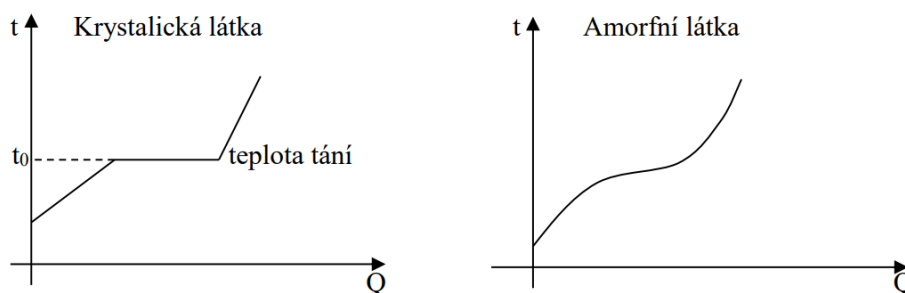
Fig. 3 Temperature distribution according to the Standard nominal fire curve in time 3505 s

## TECHNIKA „ELEMENT BIRTH AND DEATH“

Zásadním bodem modelování tohoto experimentu je napodobení stečení skla na ohříváném povrchu. Po dosažení určité teploty se sklo roztaví a steče dolů. Tepelné namáhání tedy působí na další, dosud pevné vrstvy, a tloušťka konstrukce se postupně zmenšuje. K modelování této skutečnosti bylo zvoleno tzv. umírání prvků. Program Ansys Mechanical pracuje s pojmy „Birth“ a „Death of Element“. To znamená, že lze stanovit čas nebo vlastnost, při které určený prvek přestane být aktivní. Pro tento případ bude zadána akce „Death“ každému prvku, který dosáhne určené teploty. Tuto techniku je plánováno zahrnout v dalším zpřesňování numerického modelu.

## ZJEDNODUŠENÍ VE FORMĚ TEPLoty TÁNÍ NAMÍSTO OBLASTI MĚKNUTÍ

Sklo je látka amorfnní, tedy nemá krystalickou strukturu. Přestože jsou amorfnní látky pevné, lze je považovat za kapaliny s vysokou viskozitou. K jejich tání nedochází náhle po dosažení určité teploty, ale se zvyšováním teploty postupně měknou. Místo bodu tání je tedy možné mluvit o oblasti měknutí (Obr. 4). [9] Pro vytvoření modelu to znamená, že zadání konkrétní teploty tání představuje určité zjednodušení, které bude mít vliv na výsledný průběh teplot, a správná volba této teploty je velmi důležitá pro dosažení relevantních výsledků. V rámci citlivostní analýzy se budu zabývat otázkou, jakou měrou volba teploty tání ovlivní modelovaný průběh teplot.



Obr. 4 Graf závislosti teploty  $t$  na dodaném teple  $Q$ , srovnání pro látky krystalické a látky amorfni [9]  
 Fig. 4 Temperature-Heat graph, comparing crystalline and amorphous solids [9]

## ZÁVĚR

V rámci stávajícího výzkumu je vytvořen model dle provedeného experimentu, který zobrazuje šíření tepla v konstrukci z plných skleněných cihel spojených maltou. K šíření tepla dochází rychleji v maltě než ve skle, a to může mít vliv na celkovou požární odolnost skleněné konstrukce. V navazující diplomové práci k modelu bude zpracována citlivostní analýza. Model může být výchozím bodem pro stanovení požární odolnosti pro kritérium izolace a únosnosti.

## PODĚKOVÁNÍ

Práce je podporována grantem č. 18-10907S Grantové agentury ČR. Poděkování patří rovněž firmě Vitrablok, s.r.o., která poskytla skleněné cihly na výrobu zkušebních těles.

## LITERATURA

- [1] ŠPLÍCHALOVÁ, L. *Stěna ze skleněných cihel při požáru*. Diplomová práce. Praha: ČVUT, 2019
- [2] HUDSON, D. Hiroshi nakamura & NAP: optical glass house. In: DesignBoom [online]. 8. 6. 2020. Dostupné z: <https://www.designboom.com/architecture/hiroshi-nakamura-nap-optical-glass-house/>
- [3] STRAŠÍKOVÁ, L. Španělsko těsně před volbami v roce 2004 zažilo nejhorší teroristický útok v dějinách. In: Hlavní zprávy ČT24 [online]. 9. 6. 2020. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/archiv/1460813-spanelsko-tesne-pred-volbami-v-roce-2004-zazilo-nejhors-i-teroristicky-utok-v-dejinach>
- [4] Pomník obětem bombového útoku na vlakovém nádraží Atocha. In: archiweb [online]. 9. 6. 2020. Dostupné z: <https://www.archiweb.cz/b/pomnik-obetem-bomboveho-utoku-na-vlakovem-nadrazi-atocha>
- [5] HROMKOVÁ, K. Spojením historie a inovace vznikla unikátní fasáda ze skleněných cihel. In: insidecor [online]. 8. 6. 2020. Dostupné z: <https://www.insidecor.cz/blog/spojenim-historie-a-inovace-vznikla-unikatni-fasada-ze-sklenenych-cihel/>
- [6] Nová městská věž v Isny. In: ASB Portal [online]. 5. 6. 2020. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/architektura/obcanske-stavby/kultura/nova-mestska-vez-v-isny>
- [7] MEDINA, S. German Town Rejects Peter Zumthor-Designed Glass Tower. In: architizer [online]. 9. 6. 2020. Dostupné z: <https://architizer.com/blog/inspiration/industry/german-town-rejects-peter-zumthor-designed-glass-tower/>
- [8] SOKOL, Z., ELIÁŠOVÁ, M. Performance of glass brick wall exposed to fire. In: *4th International Conference on Structures and Architecture*. Lisabon. 2019. in print.
- [9] BARÁKOVÁ, T., SYSEL, S., KAŇA, T., KADERÁBEK, Z. Skupenské změny látek. In: Fyzika – Gymnázium Brno, Křenová 36 [online]. 5. 6. 2020. Dostupné z: <https://www.gymkren.cz/wp-content/uploads/13.-Skupenske-zmeny-latek-2015.pdf>



## POŽÁRNÍ ODOLNOST LEPENÝCH KONSTRUKČNÍCH SPOJŮ SKLENĚNÝCH A KOVOVÝCH KONSTRUKCÍ

### FIRE RESISTANCE OF LOAD-BEARING ADHESIVE JOINTS FOR GLASS AND METAL STRUCTURES

**Bc. Matyáš Zakouřil**

#### **Abstract**

*This article contains an up-to-date summary of knowledge about structural adhesives, their behaviour in joints and properties in terms of bonding metal and glass components. The first part of this article describes various material and joint design attributes, pros and cons of adhesively bonded components compared to mechanical bonds (bolts, clamps etc.) and uncertainties involved in adhesive joint design. The second part of this article is experimental. The aim is to investigate properties of a selected adhesive in double lap joint on a small scale experiment. A specimen composed of two glass plates adhesively bonded to steel and aluminium plates were shear stressed, with initial temperature of 22°C, 60°C and 80°C respectively. Tests resulted in a comparison of shear strength and shear modulus and determined decrease of shear modulus in specimens exposed to higher temperatures.*

**Key words:** adhesive joint; strain; shear strength; thermosetting resins; fire resistance

#### **ÚVOD**

Lepené spoje skleněných konstrukcí jsou oblíbené hlavně díky čistému vzhledu, který při použití transparentních lepidel nechá vyniknout všechny architektonické prvky. Výhodou je možnost spojování materiálů různých vlastností (např. ocel a sklo), spojovaný materiál zůstává bez oslabených míst a spojení je homogenní, to umožňuje roznášet zatížení více rovnoměrně (u šroubovaného spoje vznikají špičky napětí, u lepeného nikoliv). Další výhodou je možnost spojování prvků s menší tloušťkou a celková menší hmotnost přípoje, stejně tak jako menší náchylnost spoje proti poškození způsobenému vibracemi.

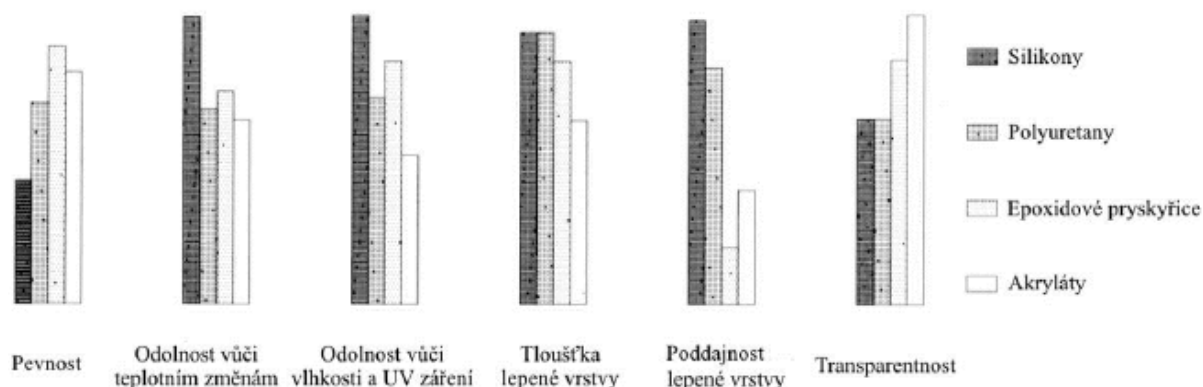
Nevýhodou lepených spojů je nemožnost spoj upravit nebo demontovat po vytvrzení lepidla a mají velké nároky na úpravu spojovaných povrchů. Lepidla v přípoji jsou nepříznivě ovlivněna stárnutím, vysokými teplotami a klimatickými vlivy (UV záření, vlhkost), nepříznivě působí také dlouhodobá nebo cyklická zatížení a vibrace. Při návrhu nosného lepeného spoje je třeba uvažovat všechny tyto vlivy, a to po celou předpokládanou dobu životnosti konstrukce. Vzhledem k nedostatečné znalosti chování lepidel v nosných spojích se v současné době provádí na toto téma výzkum, použití těchto spojů ve skutečných konstrukcích je však stále v počátcích.

Při návrhu spoje záleží především na vlastnostech lepidla a na zatížení, které na daný spoj působí. Spoj musí zajistit dostatečnou flexibilitu z důvodu pohybů způsobených vnitřním pnutím konstrukce a zároveň odolávat všem mechanickým, chemickým i klimatickým zatížením. Lepidla s modulem pružnosti  $E > 50$  MPa mohou způsobit porušení skleněné konstrukce dříve, než dojde k deformaci samotného lepidla. Toto riziko hrozí zejména při excentrickém zatížení, nerovnostech a mikrotrhlinách na povrchu skla. Velmi důležitá je také správná geometrie spoje, výhodné je prvky zkosit nebo opatřit příložkou tak, aby se co nejvíce zvětšila lepená plocha. [1, 2]

Lepené spoje stavebních konstrukcí se dělí z hlediska působení na dva hlavní typy. Prvním typem jsou spoje netuhé (poddajné), využívají lepidla na bázi silikonu nebo polyuretanu, tzv. elastomery. Ty fungují dobře při rovnoměrném zatížení, hůře však odolávají smykovým silám a dlouhodobým zatížením. Jejich předností je parotěsnost a akustická izolace, i proto se často vyskytují ve formě těsnících prvků. Experimentálně určená pevnost v tahu na malých vzorcích se pohybuje v rozmezí 0,8–1,8 MPa, maximální povolená deformace (protažení) je u silikonů 12,5 %.

Druhým typem je tuhý lepený spoj (nepoddajný). K provedení těchto spojů se využívají hlavně epoxidové pryskyřice a akryláty. Na rozdíl od netuhých spojů je lepidlo nanášeno v tenké vrstvě (cca 1 mm),

charakteristická je malá schopnost protažení a vysoká pevnost lepidla. Zároveň je spoj při vyšší pevnosti lepidla více namáhán vnitřním pnutím, které vzniká při nerovnoměrné tloušťce lepidla. Při použití těchto lepidel je třeba dbát zvýšené pozornosti při úpravě lepených povrchů. Při kolapsu tuhého spoje většinou dochází k porušení samotného skla. [1]



Obr. 1 Srovnání vlastností vybraných lepidel za běžných teplot [2]

Fig. 1 Comparison of attributes of selected adhesives in room temperature [2]

## LEPIDLA ZA ZVÝŠENÝCH A VYSOKÝCH TEPLŮ

Do prostředí se zvýšenou teplotou je vhodné navrhovat tuhé spoje, provedené lepidly s vhodnými termickými vlastnostmi. Lepené spoje (nejen skleněných konstrukcí) se všeobecně nepoužívají do konstrukcí s požadavky na požární odolnost, z důvodu velké nejistoty návrhu. Současný výzkum lepených spojů ve stavebnictví se požární problematikou prakticky nezaobírá, testování probíhá spíše v souvislosti s působením zvýšených teplot (do 200 °C) a to hlavně na lepené fasádní prvky.

Silikonové pryskyřice jsou známé pro svojí termickou stabilitu při teplotách do 315 °C, materiál však ztrácí únosnost v rozmezí 230–250 °C. Silikony jsou kvůli své nízké smykové pevnosti používány ve stavebnictví pouze do těsnění, na speciální pásy aj., jsou nevhodné pro nosné spoje.

Modifikované fenolové a epoxidové pryskyřice vynikají skvělou termickou stabilitou za zvýšených teplot a díky spolupůsobení epoxidových molekul mají tato lepidla také dobrou přilnavost k různým povrchům. Obecně jsou tato lepidla schopna vydržet krátkodobé působení do teplot 370 °C, pevnost ve smyku však postupně klesá již od 175 °C. Takto modifikované pryskyřice jsou na trhu velmi časté, z důvodu jednoduché technologie výroby, aplikace a nízké výrobní ceny.

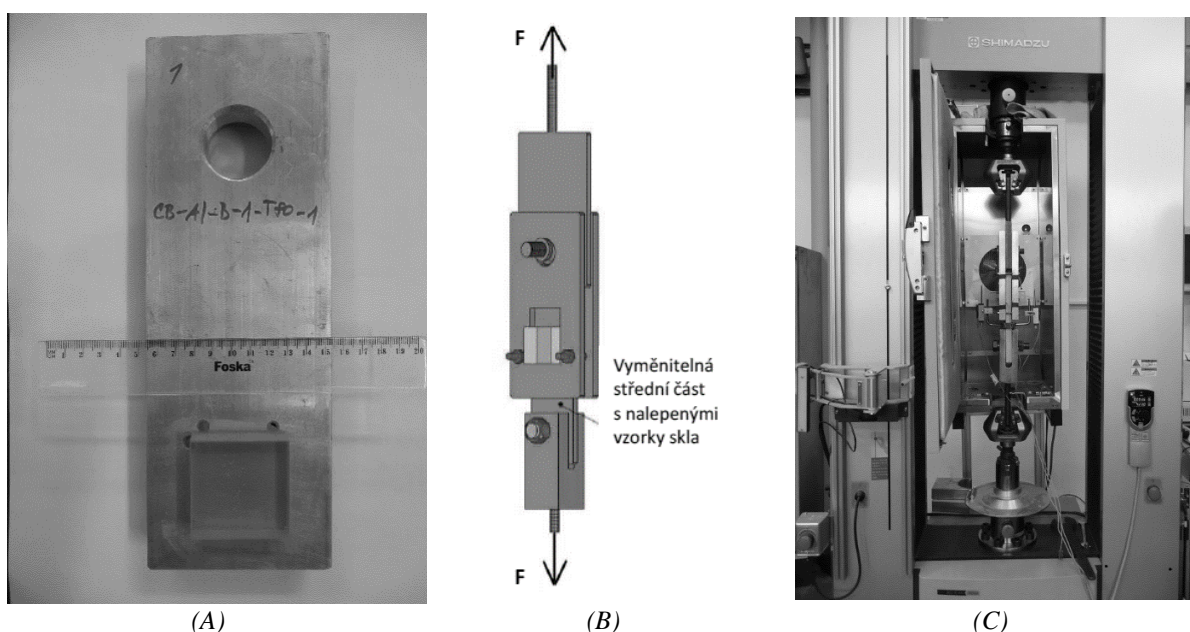
Polyimidy se řadí mezi polyaromatické pryskyřice. Chemické řetězce těchto polymerů jsou velmi robustní, hůře se štěpí a fungují jako pohlcovač tepelné energie. Robustnost řetězců však zároveň omezuje jejich aplikaci, především u těsnících prvků. Redukce pevnosti polyimidů při krátkodobém působení teplot okolo 500 °C je o něco lepší než u modifikovaných fenolů, celková redukce pevnosti je však stále velmi významná. Při teplotách do 300 °C vykazují tyto sloučeniny nejlepší vlastnosti ve srovnání s ostatními dostupnými druhy stavebních lepidel. Nevýhodou zůstává složitý a nákladný proces výroby a vytvrzování, který mimo jiné zahrnuje i použití vakua.

Polymerní lepidla na bázi polybenzimidazolu poskytují vůbec nejlepší vlastnosti při krátkodobém působení vysokých teplot, nicméně rychle degradují vlivem oxidace a jejich použití se nedoporučuje z dlouhodobého hlediska pro teploty vyšší než 230 °C. Konstrukční využití je opět limitováno hlavně vysokou cenou a náročným procesem výroby a vytvrzování. [3, 4]

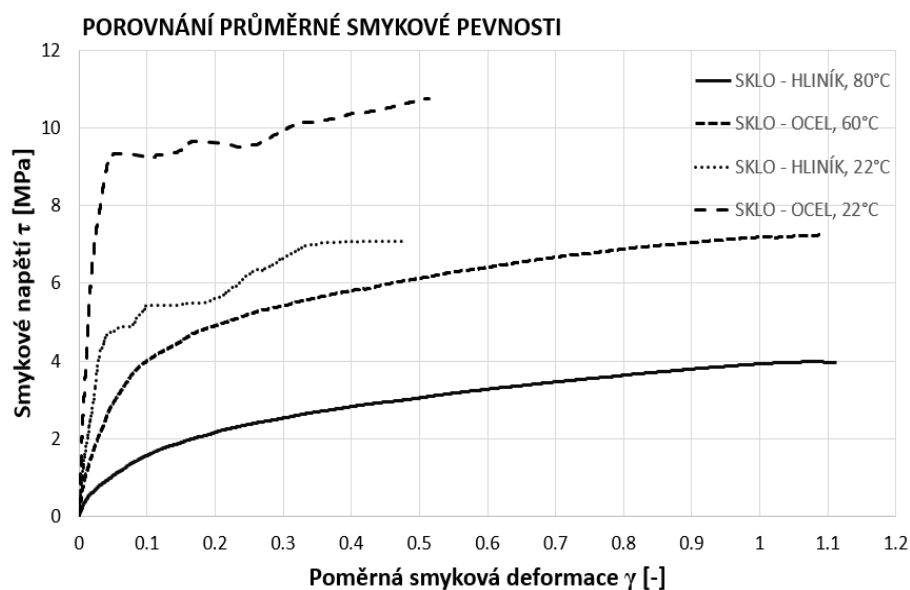
## ZKOUŠKY TĚLES MALÝCH ROZMĚRŮ S LEPIDLEM CRESTABOND M7-05

Cílem experimentů je porovnat způsob porušení a pokles smykové pevnost vzorků zkoušených za zvýšené teploty (+60 °C, +80 °C) s referenční sadou zkoušenou za běžné teploty (+22 °C). Pro účely zkoušky byly vytvořeny 2 sady zkušebních vzorků, každá po 5 kusech (celkem 10 kusů).

Zkušební tělesa byla sestavena jako dvojité přeplátovaný spoj (Obr. 2A). Střední část byla tvořena plechem tl. 20 mm, na který byla z obou stran nalepena skleněná tabule o rozměrech 50 x 50 mm tloušťky 19 mm. Pro každou sadu byl použit jiný materiál středního plechu. V první sadě byla použita pozinkovaná ocel, ve druhé sadě hliník. Pro obě sady bylo použito dvousložkové metylmetakrylátové lepidlo Scott Bader Crestabond® M7-05 o tloušťce 1 mm. Celková plocha lepeného spoje byla 5000 mm<sup>2</sup>. Lepený povrch plechů byl před lepením zdrsňen a očištěn acetonem, skla byla před lepením očištěna a odmaštěna acetonem.



Obr. 2 (A) Zkušební těleso; (B) Zatěžovací schéma sestavy; (C) Umístění sestavy ve zkušební peci  
Fig. 2 (A) Investigated specimen; (B) Configuration scheme; (C) Test configuration in the furnace



Obr. 3 Průměrné smykové pevnosti zkušebních těles za běžných a zvýšených teplot  
Fig. 3 Average shear strength of specimen at room and elevated temperature

Zkušební tělesa byla vložena mezi dva boční hliníkové díly umožňující vyvodit smykové napětí ve vrstvě lepidla, vrstva skla pak byla oddělena od plechu polyamidovou vložkou. Tato sestava (Obr. 2B) byla zkoušena na certifikovaném stroji Shimadzu AGS-X 300kN, který byl připojený k měřicí ústředně Spider 8. Vzorky zkoušené za zvýšené teploty byly ve stejné sestavě umístěny do certifikované zkušební pece stejného výrobce (Obr. 2C). Posun byl měřen dvěma potenciometry s maximálním posunem 25 mm. Rychlost zatěžování byla 1 mm/min. Zkoušky referenční sady probíhaly při teplotě okolí 22 °C a vzdušné vlhkosti 41 %. Vzorky s hliníkovým plechem zkoušené v peci byly temperovány na teplotu 80 °C, vzorky s pozinkovaným ocelovým plechem pak na 60 °C. Vyhodnocení smykových zkoušek bylo provedeno v tabulkovém editoru MS Excel. Zprůměrované výsledky zkoušek jsou znázorněny na Obr. 3 a v Tab. 1.

Tab. 1 Tabulkové vyhodnocení výsledků zkoušky

Tab. 1 Table summary of test results

vzorek	max. hodnota smykového napětí [MPa]	průměrné přetvoření [-]	modul pružnosti ve smyku [MPa]	nejčastější způsob porušení <sup>1) 2)</sup>
sklo – hliník, T 22 °C	7,367	0,476	110,136	S
sklo – hliník, T 80 °C	4,007	1,127	15,872	A
sklo – ocel, T 22 °C	10,876	0,514	141,288	A-K-S
sklo – ocel, T 60 °C	7,699	1,091	49,700	A-K

Poznámka:  
<sup>1)</sup> způsoby porušení A = adhezní, K = kohezní, S = substrát (dosažení pevnosti skla)  
<sup>2)</sup> tučně je vyznačen hlavní způsob porušení vzorku

## ZÁVĚR

Celková smyková pevnost spoje redukovaná při zvýšených teplotách se pohybuje v rozmezí 40–62 % únosnosti za běžné teploty. Poměrná deformace před porušením spoje je jednoznačně větší při zvýšených teplotách. U vzorků za běžné teploty docházelo především k destrukci skla (dosažení jeho pevnosti) a samotná pevnost lepidla tedy nebyla pro únosnost spoje rozhodující. Při zkouškách za zvýšených teplot docházelo u 80 °C k adheznímu porušení (odlepení skla/kovu) a u 60 °C k adhezně – koheznímu porušení (kombinace odlepení a dosažení pevnosti lepidla). Vzhledem k dosaženým výsledkům se dá předpokládat alespoň 50 % redukce únosnosti smykové pevnosti spoje při dosažení 100 °C, což je výrobcem udávaná maximální doporučená provozní teplota. Tato práce bude podkladem pro další výzkum v oblasti lepených spojů za zvýšených teplot v navazující diplomové práci.

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu Ing. Zdeňku Sokolovi, Ph.D. jako vedoucímu této práce a také Ing. Markétě Zikmundové za velmi cennou pomoc s textovou i praktickou částí. Výzkum lepených spojů je podpořen grantem ČVUT č. SGS18/169/OHK1/3T/11 a grantem GAČR č. GA18-10907S.

## LITERATURA

- [1] HALDIMANN, M., A. LUIBLE a M. OVEREND. *Structural use of glass*. Zürich, Switzerland: International Association for Bridge and Structural Engineering, 2008. Structural engineering documents, 10. ISBN 978-3-85748-119-2.
- [2] WURM, Jan. *Glass structures: design and construction of self-supporting skins*. Basel: Boston : Birkhäuser, 2007. ISBN 978-3-7643-7608-6.
- [3] PETRIE, Edward M. *Handbook of adhesives and sealants*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 2007. McGraw-Hill handbooks. ISBN 978-0-07-147916-5.
- [4] BROCKMANN, W., ed. *Adhesive bonding: materials, applications and technology*. Weinheim: Wiley-VCH, 2009. ISBN 978-3-527-31898-8.

## ANALÝZA ZÓNOVÝCH MODELŮ POŽÁRU A JEJICH APLIKACE PŘI NÁVRHU KONSTRUKCÍ

### ANALYSIS OF ZONE FIRE MODELS AND THEIR APPLICATION IN STRUCTURAL DESIGN

**Bc. Nicole Svobodová**

#### **Abstract**

*This paper is focused on a comparison of a fire zone modelling software. An analysis of zone models is performed for five selected computer programs, i.e. Argos, Branzfire, B-RISK, CFAST, and OZone. In each software, two types of fire scenarios are simulated, including fuel-controlled fire and ventilation-controlled fire. The first part of this paper provides a theoretical basis about the burning process of the zone models, including its limits and boundary conditions. In the practical part of this paper, the analysis of the zone models is performed for two types of burning regimes simulated in selected programs. The results are then compared to assess the differences between each program.*

**Key words:** fire models; zone models; fire modelling software; heat release rate; enclosure fire

#### **ÚVOD**

Požární inženýrství je progresivní obor, jehož hlavním cílem je snaha porozumět základním jevům, které probíhají při požáru. S rozšířením využívání informačních technologií v oblasti požárního inženýrství byla během posledních desetiletí vyvíjena velká řada výpočetních programů snažících se modelovat průběh požáru v objektu. Tyto modely hrají důležitou roli při navrhování požární bezpečnosti staveb.

Pomocí matematického modelování jsme schopni numericky popsat průběh a jednotlivé fáze hoření při požáru, rozvoj teploty plynů v čase a další. Jednou z kategorií matematického modelování fungující na principu zpracování matematických rovnic jsou zónové modely, na které je tato práce zaměřena, a to konkrétně na programy využívající zónový model požáru. Matematický základ těchto programů nemusí být však vždy stejný, proto vhodně zvolený software je stěžejní pro získání co nejrelevantnějších výstupů. Pro vhodné zvolení modelu je nutné znát možnosti daného programu a jeho limity.

Tato práce si klade za cíl zanalyzovat vybrané programy využívající zónový model požáru, porovnat jejich výstupy a jednotlivé programy kvantitativně zhodnotit. Cílem není provést verifikaci programů.

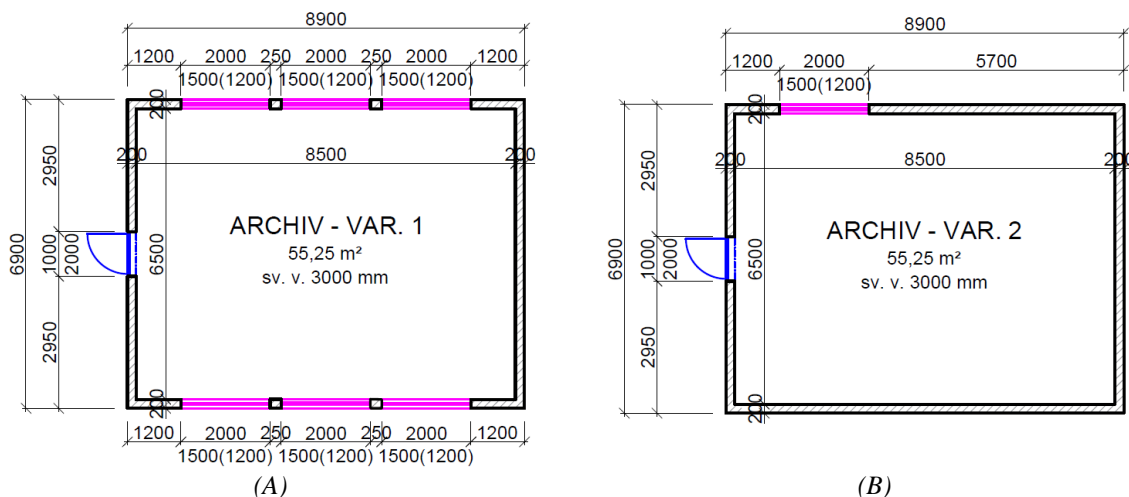
#### **PRŮBĚH POŽÁRU ZÓNOVÉHO MODELU**

Zónové modely požáru patří mezi deterministické matematické modely a vyjadřují ideální průběh požáru v uzavřeném prostoru. Jejich princip spočívá v rozdělení výpočetního prostoru do jedné nebo dvou homogenních zón (vrstev), přičemž každá vrstva má stejnou hustotu, teplotu a koncentraci plynů. Zónové modely se dělí na jednozónové a dvouzónové. Dvouzónový model popisuje průběh požáru v počáteční fázi před prostorovým vzplanutím (flashover efektem). Dochází k ochlazení dolní „studené“ vrstvy přívodem vzduchu z exteriéru přes otvory a horní „horká vrstva“ je zahřívána vzestupným proudem zplodin hoření prostřednictvím tzv. kužele požáru (fire plume). Postupně je v uzavřeném prostoru zvyšováno tepelné zatížení a při překročení předem definovaných limitních hodnot může dojít k flashover efektu, kdy nastane přechod z dvouzónového na jednozónový model požáru. Jednozónový model popisuje požár po fázi celkového prostorového vzplanutí, která je charakteristická zpravidla stálou intenzitou požáru a maximálními teplotami v prostoru.

Zónové modely pracují s parciálními diferenciálními rovnicemi pro zachování hmoty a energie mezi jednotlivými zónami, zanedbávají však rovnice zachování hybnosti a nejsou proto vhodné pro simulace prostorů s jedním převládajícím rozměrem (např. šachty, tunely, chodby) [1], [2].

## ŘEŠENÝ PROSTOR A JEHO PARAMETRY

Řešeným prostorem je požární úsek kancelářského archivu. Jedná se o jednotlivou místnost o rozměrech dle Obr. 1. Místnost je větrána přirozeně okny, dveře jsou trvale uzavřené. Jsou uvažovány dvě varianty této místnosti lišící se pouze počtem okenních otvorů.



Obr. 1 (A) Půdorys řešeného prostoru, varianta č. 1; (B) Půdorys řešeného prostoru, varianta č. 2  
Fig. 1 (A) A floor plan of the examined room, var. 1; (B) A floor plan of the examined room, var. 2

Pro obě varianty řešeného prostoru byly vytvořeny křivky rychlosti uvolňování tepla (HRR), které byly stanoveny dle Eurokódu [3] a pomocí výpočetního programu FMC [4]. Vstupní hodnoty pro program FMC byly převzaty z Přílohy E [3], parametry křivek HRR se lišili pouze v ploše větratelných otvorů. Parametry výstupních křivek HRR z programu FMC jsou pro obě varianty popsány v tab. 1. V případě varianty č. 1 se jedná o požár řízený palivem, u varianty č. 2 jde o požár řízený ventilací. Tyto křivky HRR sloužily dále jako vstupní data pro jednotlivé zónové programy.

Tab. 1 Výsledné parametry křivek HRR

Tab. 1 The resulting parameters of the HRR curves

Popis	Režim hoření	Max. tepelný výkon $Q_{max}$ [MW]	Rozvoj [s]	Ustálené hoření [s]	Dohořívání [s]	Celková doba [s]
Var. č. 1	Řízeno palivem	27,625	789	2107	2031	4927
Var. č. 2	Řízeno ventilací	5,144	341	12619	10910	23870

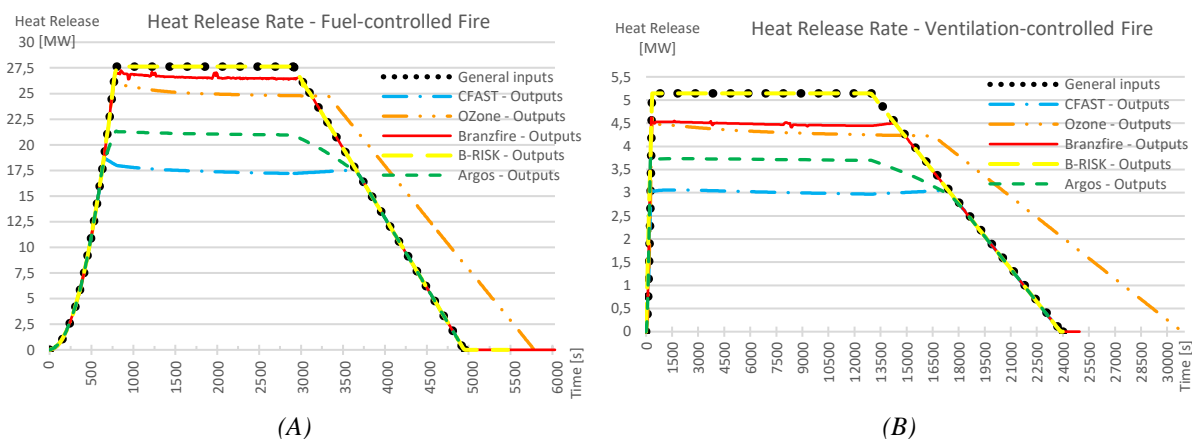
## ANALÝZA ZÓNOVÝCH MODELŮ POŽÁRU

Požár byl pro obě varianty místnosti modelován v programech Argos, Branzfire, B-RISK, CFAST a OZone. V každém programu byla nejprve definována místnost, její rozměry, okenní otvory, materiály konstrukcí a jejich charakteristiky. Bylo uvažováno s hořením materiálu na bázi dřeva s chemickým vzorcem  $C_{43}H_{37}O_5$  a spalným teplem 18,5 MJ/kg. Model vrstvy plynů při požáru byl uvažován dle McCaffreyho. Způsob modelování požáru a požadované množství vstupních parametrů se lišilo v závislosti na možnostech daného programu. Toto bude detailně řešeno v navazující diplomové práci.

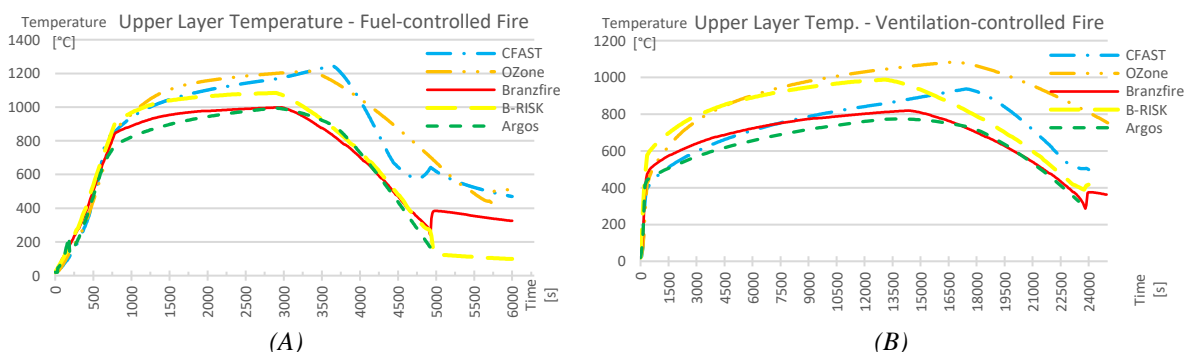
V programu Argos byl požár modelován možností „Data point fire“ a definováním průběhu křivky HRR formou souřadnic. V programech Branzfire a B-RISK byl požár modelován definováním průběhu křivky HRR formou souřadnic, definováním chemického vzorce hořícího materiálu a jeho spalného tepla a v programu B-RISK ještě navíc definováním hustoty požárního zatížení. V případě programu CFAST byl požár modelován t-kvadratickou křivkou HRR, definována byla maximální hodnota HRR

a jednotlivé fáze hoření, chemický vzorec hořícího materiálu a jeho spalného tepla. V programu OZone byl požár simulován možností „Annex E (EN 1991-1-2)“, tj. definováním účelu využití místnosti a plochy požáru. Základní křivka HRR sloužící jako vstup do jednotlivých programů je značena „General Inputs“ (Obr. 2). Programy CFAST a OZone byly schopny si tuto vstupní křivku HRR „vytvořit samy“.

Výstupy z programů byly následně převedeny do tabulkového procesoru MS Excel. Níže jsou vyobrazeny výsledné grafy rychlosti uvolňování tepla (Obr. 2) a teploty plynů horní kouřové vrstvy (Obr. 3).



Obr. 2 (A) Rychlost uvolňování tepla, varianta č. 1; (B) Rychlost uvolňování tepla, varianta č. 2  
Fig. 2 (A) Heat release rate, var. 1; (B) Heat release rate, var. 2



Obr. 3 (A) Teplota horní kouřové vrstvy, varianta č. 1; (B) Teplota horní kouřové vrstvy, varianta č. 2  
Fig. 3 (A) Upper smoke layer temperature, var. 1; (B) Upper smoke layer temperature, var. 2

## ZHODNOCENÍ

Nejvýraznější pokles v grafu HRR oproti vstupní křivce nastal u programu CFAST. Zároveň zde byly zaznamenány nejvyšší teploty kouřové vrstvy. Hlavním důvodem může být významnost vlivu parametrů zadaného paliva na průběh těchto grafů. Např. při zvýšení hodnoty spalného tepla zadaného paliva se průběh HRR přibližoval vstupní křivce, avšak zároveň docházelo k výraznému nárůstu teploty kouřové vrstvy. V případě programu Branzfire a B-RISK nebyl vliv parametrů paliva téměř znatelný. Průběhy uvedených křivek zůstávaly konzistentní i při změně parametrů paliva. Přestože jsou tyto dva programy od stejné společnosti, jsou zřejmě rozdíly ve výstupech. Důvodem poklesu křivky HRR u programu Argos může být vliv parametrů paliva, se kterými program při výpočtech uvažuje. U programu OZone dochází při výpočtech k aproximaci součinitele zohledňující vliv velikosti požárního úseku, a z tohoto důvodu vychází hodnota hustoty požárního zatížení vyšší než při ručním výpočtu. Tato skutečnost může být příčinou rozdílu v průběhu uvedených křivek.

Všechny analyzované programy vyžadují jiné množství a formu vstupních údajů, proto jejich výstupy mezi sebou jsou odlišné. Příčiny těchto rozdílu budou podrobně řešeny v navazující diplomové práci. Porovnání možností jednotlivých programů je znázorněno v Tab. 2.

Tab. 2 Porovnání možností jednotlivých zónových programů

Tab. 2 A capability comparison of the fire zone modelling software

Možnosti programu	Argos	Branzfire	B-RISK	CFAST	OZone
Dvouzónový model	✓	✓	✓	✓	✓
Modelování pouze jednozónovým modelem	X	✓	✓	✓	✓
Modelování více místností	✓	✓	✓	✓	X
Požár v šachtách a chodbách	X	✓	✓	✓	X
Nastavení otevření otvorů při požáru	✓	✓	✓	✓	✓
Databáze definovaných požárů	✓	✓	✓	✓	✓
Více požárů v jedné simulaci	X	✓	✓	✓	X
Posouzení požární odolnosti ocelových prvků	X	X	X	X	✓
Modul Monte Carlo	X	X	✓	X	X
Výstupy v grafech	✓	✓	✓	X	✓
Vizualizace (Smokeview)	X	X	✓	✓	X
Výpočet finančních ztrát vlivem požáru	✓	X	X	X	X
Dostupnost zdarma	X	✓	✓	✓	✓

## ZÁVĚR

Tato práce je zaměřena na analýzu pěti vybraných výpočetních programů využívajících zónový model požáru a jejich následné porovnání a kvantitativní zhodnocení.

Analýza zónových modelů požáru byla provedena v programech Argos, Branzfire, B-RISK, CFAST a OZone. V každém programu byly simulovány dvě varianty režimu hoření, a to požár řízený palivem a požár řízený ventilací. V následném porovnání křivek HRR a průběhu teplot kouřové vrstvy jsou patrné značné rozdíly. Tyto rozdíly jsou nejspíše způsobeny zpracováním vstupních informací a jejich způsobem zadávání do programů. Byla dále zjištěna rozdílnost významnosti vlivu některých údajů (např. parametrů zadaného paliva) na průběhy teplot v jednotlivých programech.

Z dosavadních výsledků uvedených v této práci je patrné, jak se jednotlivé výstupy mohou lišit v závislosti na použitém programu. Příčiny rozdílů ve výstupech a matematický základ jednotlivých programů budou podrobně řešeny v navazující diplomové práci. Nároky jednotlivých programů na množství vstupních informací jsou odlišné. Z tohoto důvodu je volba vhodného programu a způsobu modelování požáru stěžejní pro získání co nejužitečnějších výsledků. Je tedy nutné znát možnosti a nevýhody daného programu a jeho volbu provést s ohledem na charakter vstupních informací.

## LITERATURA

- [1] KARLSSON, B., QUINTIERE, J. *Enclosure Fire Dynamics*. College Park, Maryland, USA: CRC Press LLC, 2000. ISBN 978-048-49313-00-4.
- [2] KUČERA, P., PEZDOVÁ, Z.. *Základy matematického modelování požáru*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2010. ISBN 978-80-7385-095-1.
- [3] EN 1991-1-2. *Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire*. CEN, 2013.
- [4] BENÝŠEK, M., ŠTEFAN, R.. *FMC - Fire Models Calculator* [software online]. Prague: CTU in Prague, Faculty of Civil Engineering, Dep. of Concrete and Masonry Structures, 2015.
- [5] BENÝŠEK, M., ŠTEFAN, R., PROCHÁZKA, J. *Analysis of Fire Resistance of Concrete Structural Members Based on Different Fire Models: An Illustrative Example of the Slab Panel Assessment*. In: 25th Concrete Days 2018. B.m.: Trans Tech Publications, 2019, 2019, s. 173–182. ISBN 978-3-0357-1459-3.



## MODELOVÁNÍ 1D TRANSPORTU TEPLA VE VÍCEVRSTVÝCH PRVCÍCH VYSTAVENÝCH POŽÁRU S VYUŽITÍM METODY KONEČNÝCH DIFERENCÍ A RŮZNÝCH METOD ČASOVÉ DISKRETIZACE

### MODELING OF 1D HEAT TRANSPORT IN MULTILAYER ELEMENTS EXPOSED TO FIRE USING THE FINAL DIFFERENCE METHOD AND DIFFERENT TIME DISCRETIZATION METHODS

Bc. Jiří Peterka

#### Abstract

The main scope of the article is description of modelling heat transport in elements exposed to fire using finite difference method with simple explicit method of time discretization. Main aim of the text is focus on description of individual parts of the software for heat transfer. It describes the principle of calculation, input values to the software, initial and boundary conditions of the calculation and output from the software.

**Key words:** fire; heat transfer; finite-difference method; discrete approximation; simple explicit method

#### ÚVOD

Teplota v konstrukcích rozhoduje o chování konstrukce, o přeměně materiálových vlastností prvku a také o tom, zda dojde ke kolapsu dané konstrukce či nikoliv. Podrobné porozumění tomu, jak se teplo v konstrukci chová, nám poskytne možnost se co nejvíce přiblížit skutečnému chování konstrukce, a díky tomu můžeme provádět efektivní návrh konstrukcí či například provádět přesnější analýzu konstrukcí po požáru. V rámci předdiplomové a diplomové práce je vytvářen nástroj ve formě softwaru na vedení tepla v konstrukcích vystavených požáru, který nám toto umožní.

#### PRINCIP VÝPOČTU

Základní vztah pro sdílení tepla za požáru vychází z Fouriérova zákona a je příkladem parabolické parciální diferenciální rovnice [1]. K vyřešení takovéto rovnice je třeba použít jeden ze způsobů diskretizace diferenciální úlohy. Pro diskretizaci vztahu vedení tepla je v softwaru použita metoda konečných diferencí, která aproximuje původní úlohu nahrazením derivace v diferenciální rovnici vhodnými poměrnými diferencemi [2]. Podle časové úrovně, v níž se hodnotí pravá strana rovnice vedení tepla, rozlišujeme tři základní metody časové diskretizace. Software řešený v této práci je řešen za pomoci *jednoduché explicitní metody*, která vyhodnocuje tepelný tok v časové úrovni  $n$ . Použití explicitní metody v softwaru je znázorněno na Obr. 1. Vyhodnocení v časové úrovni  $n+1$  využívá *jednoduchá implicitní metoda* a kombinaci předešlých využívá *metoda Crank-Nicolson* [1]. Modelování transportu tepla pomocí jednoduché implicitní metody a metody Crank-Nicolson a porovnání všech metod časové diskretizace bude řešeno v rámci navazující diplomové práce.

```
#Vypocet teploty, parametru r a tepelných toku na hranici#
for i in range (1,M):

    r = mtch.alpha(Tn[i],tv_concrete_mez,ro_20,uref)*dt/dx**2
    ad = mtch.alpha_der(Tn[i], tv_concrete_mez, ro_20, uref)
    T[i] = r*(Tn[i+1]+Tn[i-1]) + (1-2*r)*Tn[i] + ad*dt*((T[i+1]-T[i-1]))/(2*dx)**2

r0 = mtch.alpha(Tn[0],tv_concrete_mez,ro_20,uref)*dt/dx**2
ad0 = mtch.alpha_der(Tn[0], tv_concrete_mez, ro_20, uref)
q0 = h0*(T1s-Tn[0]) + epsilon0*stef_bolz*((T1s+273.15)**4 - (Tn[0]+273.15)**4)
tv0 = mtch.tv_concrete(Tn[0], tv_concrete_mez)
T[0] = Tn[0] + r0*(2*Tn[1] - 2*Tn[0] + 2*dx*q0/tv0) + ad0*dt*(q0/tv0)**2
```

Obr. 1 Ukázka použití jednoduché explicitní metody v kódu softwaru

Fig. 1 Example of using a simple explicit method in software code

## SOFTWARE

Software pro nestacionární 1D vedení tepla je vytvořen v programu Python. Základní software umožňuje modelovat transport tepla v jednom směru, v prvcích vystavených požáru s materiálovými charakteristikami závislými na teplotě s jednoduchým zadáváním okrajových podmínek.

## VSTUPNÍ HODNOTY

Pro software byla vytvořena základní databáze materiálů, ve které jsou obsaženy:

- Betonové konstrukce dle EN 1992-1-2 [3]
- Uhlíková a nerezová ocel dle EN 1993-1-2 [4]
- Měkké dřevo dle EN 1995-1-2 [5]
- Keramické zdivo dle EN 1996-1-2, fig. D.1(a) [6]
- Vápenopískové zdivo dle EN 1996-1-2, fig. D.1(b) [6]
- Lehký beton s pórovitým kamenivem dle EN 1996-1-2, fig. D.1(c) [6]
- Pórobetonové tvárnice dle EN 1996-1-2, fig. D.1(d) [6]

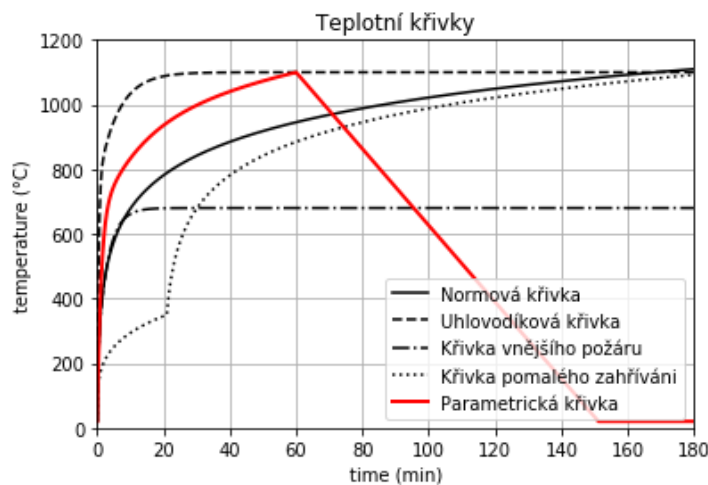
Pro jednotlivé materiály se zjišťovala tepelná vodivost  $\lambda$  [W/m·K], měrná tepelná kapacita  $c_p$  [J/kg·K] a objemová hmotnost  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] v závislosti na teplotě. Do výpočtu jsou pak tyto charakteristiky zahrnuty pomocí difúzního součinitele  $\alpha$  [m<sup>2</sup>/s] jako:

$$\alpha(\theta) = \frac{\lambda(\theta)}{\rho(\theta)c_p(\theta)}. \quad (1)$$

## POČÁTEČNÍ A OKRAJOVÉ PODMÍNKY VÝPOČTU

Jako počáteční podmínka pro výpočet je předepsána teplota prvku v čase  $t = 0$  s. Software umožňuje zadání této teploty konstantní hodnotou v celé šířce prvku.

Na hranici řešené oblasti je řešen přestup tepla od proudění a sálání a jako okrajová podmínka výpočtu je uvedena teplota v prostoru. Teplotu v prostoru je možné jednoduše zadat konstantní hodnotou nebo za pomoci teplotních křivek dle EN 1991-1-2 [7] a ČSN EN 1363-2 [8]. Jednotlivé teplotní křivky využívané ve výpočtu jsou znázorněny na Obr. 2.

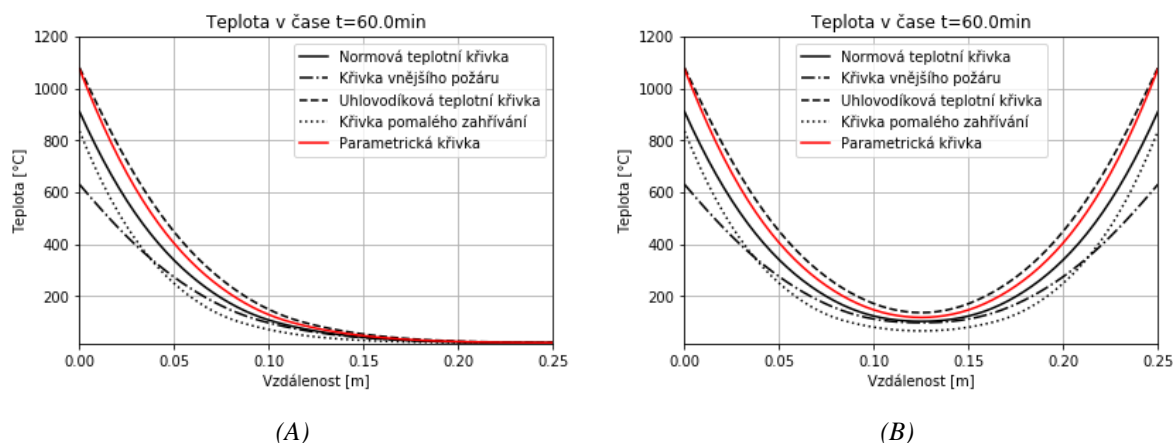


Obr. 2 Teplotní křivky pro určení teploty v prostoru požáru  
Fig. 2 Temperature curves for fire description

## VÝSTUP PROGRAMU

Výstupem z programu je průběh teploty v prvku v zadaném čase. Tento průběh je možné vykreslit formou grafu, nebo ho vyexportovat do souboru typu .xlsx nebo .txt.

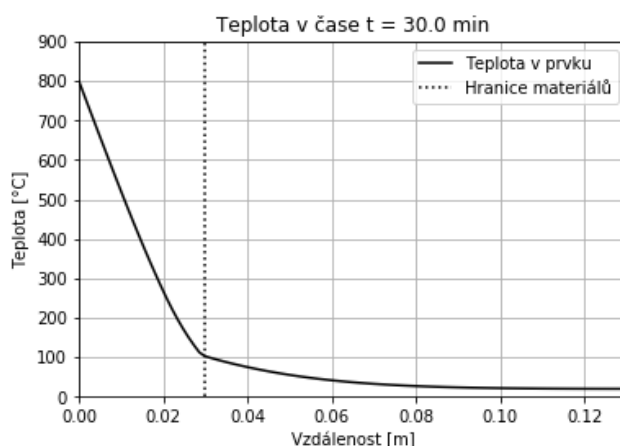
Na Obr. 3 je jako příklad výstupu z programu uveden jednovrstvý betonový prvek, který je zatěžován různými teplotními křivkami, a je sledován průběh teploty v závislosti na typu teplotní křivky. Prvek je zatěžován požárem nejprve z jedné strany a následně z obou stran. V tomto příkladu jsou uvažovány stejné teplotní křivky na obou hranicích prvku, nicméně je možné teplotní křivky jednoduchým způsobem kombinovat a na každou hranici předepsat jinou teplotu.



Obr. 3 Teplota v prvku vystaveném požáru; (A) z jedné strany; (B) z obou stran  
Fig. 3 Temperature in the element exposed to fire; (A) from one side; (B) from both sides

## VÍCEVRSTVÉ KONSTRUKCE

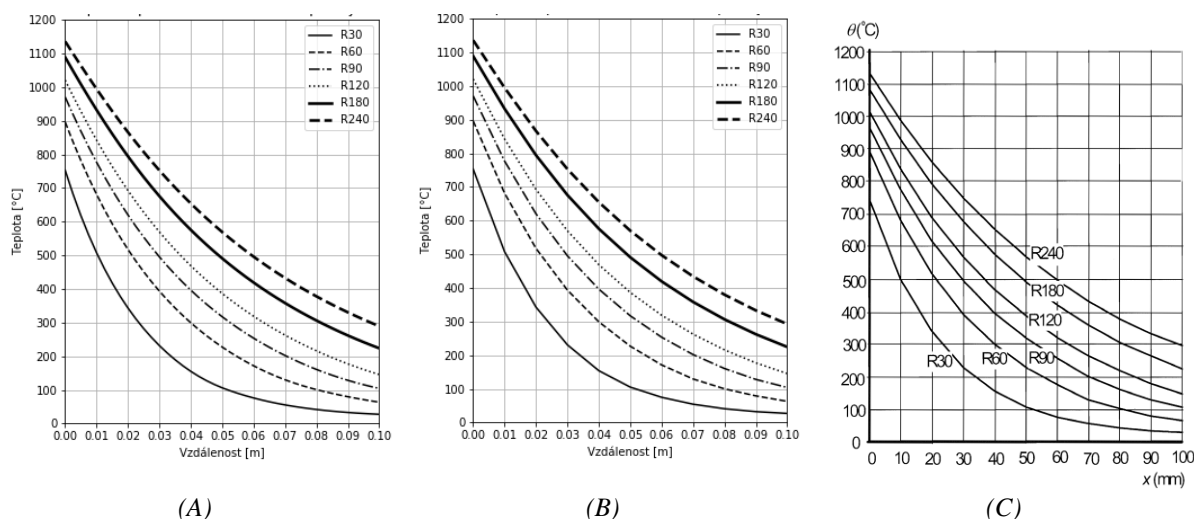
Software umožňuje koncepčně modelovat až třívrstvé konstrukce. Přestup tepla mezi jednotlivými vrstvami je zatím zanedbán a vrstvy jsou uvažovány jako dokonale spojené. Jako příklad vícevrstvé konstrukce je na Obr. 4 uvedena betonová konstrukce, která je z jedné strany opláštěna dřevěným obkladem tl. 30 mm a která je z této strany vystavena požáru.



Obr. 4 Příklad vícevrstvé konstrukce  
Fig. 4 Example of a multilayer element

## OVĚŘENÍ SPRÁVNOSTI VÝPOČTU

Ověření správnosti výpočtu vedení tepla bylo provedeno porovnáním s programem TempAnalysis a s teplotními profily z EN 1992-1-2-2004 [3]. Z grafů uvedených na Obr. 5 je patrné, že řešený software dosahuje požadovaných výsledků.



(A) (B) (C)  
Obr. 5 Teploty v prvku vystaveného požáru z jedné strany ( $h = 200 \text{ mm}$ ):

(A) Řešený software; (B) TempAnalysis; (C) EN 1992-1-2, Fig A.2 [3]  
Fig. 5 – Temperatures in element exposed to fire from one side ( $h = 200 \text{ mm}$ ):  
(A) Presented software; (B) TempAnalysis; (C) EN 1992-1-2, Fig A.2 [3]

## ZÁVĚR

V tomto článku byly shrnuty základní informace k řešenému softwaru. Software modeluje transport tepla v prvcích vystavených požáru s použitím metody konečných diferencí, umožňuje modelovat materiálové charakteristiky závislé na teplotě a jednoduše zadávat okrajové podmínky výpočtu.

## LITERATURA

- [1] MINKOWYCZ, W. J., E. M. SPARROW a Jayathi MURTHY, ed. *Handbook of numerical heat transfer*. 2nd ed. Hoboken, N.J.: J. Wiley, 2006. ISBN 978-0-471-34878-8.
- [2] MÍKA, Stanislav, Petr PŘIKRYL a Marek BRANDNER. *Speciální numerické metody: numerické metody řešení okrajových úloh pro diferenciální rovnice*. Plzeň: Vydavatelství servis, 2006. ISBN 978-80-86843-13-1.
- [3] EN 1992-1-2 (2004) (English): *Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design* [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]
- [4] EN 1993-1-2 (2005) (English): *Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design* [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]
- [5] EN 1995-1-2 (2004) (English): *Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-2: General - Structural fire design* [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]
- [6] EN 1996-1-2 (2005) (English): *Eurocode 6: Design of masonry structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design* [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]
- [7] EN 1991-1-2 (2002) (English): *Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire* [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]
- [8] ČSN EN 1363-2 (730851) *Zkoušení požární odolnosti - Část 2: Alternativní a doplňkové postupy* (Únor 2000); ICS 13.220.50; 91.080.01

## MODELOVÁNÍ 2D TRANSPORTU TEPLA V PRVCÍCH VYSTAVENÝCH POŽÁRU S VYUŽITÍM METODY KONEČNÝCH DIFERENCÍ

### MODELING HEAT TRANSPORT IN 2D ELEMENTS EXPOSED TO FIRE USING THE FINITE DIFFERENCE METHOD

Bc. Veronika Pražáková

#### Abstract

This article deals with the modelling heat transport in 2D construction. It describes important input data for modelling such as: Temperature curves, Parametric curve and Material properties. It also compares available programs and shows the first attempts at modelling in a programming language Python. The aim of this article is to show the preparation for the creation of a program, that I will deal with in the thesis.

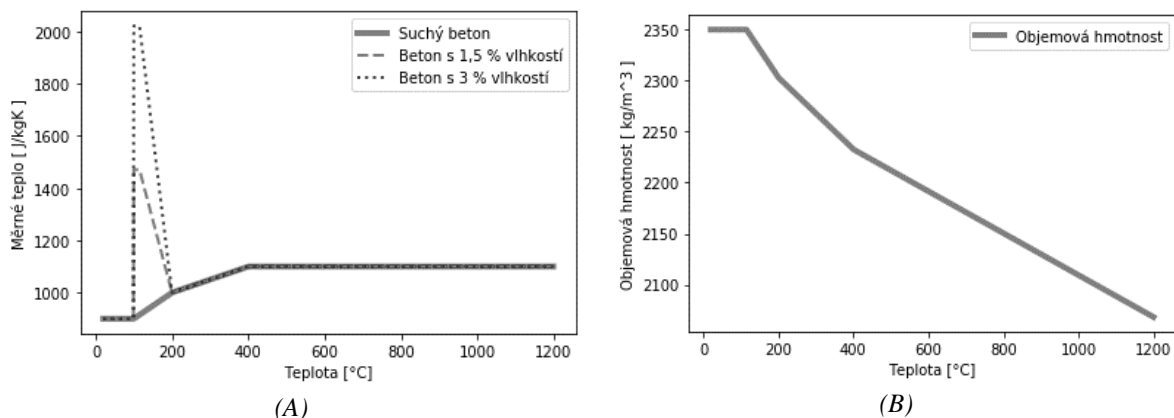
**Key words:** heat transfer; temperature curves; material properties; reinforced concrete; parametric curve

#### ÚVOD

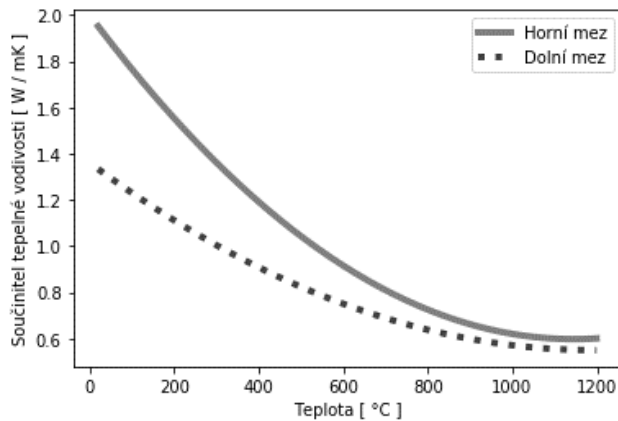
Tento článek pojednává o možném přístupu k modelování transportu tepla ve 2D konstrukcích. Přestup tepla konstrukcí se může využívat např. při návrhu konstrukcí a může pomoci odhalit určité nedostatky u výrobků, které se následně budou zkoušet ve zkušebních pecích. V tomto článku bych chtěla ukázat vstupní údaje potřebné pro vytvoření programu a ukázkou z programování v programovacím jazyce Python [1]. Také zde ukážu jednotlivé programy, které se tímto tématem zabývají, a na závěr porovnam jednotlivé programy s programem, na kterém jsem již začala pracovat a který budu postupně vylepšovat v rámci diplomové práce.

#### VSTUPNÍ ÚDAJE

Hlavním vstupním údajem jsou materiálové charakteristiky. V rámci tohoto článku uvedu tyto vlastnosti pouze pro betonové konstrukce (v rámci diplomové práce se budu zabývat různými materiály). Nejdůležitějšími materiálovými charakteristikami jsou u betonu: měrné teplo (Obr. 1 (A)), objemová hmotnost (Obr. 1 (B)) a tepelná vodivost (Obr. 2). Tyto vlastnosti jsou závislé na teplotě a jsou důležitým kritériem pro modelování přestupu tepla. Na obrázcích níže jsou uvedené grafy jednotlivých charakteristik, které jsem sestavila pomocí normových vzorců [2] v programovacím jazyce Python. Pro tepelnou vodivost zde přidám i ukázkou kódu z jazyka Python.



Obr. 1 (A) Měrné teplo – graf (Python); (B) Objemová hmotnost – graf (Python)  
Fig. 1 (A) Specific heat – graph by Python ;(B) Density - graph by Python



(A)

```

'''Součinitel tepelné vodivosti- Beton, Horní mez'''
def Tepelna_vodivost0 (Txx): # W / m²K
    lam= 2-0.2451*(Txx/100)+0.0107*((Txx/100)**2)
    return (lam)

Vodivost_h=[]
for teplota in Txx:
    Vodivost_h.append([Tepelna_vodivost0(teplota)])
"Vykreslení"
print (Vodivost_h)
plt.plot(T,Vodivost_h,'r',linewidth=4,label='Horní mez')

# #####
'''Součinitel tepelné vodivosti- Beton, Dolní mez'''
def Tepelna_vodivost1 (Txx): # W / m²K
    lam= 1.36-0.136*(Txx/100)+0.0057*((Txx/100)**2)
    return (lam)

Vodivost_d=[]
for teplota in Txx:
    Vodivost_d.append([Tepelna_vodivost1(teplota)])
"Vykreslení"
print (Vodivost_d)
plt.plot(T,Vodivost_d,'g',linewidth=4,label='Dolní mez')

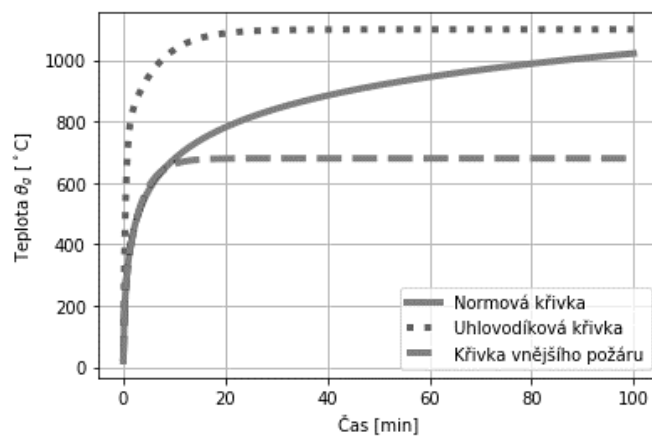
# #####
plt.xlabel('Teplota [ °C ]')
plt.ylabel('Součinitel tepelné vodivosti [ W / mK ]')
plt.legend()

```

(B)

Obr. 2 (A) Součinitel tepelné vodivosti – graf (Python); (B) Ukázka kódu pro tepelnou vodivost  
 Fig. 2 (A) Thermal conductivity – graph by Python; (B) Code sample for thermal conductivity

Další vstupním údajem jsou teplotní křivky, které tvoří okrajovou podmínku při přestupu tepla. Jednotlivé teplotní křivky (nominální [3], parametrické [3], vlastní) budou vstupem do programu a budou určovat teplotu na okraji prvku, od které se bude odvíjet rozložení teploty uvnitř konstrukce. Na Obr. 3 ukážu jednotlivé nominální teplotní křivky, které jsou vymodelované pomocí mého kódu.



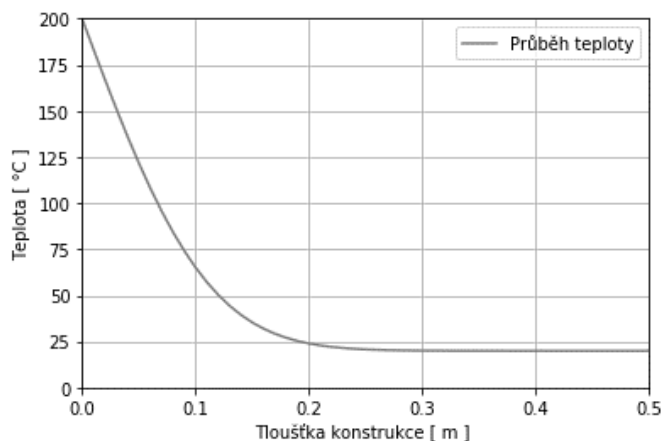
Obr. 3 Nominální teplotní křivky – graf (Python)

Fig. 3 Nominal temperature curves – graph by Python

## ŘEŠENÝ PŘÍKLAD – SDÍLENÍ TEPLA

V řešeném příkladu se věnuji modelování prostupu tepla skrz 2D konstrukce. Než se dopracuji k prostupu tepla skrz 2D konstrukci, který budu řešit v rámci diplomové práce, musím si naprogramovat kód, který bude umět počítat prostup tepla skrz 1D konstrukce. Tento kód si dále vylepším a následně ho budu validovat. Po úspěšné validaci tento kód doplním o modelování ve druhém směru, vznikne mi tedy kód pro výpočet prostupu tepla ve 2D. Následně budu kód upravovat a vylepšovat a vytvořím program, který bude volně dostupný na internetu.

Aktuálně mám naprogramovaný kód, který zvládne počítat s proměnnými materiálovými charakteristikami a dokáže počítat prostup tepla v 1D. Výstupem z tohoto kódu je graf rozložení teploty v konstrukci v zadaném čase – viz Obr. 4.



Obr. 4 Výstup z programu Python – Ukázka rozložení teploty v konstrukci po 30 minutách

Fig. 4 Example of temperature distribution in the structure after 30 minutes, by Python

## DOSTUPNÉ PROGRAMY

Přestupem tepla při požáru se zabývá už několik programů. Já bych zde chtěla ukázat, v čem bude tento program jiný.

Na Fakultě stavební ČVUT vzniklo už několik programů na toto téma, těmito programy jsou: TeDisOn [4], RCC<sub>fi</sub> [5] a FiDeS – TempAnalysis [6]. Tyto programy jsou volně dostupné na internetu a na všech se podílel i můj vedoucí diplomové práce Ing. Radek Štefan, Ph.D.

Dalším programem, který již existuje a který se zabývá také přestupem tepla, je ANSYS [7], který je ovšem komerčním programem a není tak intuitivní jako programy předešlé.

V Tab. 1 je uvedeno srovnání programů a ukáži zde, v čem se bude můj program lišit od již stávajících programů. Porovnávám, zda jsou programy pouze v angličtině nebo zda podporují i český jazyk, dále jaké požární křivky mohou zvolit pro okrajové podmínky, pak délku výpočetního času a nakonec také jestli je program volně dostupný a co vše potřebuji k jeho instalaci.

Tab. 1 Srovnání dostupných programů

Tab. 1 Comparison of available programs

Program	Podpora češtiny	Požární křivky	Výpočetní čas	Instalace
TeDisOn	Ne	Normová	Rychlý	Je online
RCC <sub>fi</sub>	Ano	Normová	Dlouhý	Volně ke stažení (nutná instalace knihovny Matlab)
FiDeS – TempAnalysis	Ne	Normová, Parametrická (4 údaje)	Dlouhý	Volně ke stažení (nutná instalace knihovny Matlab)
ANSYS	Ne	Jakákoli	Rychlý, ale zdlouhavé zadávání	Za poplatek
<b>Navrhovaný program</b>	<b>Ano</b>	<b>Jakákoli</b>	<b>??</b>	<b>Volně ke stažení</b>

## ZÁVĚR

V rámci diplomového semináře jsem si připravila vstupní údaje pro svůj program a začala jsem vytvářet kód programu. Zatím mám napsán kód pro 1D vedení tepla, který chci v rámci své diplomové práce rozšířit pro 2D vedení tepla a udělat z něj program ve kterém se vyzná každý, i bez znalosti programovacího jazyka Python.

V tomto semináři jsem se učila s programovacím jazykem Python, který jsem doposud neznala, a vytvořila v něm kódy pro proměnné materiálové charakteristiky a kód pro jednotlivé teplotní křivky. Dále jsem si naprogramovala kód, který počítá 1D vedení tepla a zahrnuje do něj proměnné charakteristiky.

V rámci diplomové práce se budu věnovat vylepšení kódu a validaci, vč. porovnávání s výsledky experimentů. Na závěr mé diplomové práce vznikne program, který bude v češtině, bude umět počítat teplotu uvnitř 2D konstrukce podle jakékoli teplotní křivky (tedy i podle jakékoli vlastní teplotní křivky) a bude volně ke stažení na stránkách pana Ing. Radka Štefana, Ph.D.

## LITERATURA

- [1] Python [software] [přístup 13. dubna 2020] Dostupné z: <https://www.python.org/downloads/>
- [2] ČSN EN 1992-1-2 *Eurokód 2: 2006 Navrhování betonových konstrukcí: část 1-2: Obecná pravidla. Navrhování konstrukcí na účinky požáru.*
- [3] ČSN EN 1991-1-2 *Eurokód 1: 2004 Zatížení konstrukcí: část 1-2: Obecná zatížení. Zatížení konstrukcí vystavených účinku požáru.*
- [4] TeDisOn [software] [přístup 13. dubna 2020] Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~holanjak/software/tedison/>
- [5] RCCfi [software] [přístup 13. dubna 2020] Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/www/stefarad/software/rccfi/rccfi.cz.html>
- [6] FiDeS – Temp Analysis [software] [přístup 13. dubna 2020] Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/www/stefarad/software/ta/ta.cz.html>
- [7] ANSYS [software] [přístup 13. dubna 2020] Dostupné z: <https://www.ansys.com/academic/free-student-products>



## KOMBINOVANÝ ÚČINEK POŽÁRU A VÝBUCHU NA BETONOVÉ KONSTRUKCE

### COMBINATION OF THE EFFECT OF FIRE AND BLAST ON CONCRETE STRUCTURES

**Bc. Daniela Benáková**

#### *Abstract*

*The subject of this work is a combination of the effect of fire and blast on concrete structures. The work is divided into theoretical part and practical part. The theoretical part describes the fire loads acting on damaged structures. These are fire after an impact, fire after a blast and fire after an earthquake. In the practical part, the fire resistance of a simply supported floor slab is calculated, which is intact. The following is a simulation of the explosion load under the floor slab, which represents a reduction in the strength of the compressed part of the concrete and a reduction of the cover layer. The floor slabs are reassessed for fire resistance and the results are compared. Fire resistance is determined by using the 500 °C isotherm method. Finally, the effect of the blast on the fire resistance of the exposed element is described.*

**Key words:** fire; blast; impact; fire resistance; concrete; loading; material properties of concrete

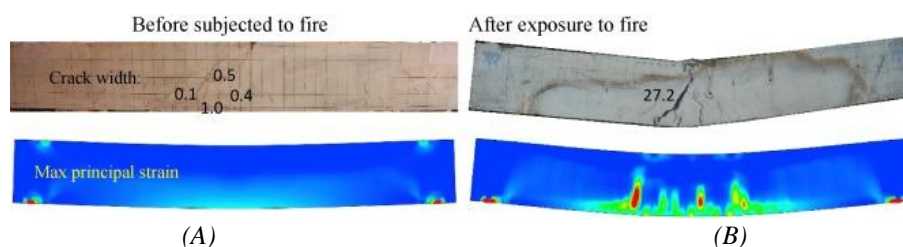
#### ÚVOD

Při navrhování betonových konstrukcí je nutné brát ohled na veškeré návrhové situace a jejich příslušná zatížení, kterými je navrhovaná konstrukce vystavována po zbytek své životnosti. Do zatížení, které na konstrukci působí během její životnosti spadají i události, které značně ovlivňují zatížení vyvolané důsledkem mimořádné situace. Za mimořádnou situaci se počítá např. teroristický útok, letecká katastrofa, přírodní katastrofa, nehoda apod. Hlavním nedostatkem navrhování je fakt, že jsou účinky mimořádných zatížení posuzovány odděleně. Když si vezmeme situaci mimořádného zatížení v reálném prostředí, tak je zřejmé, že mimořádné události nastávají buď téměř naráz nebo mezi sebou mají velmi malý časový rozestup. Jako příklad lze uvést náraz letadla do nosné konstrukce budovy. Při nárazu dojde k výbuchu, požáru letadla a následnému rozšíření požáru do objektu. Tímto se poukazuje na to, jaké jevy mohou doprovázet jednotlivé zatížení a jak složité je na kombinaci těchto jevů konstrukci navrhovat.

#### POŽÁR NA POŠKOZENÝCH KONSTRUKCÍCH

##### Požár po nárazu

Konstrukce budov v městských částech mohou být vystaveny různým zatížením během jejich životnosti. V případech, kde jsou konstrukce vystaveny dvěma nebo více typům zatížení, může dojít k vážnému poškození konstrukce. Mezi takové případy patří konstrukce obklopené hořlavými materiály náchylnějšími ke kombinaci účinků nárazového zatížení a požárního zatížení. Účinky mechanického zatížení (náraz) jsou odlišné od účinků požáru.



Obr. 1 (A) Prvek po nárazu; (B) Prvek po nárazu a požárním zatížení [1]

Fig. 1 (A) Beams after impact and before subjected to fire; (B) Beams after impact and after exposure to fire [1]

Mechanická zatížení jsou krátkodobá a přechodná, zatímco zatížení požárem je dlouhodobé. Pro zkoumání požáru po nárazu bylo provedeno několik experimentů. Na Obr. 1 Obr. 1 je vidět pozorování železobetonového nosníku před a po požární zkoušce, který byl vystaven nárazovému zatížení a následně požárnímu zatížení.

### Požár po výbuchu

V současné době je na světě zvýšený nárůst objemů teroristických útoků na objekty dopravní a veřejné infrastruktury, proto je nutné věnovat velkou pozornost výbuchové odolnosti staveb. Dalším rostoucím faktorem je výstavba velkých bytových domů, obchodních center nebo kancelářských budov, do kterých jsou zahrnuty podzemní garáže, aby se vyřešil problém s přetížením parkovišť v ulicích měst. Zatímco teroristické útoky jsou plánované a nedá se předem určit, v jaké míře a kde k výbuchu dojde, v podzemních garážích se s výbuchem počítá, a proto se zde navrhuje detekční systémy, odvětrávací systémy a hasicí systémy. Stejně, jako se vyvíjí návrh ochrany před požárem a výbuchem, vyvíjí se i technologie motorů automobilů (nová paliva, elektromobily a jiné).

Riziko zatížení vyvolané výbuchem spočívá v šíření rázové vlny prostředím, jako je vzduch nebo konstrukční prvek. Rázová vlna se šíří od epicentra výbuchu a překračuje rychlost zvuku v prostředí (vzduch, prvek). Zdrojem výbuchu mohou být různé látky, typy hořlavin, stlačený plyn a podobně. Pro zkoumání požáru po výbuchu bylo provedeno několik experimentů. Na Obr. 2 je vidět pozorování požární odolnosti železobetonové stropní desky s dutým jádrem, která byla vystavena výbuchové zatížení a následně požárnímu zatížení.



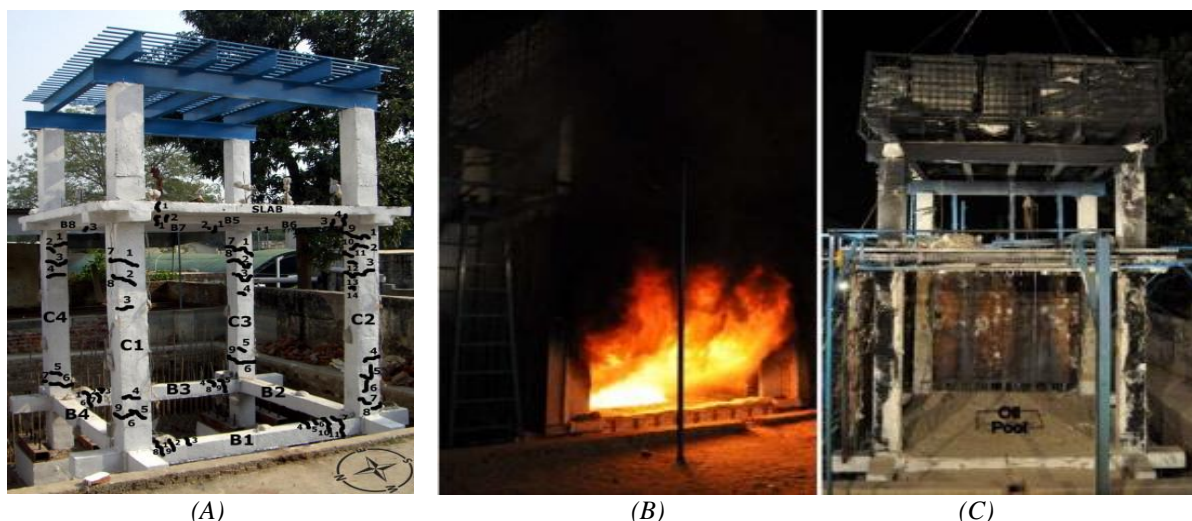
Obr. 2 (A) Nastavení výbuchu; (B) Nastavení požárního zatížení [2]  
Fig. 2 (A) Blast setup; (B) Experimental setup during the fire loading [2]

### Požár po zemětřesení

Požáry jsou velmi pravděpodobnou událostí v důsledku zemětřesení, a to hlavně v městských oblastech. Proto je po stavebních inženýrech ve stavebních předpisech vyžadováno (ve většině zemí), aby zvažovali vliv seismického a požárního zatížení na konstrukce a aby byla zajištěna dostatečná odolnost vůči těmto nebezpečím, které mohou vzniknout.

Riziko požáru v důsledku zemětřesení je ve světě velmi dobře známo. Mezi události, považované za nejhorší katastrofy dvacátého století, jsou uvažovány dvě hlavní požární katastrofy. Jedná se o San Francisco (1906) a Tokio (1923). Obě tyto požární katastrofy byly vyvolány zemětřesením.

Pro zkoumání požáru po zemětřesení bylo provedeno několik experimentů. Na Obr. 3 je vidět pozorování požární odolnosti železobetonového rámu, který byl vystaven seismickému zatížení a poté požárnímu zatížení.

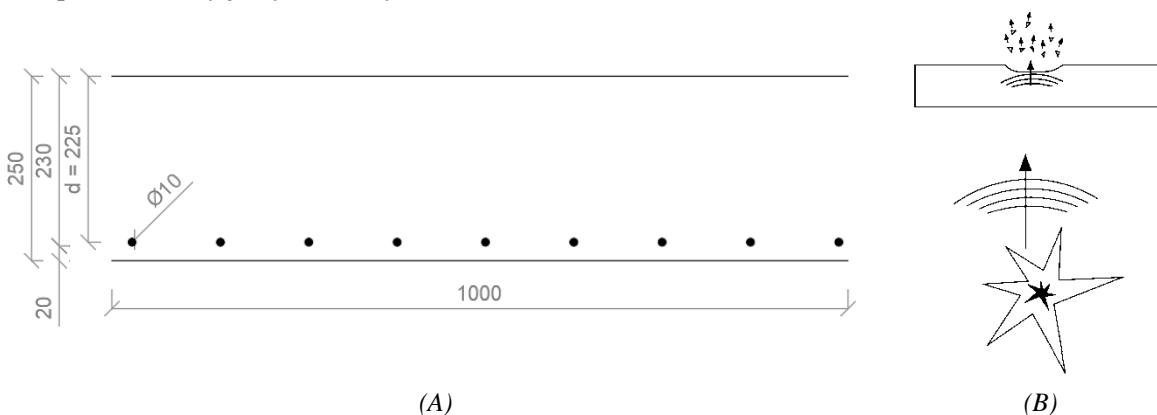


Obr. 3 (A) Schéma trhlin způsobených seismickým zatížením; (B) Nastavení požárního zatížení; (C) Zkouška zbytkové tuhosti rámu [3]

Fig. 3 (A) Schematic of cracks due to cyclic loading; (B) Fire test; (C) Residual capacity test on fire damaged RC frame [3]

## ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

V rámci této práce je zvolený příklad zaměřený na zkoumání chování betonové stropní desky (Obr. 4 A) vystavené simulovanému výbuchu a následnému požáru. Řešený příklad je rozdělen na posouzení požární odolnosti průřezu, který není narušen výbuchem, a následné posouzení požární odolnosti průřezu, který je vystaven výbuchu.



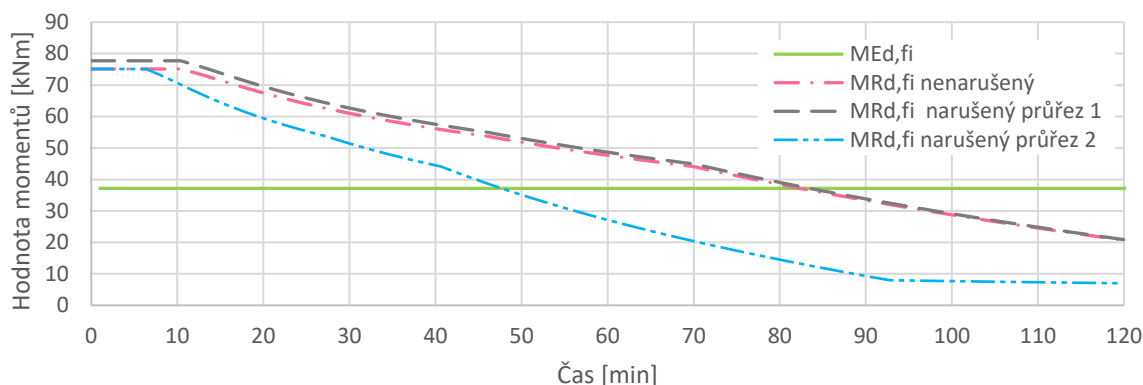
Obr. 4 (A) Průřez stropní železobetonové desky; (B) Výbuch v blízkosti betonového prvku [4]  
Fig. 4 (A) Cross section of reinforced concrete slabs; (B) Blast near a concrete element [4]

Při posuzování požární odolnosti nenarušeného průřezu je únosnost za požáru, dle normové teplotní křivky ISO 834, stanovena metodou izotermie 500 °C. Při posuzování požární odolnosti narušeného průřezu je totožná stropní deska vystavena výbuchu. Z hlediska náročnosti a potřebného času je výbuch pouze simulován. Jev tlakové vlny je nahrazen pomocí dvou variant. První varianta simuluje výbuch oslabením tlačené části betonové stropní desky, jak je možné vidět na Obr. 4 B. Při explozi trhaviny, umístěné pod navrženou stropní deskou, dojde k poškození tlačené části betonu. V druhé variantě je uvažováno s větším účinkem výbuchu trhaviny. Při explozi stejné trhaviny dojde jak k oslabení tlačené části betonu, tak k odpadnutí části krycí vrstvy výztuže.

## Výsledky

Železobetonová stropní deska bez narušení účinkem výbuchu je schopna odolávat požárnímu zatížení po dobu 83 minut. Při narušení průřezu první variantou, kdy se uvažuje pouze oslabení tlačené části

betonu, vykazuje železobetonová stropní deska požární odolnost 82 minut. Snížení požární odolnosti o 1 minutu lze vysvětlit tím, že oslabení průřezu je aplikováno na vnější povrch stropní desky, zatímco požární zatížení působí ze spodní strany stropní desky. Při narušení průřezu druhou variantou, kdy se uvažuje jak oslabení tlačené části, tak odpadnutí části krycí vrstvy, vykazuje stropní deska požární odolnost téměř poloviční, a to 48 minut. Menší hodnotu lze vysvětlit uvažováním silnějšího účinku výbuchu na prvek. Při odpadnutí části krycí vrstvy dojde k oslabení průřezu a vzniká kratší vzdálenost od povrchu k výztuži, tudíž bude výztuž rychleji zahřívána od požárního zatížení a výsledná hodnota  $M_{Rd,fi}$  bude výrazně menší (Obr. 5).



Obr. 5 Výsledné hodnoty momentů  
Fig. 5 Resulting values of moments

## ZÁVĚR

V této práci byly popsány extrémní zatížení působící na konstrukce s uvedenými příklady experimentů na dané extrémní zatížení. Záměrem řešeného příkladu bylo stanovit, o kolik minut se liší požární odolnost nepoškozeného průřezu oproti průřezu, který je vystaven výbuchu. Z výsledků řešeného příkladu lze odvodit, že konstrukce, u které dojde při výbuchu pouze k poškození vnější strany prvku, má sníženou požární odolnost minimálně. U konstrukce, u které jsou následky výbuchu větší, se snižuje hodnota požární odolnosti téměř na polovinu své stávající požární odolnosti před výbuchem.

## LITERATURA

- [1] JIN, Liu, Renbo ZHANG, Guoqin DOU a Xiuli DU. Fire resistance of steel fiber reinforced concrete beams after low-velocity impact loading. *Fire Safety Journal*. 2018, **98**,
- [2] KAKOGIANNIS, Dimitrios, Fermín PASCUALENA, Bruno REYMEN, Lincy PYL, Jean Marie NDAMBI, Eric SEGERS, David LECOMPTE, John VANTOMME a Ted KRAUTHAMMER. Blast performance of reinforced concrete hollow core slabs in combination with fire: Numerical and experimental assessment. *Fire Safety Journal* [online]. 2013, **57**, Fire and Explosion Safety in Large Car Parks without Sprinklers, 69–82.
- [3] KAMATH, Praveen, Umesh Kumar SHARMA, Virendra KUMAR, Pradeep BHARGAVA, Asif USMANI, Bhupinder SINGH, Yogendra SINGH, Jose TORERO, Martin GILLIE a Pankaj PANKAJ. Full-scale fire test on an earthquake-damaged reinforced concrete frame. *Fire Safety Journal* [online]. 2015, **73**, 1–19.
- [4] FOGLAR, Marek, Eva KARASOVÁ, Vladimír KŘÍSTEK a Alena KOHOUTKOVÁ. Využití přetvárných vlastností vláknobetonu pro zvýšení odolnosti staveb proti zatížení výbuchem a nárazy = The use of fiber-reinforced concrete in blast and impact design. *Beton - Technologie, Konstrukce, Sanace*. 2010, **10**(2), 71-73. ISSN 1213-3116.

## METODY MĚŘENÍ PÓROVÉHO TLAKU V BETONU VYSTAVENÉM VYSOKÝM TEPLOTÁM

### METHODS OF MEASUREMENT OF PORE PRESSURE IN EXPOSED CONCRETE

**Bc. Jan Tomáš**

#### *Abstract*

*The paper is focused on the pressure in concrete and its measurement at high temperatures. First of all, we get acquainted with the pore pressure in concrete and other theoretical foundations of this topic, which affect the fire resistance, effects in concrete and sources of pore pressure. The next chapter summarizes the methods for measuring pore pressure in concrete at normal temperatures. The third chapter describes the issue of measuring pore pressure at elevated temperatures.*

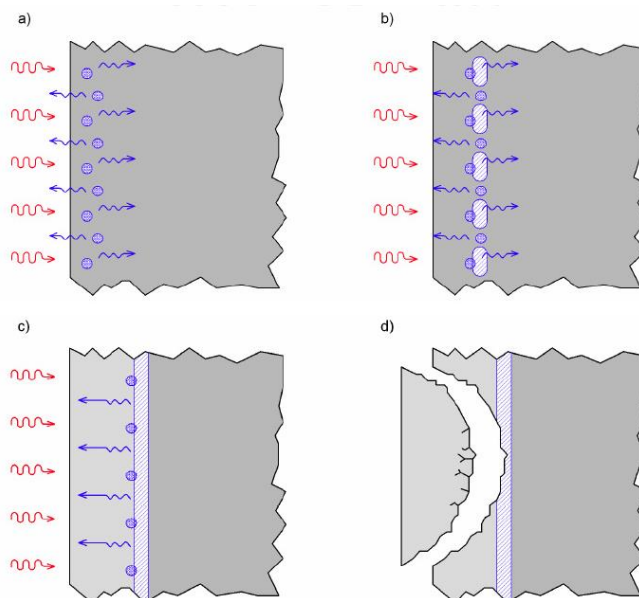
*Key words: concrete; pore pressure; measurement; high temperature, spalling; pressure gauge*

#### ÚVOD

Pórový tlak je parametr, který má velmi negativní vliv na konstrukce. Při nárůstu teplot může v betonu dojít až k explozivnímu odštěpení betonového celku, a to má za následek snížení požární odolnosti betonových konstrukcí. V jiném případě explozivní odštěpování také velmi ohrožuje zasahující hasiče při činnosti hašení požáru. Odlupované kusy betonu mohou dosahovat i rychlostí vystřelení projektilu. Betony s vysokou pevností jsou výrazně citlivější na vliv vysokých teplot z důvodu nízké propustnosti. V těchto betonech při vysokých teplotách nastává velký tlak v betonu vlivem odpařování vody v pórech betonu. V této práci se budeme zabývat principem, jak správně a efektivně měřit pórový tlak v betonu vystaveném vysokým teplotám.

#### VZNIK PÓROVÉHO TLAKU

Pórový tlak vzniká následkem vysokých teplot, při kterých se volná a částečně i vázaná voda v betonu přeměňuje na páru. Voda přeměněná na páru nabývá na objemu a ve struktuře betonu tak vytváří napětí, které má za následek odlupování povrchových částí betonu, jak je znázorněno na Obr. 1.



Obr. 1 Vznik pórového tlaku v betonu [1]  
Fig. 1 Formation of pore pressure in concrete [1]

## FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VELIKOST PÓROVÉHO TLAKU

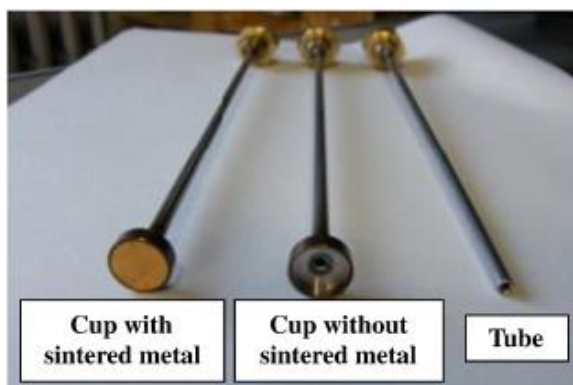
Velikost pórového tlaku nejvíce ovlivňuje vlhkost v betonu. V betonech s vysokou vlhkostí se při zahřívání vytváří větší množství vodní páry, která způsobuje napětí v povrchové části prvku. Dalším faktorem je mikrostruktura betonu, kde v otevřenější mikrostruktuře betonu se vytvořené vodní páry mohou dostat z prvku lépe a rychleji, což má za následek nižší pórové tlaky. Naopak při hutnější mikrostruktuře betonu se pára nedostane z prvku ven a tlak dosahuje vysokých hodnot. Toto nastává především u vysokopevnostních betonů, které mají vysokou hustotu. Posledním ovlivňujícím faktorem, který nelze zanedbat, je rychlost nárůstu teploty, a to proto, že čím rychleji narůstá teplota v betonu, tím výrazněji se zvyšuje pórový tlak v betonu.

## SNÍŽENÍ PÓROVÉHO TLAKU

Velikost pórového tlaku lze ovlivnit několika způsoby. Nejjednodušším způsobem, jak snížit pórový tlak, a tím zabránit odštěpování betonu, je snížit vlhkost betonu, a to na méně než 3 % hmotnosti betonu. Při této vlhkosti je odštěpování betonu velmi nepravděpodobné. Dalším způsobem je použití vláken do betonu. Nejčastěji se v ČR používají polypropylenová vlákna a ocelová vlákna. Dále se může ale použít hybridní beton, který je složen ze dvou či více typů vláken. Snížení pórových tlaků v betonu lze zajistit také provzdušňovací přísadou, která má za následek vyšší pórovitost betonu.

## MĚŘENÍ PÓROVÉHO TLAKU

Měření pórového tlaku v betonu je velice důležité pro ověřování výpočtů a matematických modelů. K měření pórového tlaku v betonu se používá tlakoměrná sestava, která se skládá ze tří základních částí [2–4]. Nástavec, který se skládá z porézního kovového disku ze slinutého kovu o průměru 6 nebo 12 mm nalisovaného do nerezového kalíšku o stejném průměru, ke kterému je přivařena nerezová dutá trubice naplněná silikonovým olejem. Další částí tlakoměrné sestavy je tlakový snímač [5]. Používá se piezoelektrický snímač tlaku, ve kterém při tlakovém namáhání vzniká elektrický náboj, který je úměrný velikosti mechanického napětí. Druhým tlakovým snímačem může být tenzometrický snímač tlaku. Tento snímač funguje na principu převodu tlakových změn na deformaci membrány a stupeň deformace je snímán tenzometrem. Tenzometr mění elektrický odpor v závislosti na deformaci. Posledním článkem tlakoměrné sestavy je datalogger [5], který sbírá a ukládá analogové a binární informace. Jde o prostředníka mezi snímacími senzory a počítačem.



(A)



(B)

Obr. 2 (A) Nástavec tlakoměrné sestavy [3]; (B) Datalogger [5]  
Fig. 2 (A) Pressure gauge assembly extension [3]; (B) Datalogger [5]

## PRAKTICKÁ ČÁST

Tato část diplomové práce bude zaměřena na vytvoření vzorku k experimentálnímu měření pórového tlaku v betonu vystaveném vysokým teplotám. Experiment bude proveden na Fakultě stavební ČVUT

v Praze. Cílem tohoto experimentu je provést kvalitativní měření pórového tlaku v různých hloubkách zkoušeného vzorku.

Vzorek o velikosti 450 x 450 x 100 mm bude vystaven tepelnému záření z plynového infrazářiče KASPO K30 STL (KASPO, 2009). Pro náš experiment bude zdroj tepla dostačující k zahřívání zkoušeného vzorku a k prokazatelnosti správného měření. Rozměry betonové vzorku jsou voleny na základě rozměru plynového infrazářiče, aby byly přibližně stejné a nedocházelo tak k velkému uvolňování tepla do okolí. Do vzorku budou zabetonovány tři měřicí přístroje, a to ve vzdálenostech 10, 30 a 50 mm. Z betonových vzorků ze zadní strany budou vyčnívat pouze nerezové trubice od každého měřicího segmentu. Tato měřidla se ukotví před vylitím směsi k dřevěnému bednění, aby si zachovala svou polohu po celou dobu betonáže a nedošlo tak k posunutí měřidla.

## ZÁVĚR

V tomto článku je shrnuta problematika pórového tlaku v betonu při vysokých teplotách. Pórový tlak je ovlivňován především vlhkostí betonu, mikrostrukturou betonu a rychlostí nárůstu teploty. Snížit pórový tlak lze přidáním polypropylenových vláken, provzdušněním betonu, nebo snížením vlhkosti. Měření pórového tlaku lze provést pomocí tlakoměrné sestavy, která se skládá z porézního slitutého kovu zalisovaného do nerezového kalíšku, ke kterému je přivařena nerezová dutá trubice naplněná silikonovým olejem. Tato část je napojena na tlakový snímač, který dál posílá data do Dataloggeru.

## LITERATURA

- [1] ŠTEFAN, Radek a Jaroslav PROCHÁZKA. Požární spolehlivost betonových a zděných konstrukcí. In: . Praha. 2016.
- [2] PHAN, Long. T. *Pore Pressure and explosive spalling in concrete*. B.m.: Springer Nature B.V. 2008
- [3] MUGUME RODGERS BANGI. *Pore pressure development in hybrid fibre-reinforced high strength concrete at elevated temperatures*. B.m.: Hokkaido University, Japan. 2011
- [4] MINDEGUIA, Jean-Christophe. *Temperature, pore pressure and mass variation of concrete subjected to high temperature — Experimental and numerical discussion on spalling risk*. B.m.: Elsevier, France. 2010
- [5] KUČA, Martin. *Experimentální analýza transportu tepla v betonových a ocelobetonových prvcích*. Praha, 2016. CVUT.





## APLIKACE RŮZNÝCH MODELŮ POŽÁRU PRO POSOUZENÍ KONSTRUKCÍ

### APPLICATION OF DIFFERENT FIRE MODELS FOR STRUCTURAL ASSESSMENT

**Bc. Vladislava Svobodová**

#### Abstract

*This paper focuses on mathematical fire models and how much influence these models have on the resulting fire resistance of structures. In the first part contains a brief description of individual mathematical fire models, mainly parametric temperature-time curves. Specifically, the curve according to Eurocode EN 1991-1-2, German national annex, Danish national annex and BFD curve are described. In the second part of this paper, the fire resistance of reinforced concrete ceiling slab is determined, using the mentioned parametric temperature curves and nominal temperature curves. Finally, the influence of selected fire models on the resulting fire resistance of the slab is described.*

**Key words:** fire models; parametric temperature-time curves; iBMB curve; BFD curve; fire resistance

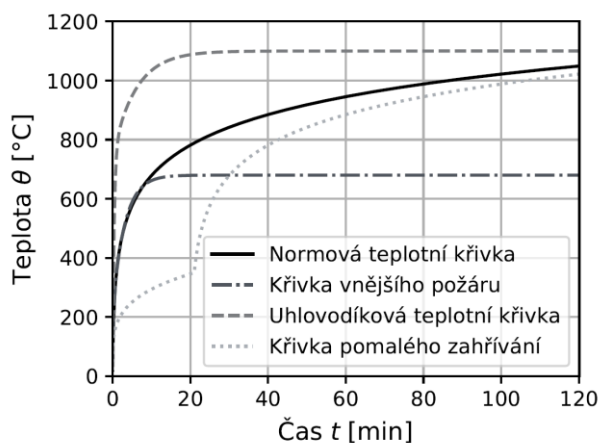
#### ÚVOD

Při stanovení požární odolnosti konstrukcí má velký vliv na výsledek výběr modelu požáru. Tento článek je zaměřený na modely požáru a na to, jak velký vliv mají na výslednou požární odolnost. V první části obsahuje stručný popis matematických modelů požáru. Ve druhé části jsou zmíněny parametrické teplotní křivky, podle kterých je v řešeném příkladu stanovena požární odolnost železobetonové stropní desky. V závěru je popsán vliv výběru modelu požáru na výslednou požární odolnost.

#### MATEMATICKÉ MODELŮ POŽÁRU

Matematický model je abstraktní model, který je popsán matematickými rovnicemi. Modely požáru se používají při požárních zkouškách, ke stanovení požární odolnosti konstrukcí a k simulaci rozvoje požáru. Dle [1] se dělí na nominální teplotní křivky a na modely přirozeného požáru.

Nominální teplotní křivky popisují průběh požáru po flashoveru a jsou nejjednoduššími modely požáru, které se používají převážně při požárních zkouškách. V těchto křivkách nejsou zahrnuty charakteristiky požárního úseku, jako je požární zatížení, vlastnosti ohraničujících konstrukcí, rozměry požárního úseku, počet a rozměry otvorů. Existuje několik nominálních teplotních křivek pro různé zkušební metody, na Obr. 1 jsou znázorněny nejčastěji používané křivky [2].



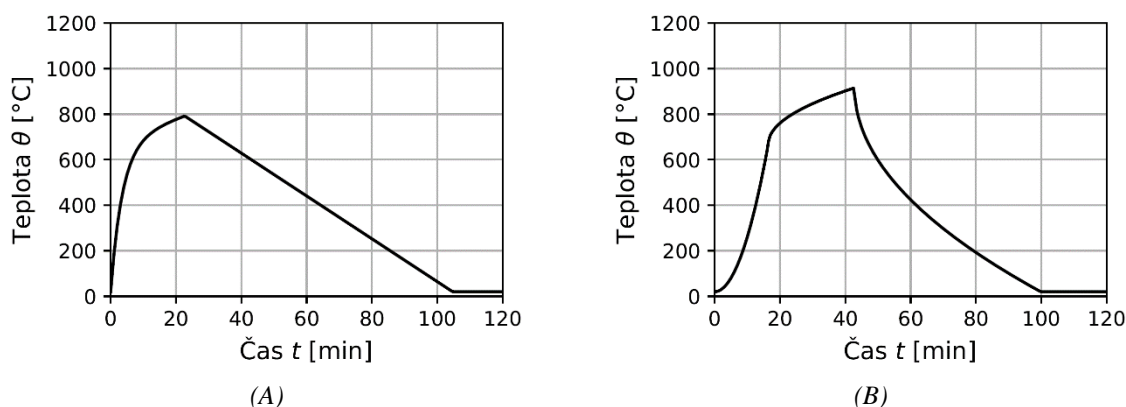
Obr. 1 Nominální teplotní křivky  
Fig. 1 Nominal temperature-time curves

Modely přirozeného požáru se dělí na zjednodušené modely (požáry v prostoru a lokální požáry) a na zdokonalené modely požáru, které se dále dělí na zónové modely a CFD modely. Zónové modely vyjadřují ideální průběh požáru v uzavřeném prostoru. Pracují s parciálními diferenciálními rovnicemi pro zachování hmoty, energie a výměny chemických látek mezi jednotlivými zónami. Modely se dále dělí dle počtu zón na jednozónové a dvouzónové modely. CFD modely, tzv. modely typu pole, řeší stejně jako zónové modely rovnice zachování energie, hmoty a chemických látek, ale také rovnice zachování hybnosti. Výpočtová oblast je rozdělena na velké množství trojrozměrných buněk, které vytvářejí prostorovou síť. Pro každou buňku jsou pak řešeny rovnice, které jsou zmíněny výše [3].

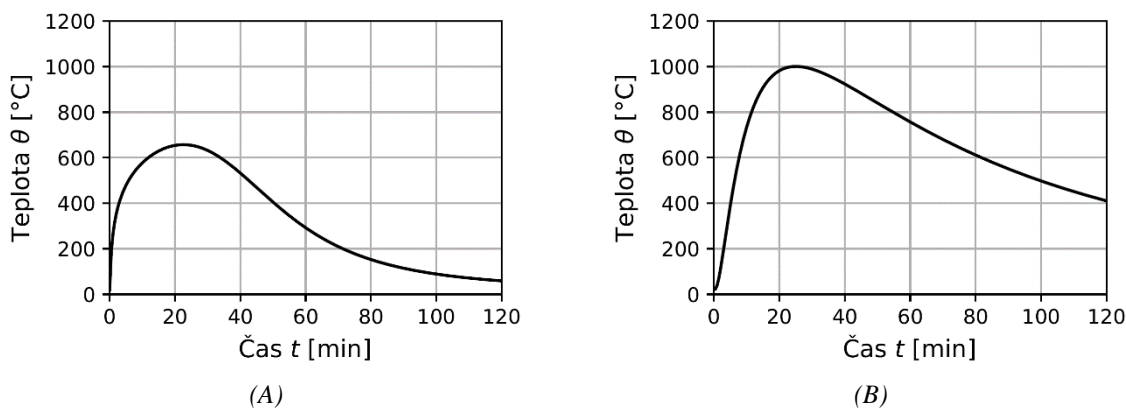
## PARAMETRICKÉ TELOTNÍ KŘIVKY

Parametrické teplotní křivky patří do skupiny zjednodušených modelů požáru a popisují průběh požáru po flashoveru. Tyto křivky na rozdíl od nominálních teplotních křivek při výpočtu zahrnují charakteristiky požárního úseku, také kromě fáze ohřívání popisují i fázi chladnutí a tím lépe vystihují průběh požáru.

Kromě parametrické teplotní křivky (Obr. 2(A)) dle [1] existují další teplotní křivky. V německé národní příloze [4] je popsána parametrická teplotní křivka, která se též nazývá iBMB křivka (Obr. 2(B)). Křivka iBMB se značně liší od křivky dle Eurokódu a je jako jediná křivka uvedená v článku přímo odvozena z rychlosti uvolňování tepla [5]. Na Obr. 3(A) je znázorněna parametrická teplotní křivka dle dánské národní přílohy [6], která vychází z Eurokódu. Poslední křivka, která je znázorněna na Obr. 3(B) je tzv. BFD křivka [7]. Tato křivka je stejně jako Dánská křivka popsána pouze jednou hlavní rovnicí a daleko více se podobá výsledkům požárních zkoušek než evropské teplotní křivky.



Obr. 2 (A) Křivka dle ČSN EN 1991-1-2; (B) iBMB křivka  
 Fig. 2 (A) Curve according to ČSN EN 1991-1-2; (B) iBMB curve



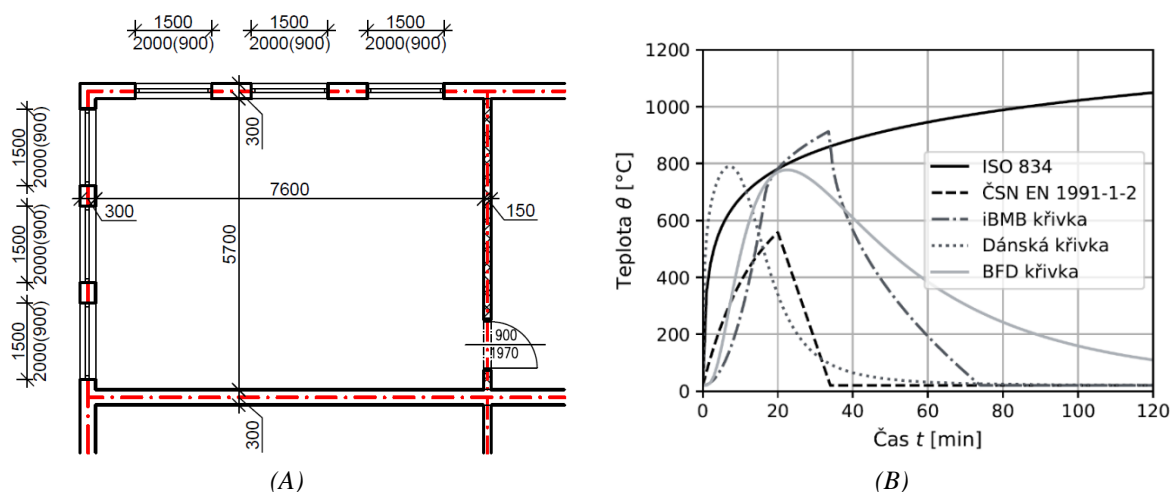
Obr. 3 (A) Dánská křivka; (B) BFD křivka  
 Fig. 3 (A) Danish curve; (B) BFD curve

## ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

V rámci řešeného příkladu je stanovena požární odolnost železobetonové prostě podepřené stropní desky. Pro parametrické teplotní křivky, které jsou zmíněny v tomto článku, a pro normovou teplotní křivku byla stanovena požární odolnost zjednodušenou výpočetní metodou izotermy 500 °C.

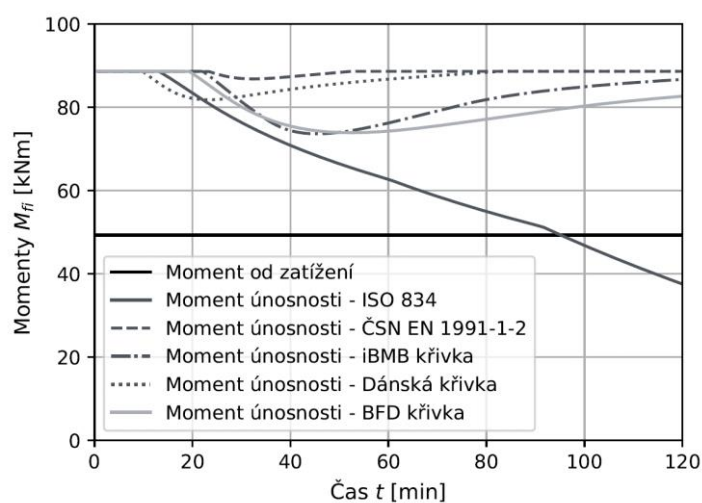
Vybrán byl požární úsek kanceláře o rozměrech 7,6 x 5,7 m s výškou 3,2 m. V kanceláři se nachází šest oken o rozměrech 1,5 x 2,0 m. Strop, podlaha a tři stěny jsou ze železobetonu, jedna stěna je z keramického zdiva (Obr. 4(A)).

Na Obr. 4(B) je znázorněn průběh teploty v požárním úseku dle jednotlivých teplotních křivek. Křivky byly pro lepší využitelnost naprogramovány v programovacím jazyce Python. Z grafu je patrné, že i když křivka dle dánské národní přílohy vychází z Eurokódu, tak průběhy teplot jsou značně rozdílné, nejvíce podobné průběhy teplot mají iBMB křivka a BFD křivka.



Obr. 4 (A) Půdorys požárního úseku; (B) Průběh teplot v prostoru  
Fig. 4 (A) Floor plan of fire compartment; (B) Temperature development in space

Pomocí programu TempAnalysis byla stanovena teplota ve výztuži, která je zapotřebí pro redukci pevnosti výztuže. Následně byla pro každou křivku vypočtena únosnost stropní desky za požáru, ta je znázorněna na Obr. 5.



Obr. 5 Průběh momentu od zatížení a momentů únosnosti pro vybrané teplotní křivky  
Fig. 5 Applied moment and the ultimate moments for the selected temperature-time curves

## ZÁVĚR

Článek se zabývá dostupnými matematickými modely požáru a tím, jak výběr modelu požáru ovlivňuje výslednou požární odolnost konstrukcí. Převážně je článek zaměřený na parametrické teplotní křivky. Kromě křivky dle Eurokódu existují další teplotní křivky, jako je např. iBMB křivka, Dánská a BFD křivka.

V rámci řešeného příkladu byla stanovena požární odolnost železobetonové stropní desky. Na Obr. 5 je vidět, že podle nominální normové teplotní křivky má stropní deska požární odolnost 90 minut. To je způsobeno tím, že normová křivka nezahrnuje žádné charakteristiky požárního úseku a popisuje pouze fázi ohřívání. Pro parametrické teplotní křivky je požární odolnost neomezená. Tyto křivky na rozdíl od normové křivky zahrnují charakteristiky požárního úseku a také krom fáze ohřívání popisují i fázi chladnutí, tím se více podobají skutečnému požáru. Avšak parametrické teplotní křivky mají oproti normové teplotní křivce jistá omezení ohledně hodnot, které vstupují do výpočtu, jedná se např. o rozměry požárního úseku, rozměry otvorů atd. Platí tedy, že čím jednodušší model požáru je zvolen pro stanovení požární odolnosti konstrukcí, tím jsou výsledky značně konzervativní.

## LITERATURA

- [1] ČSN EN 1991-1-2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*. 2013
- [2] KUČERA, Petr, Rudolf KAISER, Tomáš PAVLÍK a Jiří POKORNÝ. *Požární inženýrství dynamika požáru*. Ostrava. 2009. ISBN 978-80-7385-074-6.
- [3] KUČERA, Petr a Zdeňka PEZDOVÁ. *Základy matematického modelování požáru*. Ostrava. 2010. ISBN 978-80-7385-095-1.
- [4] *DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12: National Annex - Nationally determined parameters - Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire*. 2014
- [5] ZEHFUSS, J. a D. HOSSER. A parametric natural fire model for the structural fire design of multi-storey buildings. *Fire Safety Journal* [online]. 2007, 42(2), 115–126. ISSN 0379-7112. Dostupné z: doi:10.1016/j.firesaf.2006.08.004
- [6] *DS/EN 1991-1-2 DK NA:2014 National Annex to Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire*. 2014
- [7] BARNETT, C. R. BFD curve: a new empirical model for fire compartment temperatures. *Fire Safety Journal* [online]. 2002, 37(5), 437–463. ISSN 0379-7112. Dostupné z: doi:10.1016/S0379-7112(02)00006-1

## VARIABILITA A NÁHODNOST VSTUPNÍCH PARAMETRŮ POŽÁRNÍCH MODELŮ A JEJICH VLIV NA PRŮBĚH POŽÁRU A POŽÁRNÍ ODOLNOST KONSTRUKCÍ

### VARIABILITY AND RANDOMNESS OF INPUT PARAMETERS OF FIRE MODELS AND THEIR INFLUENCE ON FIRE PROCESS AND FIRE RESISTANCE OF STRUCTURES

**Bc. Jana Boušová**

#### **Abstract**

*The paper is focused on the issue of designing load-bearing structures on the effects of fire using a probabilistic approach. First, it summarizes very generally the types of fire models, then two probabilistic methods are described – Monte Carlo and Latin Hypercubes sampling. It also deals with the uncertainties associated with fire as such and the uncertainties that are introduced into the fire models. The last part of the work is focused on a specific example, where the probabilistic approaches are applied in a simplified form. The result of this example is the determination of the maximum temperature in a given fire section, which is affected by the randomness of the input parameters, then these temperatures are compared with the maximum temperature, which is determined by deterministic approach.*

**Key words:** reliability of structures; probability; randomness; Monte Carlo method; Latin Hypercubes sampling

#### **ÚVOD**

Obecně platí, že mnoho procesů v reálném světě podléhá náhodnosti. Většinou jde o veličiny, které mohou mít velmi rozdílnou povahu nebo původ. V oblasti stavebnictví můžeme náhodnost najít v souvislosti s návrhem, výrobou, montáží, provozem či údržbou nosných stavebních konstrukcí.

Na základě těchto skutečností je třeba si uvědomit, že nelze realizovat konstrukci absolutně bezpečnou. Do procesu návrhu či posudku stavební konstrukce vždy vstupují menší či větší nejistoty. V případě betonové konstrukce může jít o vlastnosti materiálu, geometrické uspořádání konstrukce nebo např. skutečné zatížení vyvolané provozem. Další nejistoty, které nelze nezmínit jsou nejistoty vyplývající z výpočtového modelu konstrukce.

Z výše uvedeného vyplývá, že na některé příčiny variability člověk vliv nemá, některé jsou naopak přímo způsobeny lidskou činností. Náhodnosti, které jsou zde zmíněny zpravidla nelze eliminovat, důsledkem je poté větší nebo menší variabilita vlastností realizovaných konstrukcí.

Dále platí, že spíše než reálný systém, podrobujeme spolehlivostní analýze jeho teoretický model. Přitom je tento systém (a tedy i jeho model) zatížen celou řadou nejistot. To znamená, že veličiny popisující tento systém nejsou deterministické, tedy dané jednou hodnotou, ale veličiny s náhodnými vlastnostmi.

**Deterministická veličina** – veličina popsána jednou pevně danou hodnotou (konkrétním číslem). Deterministický přístup je nejjednodušší přístup využívaný v normativních předpisech, kde jsou nejistoty zahrnuty součiniteli spolehlivosti.

**Stochastická (náhodná) veličina** – veličina, u které jsou nejistoty popsány metodami matematické statistiky. Každé hodnotě náhodné veličiny je pak přiřazena určitá pravděpodobnost, že veličina dosáhne jisté hodnoty. Dále náhodná veličina informuje o tom, že může s danou pravděpodobností nabývat jistých hodnot z určitých intervalů. Obecně platí, že tyto veličiny lépe popisují realitu oproti jediné hodnotě vycházející z deterministického přístupu. [1]

## PRAVDĚPODOBNOSTNÍ PŘÍSTUP

Pomocí pravděpodobnostního přístupu lze v oblasti požárního inženýrství stanovit nejen odezvu konstrukce na účinky požáru, ale také pravděpodobnost různých požárních scénářů (teplotu v PÚ, deformaci konstrukce nebo dobu selhání konstrukce). Odhad selhání konstrukce je z hlediska návrhu nejvýznamnějším ukazatelem spolehlivosti a lze jej stanovit pomocí různých pravděpodobnostních metod jako jsou např. metody Monte Carlo nebo Latinské Nadkrychle.[2]

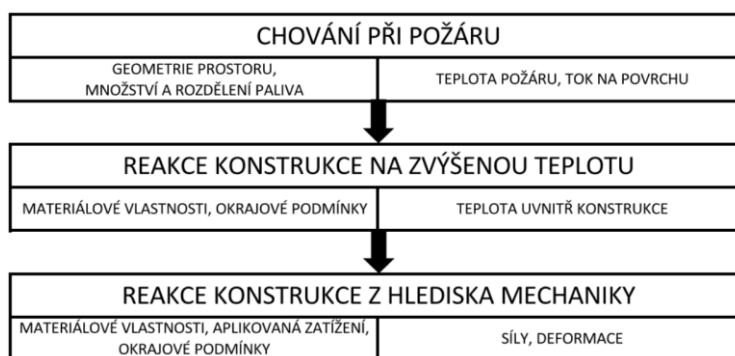
## PARAMETRY A STANOVENÍ JEJICH NEJISTOT

Mezi hlavní zdroje nejistot v oblasti požárního inženýrství můžeme zařadit např.:

- rozsahy a závažnosti požárů
- vlastnosti posuzovaných materiálů
- požární modely
- metody analýzy

V souvislosti s požárními modely lze uvést např. nejistoty spojené s výskytem požární události, dále to mohou být nejistoty spojené s povahou požáru nebo s vývojem teploty při požáru. Další nejistoty tvoří také jakákoliv zjednodušení, která se do požárních modelů zavádí.

Vývoj požáru obecně závisí na čtyřech klíčových faktorech, konkrétně na množství a druhu paliva, větrání, geometrii místnosti a tepelných vlastnostech ohraničujících konstrukcí viz (Obr. 1).



Obr. 1 Šíření nejistoty při simulaci požáru konstrukce [3]  
Fig. 1 Propagation of uncertainty in fire structure simulation [3]

Vstupy do modelu jsou zobrazeny v levém sloupci, zatímco výstupy z modelu jsou zobrazeny vpravo. Stochastická analýza systému zahrnuje šíření nejistoty, která ovlivňuje každou fázi odezvy konstrukce na účinky požáru. Například nejistoty v geometrii prostoru, typu a distribuci paliva a podmínkách větrání vedou k nejistému požárnímu zatížení, které následně ovlivňuje rozložení teploty v konstrukci, a nakonec i mechanickou odezvu konstrukce. [3]

## NEJISTOTY V MODELU PARAMETRICKÉ TEPLITNÍ KŘIVKY

Parametrická teplotní křivka, která je popsána v příloze A normy ČSN EN 1991-1-2 [6], je závislá na hustotě požárního zatížení  $q_{td}$ , součiniteli  $b$ , který charakterizuje tepelné vlastnosti ohraničujících konstrukcí a faktoru otvorů  $O$ , který charakterizuje podmínky větrání. [4]

Velkým zdrojem nejistot, které vstupují do požárních modelů, a tedy i do modelu parametrické teplotní křivky, je požární zatížení. Tento vstupní parametr výrazně ovlivňuje průběh a velikost požáru, je ale velice těžké ho stanovit. Hustota požárního zatížení je ovlivněna specifickým využitím každé budovy. I u stejných typů budov se hustota zatížení může lišit. Také kultura a zeměpisná poloha ovlivňuje tento vstupní parametr. Variace tohoto parametru je příliš velká na to, než aby byla ignorována. Dále je dobré

si v souvislosti s tímto parametrem také uvědomit, že současná podoba normy ČSN EN 1991-1-2 [6] uvádí hustotu požárního zatížení pouze pro pár provozů.

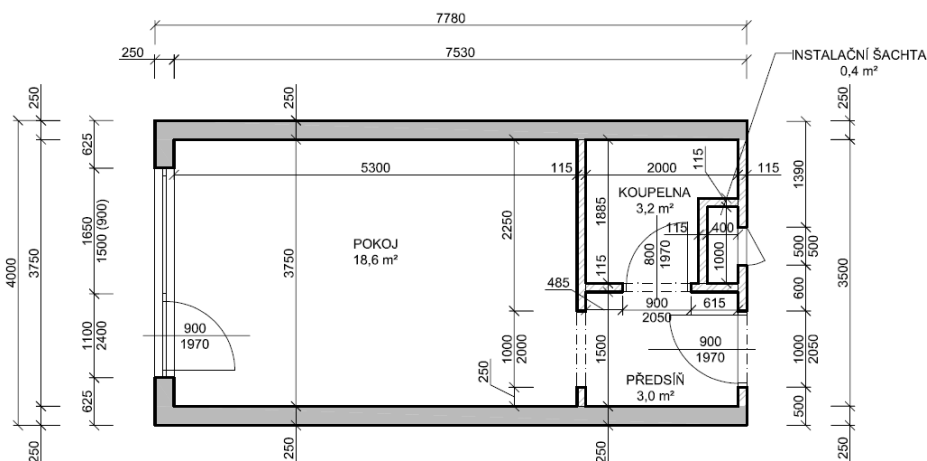
Dalším faktorem, který ovlivňuje vývoj požáru v prostoru, je větrání. Ačkoliv potenciální maximální ventilace požárního úseku má pevnou hodnotu díky jasně stanoveným rozměrům konstrukcí, resp. otvorů a lze ji tak snadno spočítat, množství ventilace dostupné během požáru je nejisté a závisí na procentuálním podílu otevřených oken a selhání zasklení během požáru. Názory na problematiku větrání během požáru se liší. Některá literatura pracuje s faktem, že při požáru dojde k rozbití okenních výplní, jiná literatura vychází ze studií, kde se uvádí, že dvojitá nebo trojitá skleněná výplň odolává tepelnému namáhání během požáru bez jakéhokoli nebo jen s omezeným zničením. Tato nejednotnost tedy vyžaduje další výzkum. Nicméně je jasné, že i tento vstupní parametr vnáší do požárních modelů značné nejistoty a vyžaduje tak pravděpodobnostní přístup.

Kromě požárního zatížení a větrání jsou dalšími významnými parametry ovlivňující vývoj požáru geometrie místnosti a tepelná charakteristika povrchů ohraničujících konstrukcí, která je v [6] popsána součinitelem  $b$  [ $J/m^2s^{1/2}K$ ].

Podle některých vědců je geometrie PÚ, větrání i tepelná charakteristika ohraničujících konstrukcí jasně čitelná ze stavebních výkresů, proto tyto veličiny považují za deterministické. Všechny tyto veličiny se ale významně liší podle využití budovy a jejího umístění, proto je nutné považovat tyto veličiny za náhodné.

## APLIKACE ZÍSKANÝCH POZNATKŮ

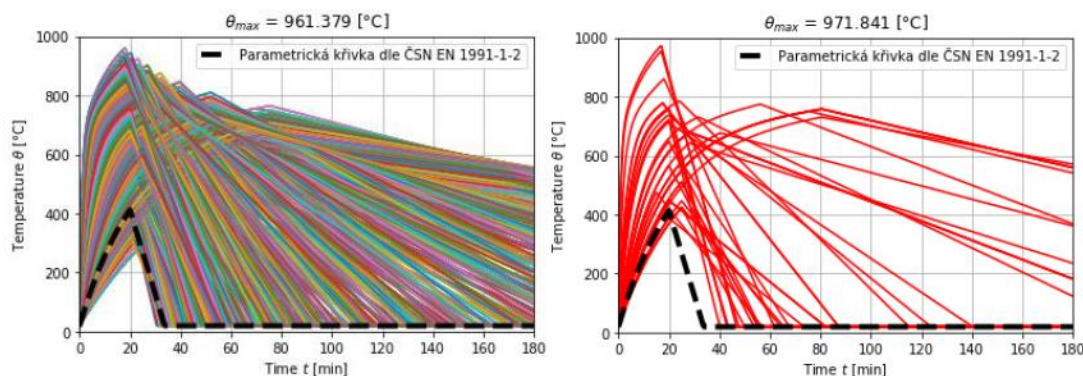
Na základě výše zmíněných poznatků jsou v rámci řešeného příkladu ukázány oba přístupy, tedy jak deterministický, tak stochastický (pravděpodobnostní). Výsledky z jednotlivých přístupů jsou následně porovnány a vyhodnoceny. Dle statistické ročenky HZS ČR [5] je třetím nejčastějším typem budovy, kde dochází ke vzniku požáru budova občanské výstavby. V důsledku několika nedávných požárů je v současné době velice řešená otázka požární bezpečnosti hotelů. Proto byl jako řešený příklad vybrán PÚ hotelového pokoje viz Obr. 2.



Obr. 2 Půdorys řešeného PÚ  
Fig. 2 Floor plan of the solved fire section

## VÝPOČET

Pro výše zmíněný PÚ byl nejprve proveden standardní výpočet parametrické teplotní křivky dle ČSN EN 1991-1-2 [6]. Následně byl použit stejný požární model (parametrická teplotní křivka), u které byla ale zohledněna variabilita vstupních parametrů. Rozsahy těchto vstupních parametrů byly stanoveny na základě inženýrského odhadu a kombinace těchto parametrů byly provedeny pomocí dvou pravděpodobnostních metod – Monte Carlo a Latinské Nadkrychle. Výsledky dokládají následující obrázky:



Obr. 3 – Levý obrázek ukazuje řešení příkladu pomocí metody Monte Carlo, pravý obrázek ukazuje řešení pomocí metody Latinské Nadkrychle

Fig. 3 – The left figure shows the solution of the example using the Monte Carlo method, the right figure shows the solution using the Latin Hypercubes Sampling

Na (Obr. 3) je vidět, jak mohou kombinace vstupních parametrů ovlivnit průběh modelovaného požáru. Dále je také vidět patrný rozdíl mezi maximální teplotou stanovenou dle normy [6], která je  $\theta_{\max} = 412,5$  °C a maximální teplotou, která vznikla kombinací vstupních parametrů. V případě kombinace parametrů dle metody Monte Carlo byla dosažena maximální teplota v řešeném PÚ  $\theta_{\max} = 961,379$  °C, dle metody Latinských nadkrychlí to pak bylo  $\theta_{\max} = 971,841$  °C. To ukazuje, že výsledky obou metod jsou velice podobné, a to i při rozdílném počtu simulací. V případě metody Monte Carlo bylo vygenerováno 1536 křivek, v případě metody Latinských nadkrychlí pouze 36 křivek.

## ZÁVĚR

Z výsledků vyplývá, že pravděpodobnostní přístup velmi ovlivňuje průběh modelovaného požáru a tím také požární odolnost nosných konstrukcí. Díky tomuto přístupu je možné více se přiblížit průběhu reálného požáru a přizpůsobit tomu návrh protipožární konstrukce nebo požárně bezpečnostních zařízení. Je to přístup, který by neměl být opomíjen, a který představuje možnou budoucnost v oblasti navrhování nosných konstrukcí na účinky požáru.

## LITERATURA

- [1] TEPLÝ, Břetislav, Drahomír NOVÁK, VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ a STAVEBNÍ FAKULTA. *Spolehlivost stavebních konstrukcí: teorie, numerické metody, navrhování, software* : skriptum FAST VUT. Brno: CERM, 2004. ISBN 978-80-214-2577-4.
- [2] SHRIVASTAVA, Mayank, Anthony ABU, Rajesh DHAKAL a Peter MOSS. *State-of-the-art of probabilistic performance based structural fire engineering*. Journal of Structural Fire Engineering [online]. 2019, JSFE-02-2018-0005. ISSN 2040-2317. Dostupné z: doi:10.1108/JSFE-02-2018-0005
- [3] GUO, Qianru, Kaihang SHI, Zili JIA a Ann E. JEFFERS. *Probabilistic Evaluation of Structural Fire Resistance*. Fire Technology [online]. 2013, 49(3), 793–811. ISSN 0015-2684, 1572-8099. Dostupné z: doi:10.1007/s10694-012-0293-6
- [4] GUO, Qianru a Ann E. JEFFERS. *Finite-Element Reliability Analysis of Structures Subjected to Fire*. Journal of Structural Engineering [online]. 2015, 141(4), 04014129. ISSN 0733-9445, 1943-541X. Dostupné z: doi:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001082
- [5] KPT. ING. HANA NEDĚLNÍKOVÁ A KOLEKTIV. *Statistická ročenka 2019*. B.m.: MV - generální ředitelství HZS ČR jako přílohu časopisu 112 číslo 3/2020. 2020
- [6] 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







## LINEÁRNÍ KOUŘOVÉ HLÁSIČE

### BEAM SMOKE DETECTORS

**Bc. David Kaplan**

#### *Abstract*

*In this paper there is a focus on optical beam smoke detectors. The main goal is to measure detection times for three different fuels. There was wood, heptane and toluene used in the model as fuel for fire. In the beginning there is a focus on theoretical part of work with explanation of different system and detection principals for beam smoke detectors. In the next part the focus is on practical model which was done in FDS software and visualized in software Smokeview. Since using a beam smoke detector in FDS is not strait forward there is also part dedicated to this topic.*

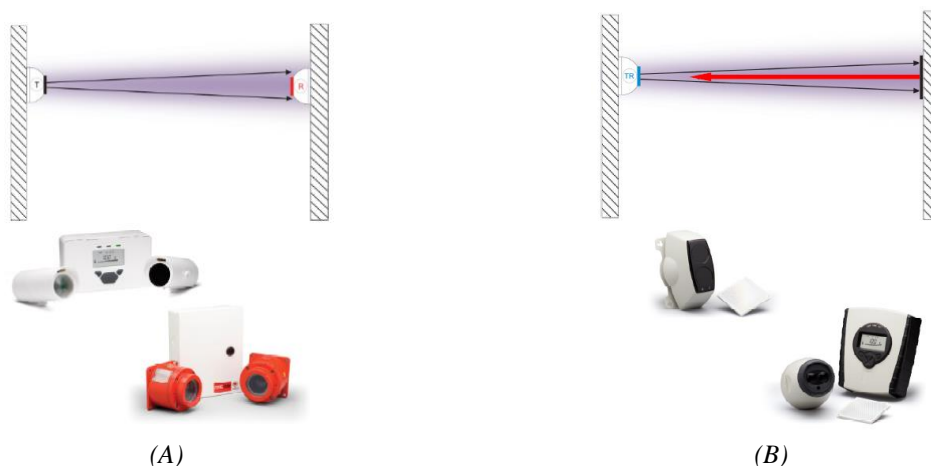
**Key words:** *optical beam smoke detector; FDS; light obstruction; light scattering; detection time*

#### ÚVOD

Samotné lineární opticko kouřové hlásiče jsou součástí většího a komplexnějšího systému EPS. Systém elektrické požární signalizace je jeden ze základních prvků aktivní požární ochrany. Účinnost a správné fungování elektrické požární signalizace je závislé na použitých požárních detektorech. Samotných detektorů je celá řada a dělí se do množství kategorií. Přes různé principy detekce, provedení a způsobu použití se dostaneme až k lineárním požárním hlásičům. Lineární detektory jsou specificky vyvinuty, pro pokrytí co největšího prostoru za co nejmenší náklady. Systém se v základu skládá ze dvou aktivních prvků a světelného paprsku, který je spojuje. [1] V následující práci jsme zkoumali základní data, pro efektivní využití lineárních hlásičů. Zjišťovali jsme, pro jaké druhy paliva jsou lineární opticko kouřové hlásiče vhodné, a pro které nikoli.

#### LINEÁRNÍ OPTICKO KOUŘOVÉ HLÁSIČE

Zaměření celé práce se týká těchto detektorů, které mají velké množství využití. V samotném systému jde vždy o dva prvky, které spojuje světelný paprsek. Prvním z prvků je vysílač. Vysílač v pravidelných intervalech vysílá světelný paprsek. Světelný paprsek bývá většinou v infračerveném světelném spektru, ale existují i systémy, které využívají více paprsků v různých světelných spektrech. Druhým klíčovým prvkem je přijímač. Tento prvek se nachází na druhém konci systému a zachycuje paprsek. Přijímač má v sobě integrovanou vyhodnocující jednotku. Ve zmíněné kategorii hlásičů existují dva hlavní druhy. První systém má dva aktivní prvky, tedy jeden vysílač a jeden přijímač. Vysílač je zdrojem paprsku a přijímač obsahuje vyhodnocovací zařízení. Tyto systémy jsou z pravidla schopny pokrýt větší chráněnou plochu a mohou být instalovány na větší vzdálenosti. Maximální vzdálenosti se liší s každým výrobcem, ale standardem je v dnešní době vzdálenost 100 až 120 metrů. Na druhou stranu je tato technologie dražší a náročnější na montáž, protože do obou prvků systému musí být zavedena kabeláž. Druhý takový systém obsahuje pouze jeden aktivní prvek a zrcadlo. Aktivní prvek v tomto systému je zároveň vysílač a zároveň přijímač. Vysílač vyšle paprsek přes chráněný prostor, kde na druhé straně prostoru je zrcadlo, které paprsek odrazí zpět. Zpětně přijatý paprsek je vyhodnocen pomocí vyhodnocovacího zařízení. Tento systém je většinou schopný pokrýt menší prostor než systém s dvěma aktivními prvky. Znovu záleží na určitém výrobcu, na jakou vzdálenost je technologii možné instalovat, ale z pravidla se jedná o vzdálenosti do 100 metrů. Technologie, která využívá jako jeden prvek zrcadlo je levnější a samotná montáž je jednodušší. V projektové části je tento způsob naopak komplikovanější, protože paprsky musí mít volný průchod oběma směry a jsou tedy náročnější na prostor. Oba systémy jsou vyobrazeny na Obr.1.



Obr. 1 (A) Příklad systému s vysílačem a přijímačem; (B) Příklad systému s vysílačem a zrcadlem [6]  
 Fig. 1 (A) Example of system with transmitter and receiver; (B) Example of system with transmitter and mirror [6]

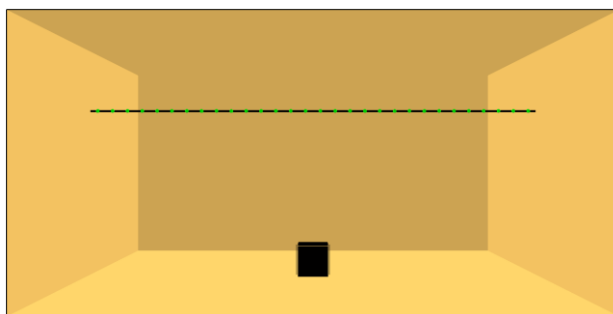
Na základě určitých fyzikálních jevů následně aktivní přijímač vyhodnotí situaci a přejdou do stavu „POPLACH“ nebo do stavu „PORUCHA“. Jednoduchost takového systému přináší i největší negativa, která tyto systémy provází, a to jsou plané poplachy. Plané poplachy a poruchy systému jsou hlavně způsobeny technologiemi, které se v chráněném prostoru pohybují. Klasickým příkladem jsou různé jeřáby, vysokozdvizné vozíky apod. Nebezpečí může skrývat i případný materiál, který se v prostoru nachází. V případě, že materiál má příliš velký potenciál k tvorbě kouře, tak může systém vyhodnotit příliš hustý kouř jako poruchu, a ne jako poplach. Samotný systém kromě planých poplachů trpí také náročností instalace. Samotné prvky musí být v přesné přímce, jinak systém nebude správně fungovat. Zároveň vzhledem k velikosti prostoru, který obvykle hlídají může i vychýlení o pouhý jeden stupeň způsobit odchylku na konci paprsku i několik metrů. V dnešních systémech už je planý poplach méně častý než dřív, protože systémy díky lepšímu softwaru rozlišují přerušení paprsku objektem a zeslabení světelného paprsku kouřovými částicemi. Právě zeslabení světelného paprsku je jeden ze dvou základních principů detekce požáru. Zeslabení světelného paprsku je princip použitý v následujícím modelu. [1,2,3]

## MODEL PROSTORU

Praktický příklad je zaměřen na rychlost detekce lineárního hlásiče s ohledem na druh hořícího paliva. K vymodelování prostoru, požáru a hlásičů byl zvolen program FDS (Fire Dynamics Simulator) (verze 6.7.4). FDS numericky řeší formu Navier-Stokových rovnic, které jsou přizpůsobené tepelným tokům s vlivem na teplo, které je přenášeno z požáru. Jako program pro vizualizace modelu byl použit software Smokeview. Simulace byla provedena v prostoru o objemu 13 500 m<sup>3</sup>. Kde samotný prostor měl rozměry 30 x 30 x 15 [m]. Takto volený prostor reprezentuje reálně možné využití lineárního hlásiče. Výpočetní síť simulace byla zvolena 1 x 1 x 1 m. Takto zvolená výpočetní síť byla použita s ohledem na náročnost modelace lineárního hlásiče kouře a s ohledem na dostupný výpočetní výkon při prováděných simulacích. [4]

## MODELOVÁNÍ HLÁSIČŮ

Jako konkrétní hlásič dává FDS možnost vymodelovat systém, který má dva aktivní prvky a světelný paprsek. Jako princip detekce požáru využívá princip zeslabení světelného paprsku. Modelování samotného systému není přímočaré. FDS umožňuje měření logicky jen v rámci jedné výpočetní buňky (tedy v tomto případě buňky o rozměrech 1 x 1 x 1 m). Proto se v rámci prostoru musí vymodelovat velký počet menších poplašných systémů. Vždy jsou v jedné výpočetní buňce dva aktivní prvky, světelný paprsek a měřící bod, který je uprostřed mezi dvěma aktivními prvky systému. Díky velkému počtu hlásičů, je pro vyhodnocování nutné data po simulaci správně agregovat. Na Obr. 2 je vidět vymodelovaný prostor a způsob modelace lineárních hlásičů. [4]



Obr. 2 Vizualizace prostoru pro simulaci s lineárními požárními hlásiči  
 Fig. 2 Visualization of space for simulation with linear smoke detectors

## PALIVO

Pro simulaci byly použity tři různá paliva. Dvě paliva byla zvolena v kapalném skupenství a jedno ve skupenství pevném. Paliva byla volena podle svého potenciálu pro tvorbu sazí. Tvorba sazí při hoření je klíčový parametr pro tuto simulaci. V Tab. 1 jsou vyjmenovány druhy zvolených paliv i s jejich potenciálem pro tvorbu sazí. Jako zdroj pro parametry a ostatní data pro modelaci požáru byl využit experiment, který byl proveden v roce 2007 v VTT Technical Reserach Center of Finland.[5]

Tab. 1 Parametry pro jednotlivá paliva v simulaci [5]

Tab. 1 Parameters for each fuel in simulation [5]

ID	SOOT_YIELD
WOOD	0.01
HEPTANE	0.037
TOLUENE	0.16

Jako zdroj hoření byla použita krychle o rozměrech 2 x 2 x 2 m. U kapalných paliv byla plocha hoření zvolená vrchní plocha této krychle a pro pevné palivo byly plochy hoření horní a všechny boční povrchy krychle. Na Obr. 3 je ukázána část zdrojového kódu pro hoření toluenu. [5]

```
&REAC ID='TOLUENE'
      FYI='Toluene, C_7 H_8'
      C = 7
      H = 8
      SOOT_YIELD=0.16 /

&RADI NUMBER_RADIATION_ANGLES = 50 /

&SURF ID = 'FIRELOAD' RGB = 1,1,0.2 /
&SURF ID='BURNER' HRRPUA = 1618.8 RAMP_Q = 'TR' RGB = 1,0.5,0 /

&RAMP ID = 'TR' T = 0 ,F = 0 /
&RAMP ID = 'TR' T = 11.4 ,F = 0.617 /
&RAMP ID = 'TR' T = 39 ,F = 0.673/
&RAMP ID = 'TR' T = 142.2 ,F = 0.673 /
```

Obr. 3 Zdrojový kód s parametry hoření pro palivo toluene

Fig. 3 Source code with fire parameters for toluene fuel

## POSOUZENÍ RYCHLOSTI DETEKCE

Jako hlavní cíl měla tato práce porovnat rychlost detekce lineárního hlásiče pro tři různá paliva. Jsou dva hlavní parametry, které ovlivňují rychlost detekce. Jeden parametr je „SOOT\_YEILD“ tedy množství sazí, které se při hoření produkuje a druhý parametr je rychlost rozvoje požáru, který je vymodelován podle podkladů ze zmíněného experimentu. Zdá se tedy být zřejmé, že látka s ideální kombinací parametru „SOOT\_YEILD“ a rychlosti rozvoje požáru bude detekovaná jako první. V Tab. 2 jsou seřazené časy detekce pro jednotlivá paliva od nejrychlejšího času detekce po nejpomalejší. [4]

Tab. 2 Časy detekce pro jednotlivá paliva

Tab. 2 Detection time for each fuels

Palivo	Čas detekce s výpočetní sítí 1 x 1 x 1 m [s]	Čas detekce s výpočetní sítí 0,5 x 0,5 x 0,5 m [s]
Toluen	5,94	
Dřevo	27,42	12,89
Heptane	27,83	

V případě použití toluenu, který má nejvyšší parametr „SOOT\_YELD“ se předpokládá velice rychlá detekce a také tomu tak bylo. V případě dřeva a heptanu je situace zajímavější, protože heptane má přibližně o 27 % vyšší hodnotu tvorby sazí než dřevo, a přesto byl požár s dřevem detekován rychleji. Tento fakt je vysvětlitelný plochou požáru. Zatímco heptane je modelován jako krychle, kde hořící plocha je jen samotné víko, tak dřevo má hořící plochu 5 x větší. Tento fakt pravděpodobně příčinou podobných časů detekce.

## ZÁVĚR

V této práci byl představen princip funkce lineárního hlásiče kouře. Byly vytvořeny simulace s různými druhy paliv pro zjištění času detekce pomocí lineárního hlásiče kouře. Byla provedena citlivostní analýza, při které bylo zjištěno, že zjemnění výpočetní sítě o 50 %, značně změnilo výsledky. Při citlivostní analýze byla na dřevěném palivu detekce o více než 14 sekund rychlejší. Tento výsledek ukazuje na to, že je v prvním kroku nutné provést výpočty na jemnější výpočetní síti, která zpřesní detekční časy, což bude základem dalšího zkoumání. Na základě jednoho modelu nemůžeme doporučit, pro která paliva jsou lineární opticko kouřové hlásiče vhodné, a pro které ne. Jedná se spíše o základní představu a základní data k této problematice, na které by nemělo být těžké navázat. V dalším kroku by bylo nutné navrhnout experiment, který tyto výsledky validuje. Dále by bylo třeba na základě těchto výsledků postupně postavit komplikovanější experimenty a modely, které by byly schopné predikovat časy detekce v reálných podmínkách.

## ZDROJE

- [1] BEBČÁK, Petr, DUDÁČEK, Aleš and ŠENOVSKÝ, Michail. *Vybrané kapitoly z požární ochrany*. Ostrava : Fakulta bezpečnostního inženýrství, VŠB - TU Ostrava, 2006. 80-86634-98-1.
- [2] BARTOŠ, Petr. *Perspektivní technologie detekce požáru*. Zlín : Univerzita Tomáš Bati ve Zlíně, 2013.
- [3] ČSN 34 2710 Elektrická požární signalizace – Projektování, montáž, užívání, provoz, kontrola, servis a údržba
- [4] MCDERMOTT, Randall, et al. *Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide*. Washington : U.S. Government printing office, 2007.
- [5] RINNE, Tuomo, HIETANIEMI, Jukka and HOSTIKKA, Simo. *Experimental validation of the FDS simulations of smoke and toxic gas concentrations*. s.l. : VTT, 2007. 978-951-38-6617-4.
- [6] FIRERAY. *Optical beam smoke detection guide*. s.l. : Fire Fighting Enterprises, 2014.

## NASÁVACÍ HLÁSIČE KOUŘE

### ASPIRATING SMOKE DETECTORS

**Bc. Tomáš Kaločai**

#### *Abstract*

*This article focuses on aspirating smoke detectors (ASD). As first the article describes components of ASD together with explanation of their function and their usage. Furthermore, it explains its sensitivity to particulate matter and shows inside of detection chamber in detail. In the end of this paper there is shown example of reaction time of ASD and optical smoke detector using simulation in CFD software to demonstrate.*

**Key words:** aspirating smoke detector; ASD; VESDA; fire; detection

#### ÚVOD

Tématem tohoto článku je nasávací hlásič kouře (ASD). V článku jsou popsány základní komponenty nasávacího hlásiče, jejich funkce, detailně popsána detekční komora, ve které jsou umístěny detekční zařízení, které slouží k rozpoznání kouřových částic obsažených ve vzduchu. Dále jsou popsány prostory, kde je vhodné využití těchto hlásičů, jelikož zde je velmi brzká reakce nutná z důvodu zachování majetku či ochrany osob. Jako poslední část je v programu FDS vytvořena modelová situace požáru, kde jsou porovnány doby reakce nasávacího hlásiče kouře a opticko-kouřového hlásiče.

## NASÁVACÍ HLÁSIČ KOUŘE

Nasávací hlásič kouře se skládá se 3 základních prvků:

- Vzorkovací potrubí
- Detekční komora
- Odvodné potrubí

Vzorkovací potrubí – jedná se o potrubí přívodní, které je rozmístěno po prostoru, které je monitorováno na vznikající požár. Potrubí může mít jednoduchou soustavu o jednom potrubí, či může být více potrubních soustav (maximálně čtyři), které se všechny slučují dohromady až před detekční komorou. V potrubí jsou vyvrtné otvory, které jsou nazývané „vzorkovací bod“. Potrubí je umístěno tak, aby vzorkovací body se nacházely přibližně na místě, kam by byl umístěn jakýkoliv jiný hlásič (např. opticko-kouřový hlásič). Potrubí může mít délku i 80 m. Skrze vzorkovací body je nasáván vzduch do vzorkovacího potrubí a je dopravován pomocí sacího ventilátoru do detekční komory. Potrubí může být umístěno jak horizontálně, tak i vertikálně. [1]

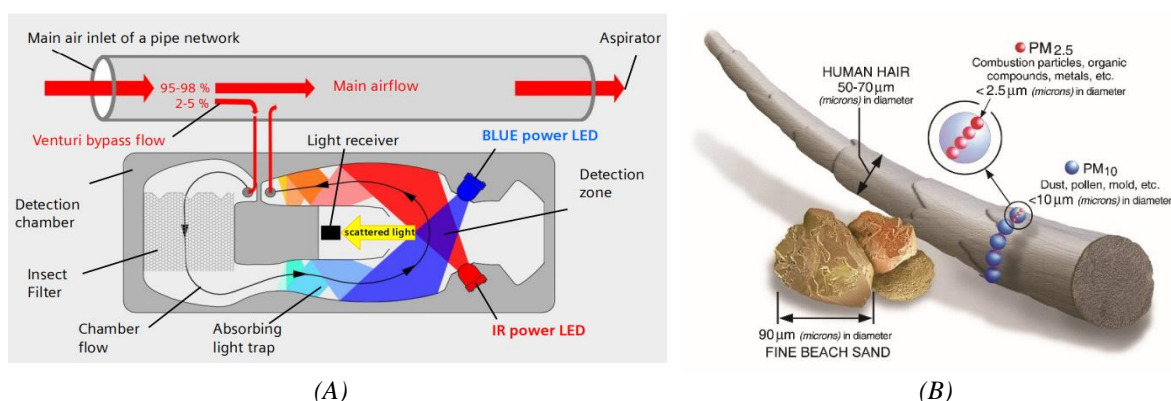
Detekční komora – detekční komora je připojena na vzorkovací potrubí a zároveň i na potrubí vývodné. V prostoru detekční komory dochází k filtraci přiváděného vzduchu, detekci prachových či kouřových částic, vyhodnocení na základě zjištěných dat a případně následná reakce – spuštění poplachu, či pokračování v konstantním monitoringu dané oblasti. Technologie v hlásiči bývají u všech zařízení v podstatě stejné, jediný rozdíl se nachází v tom, na jakém principu hlásič funguje. *Laser – Based Systems (Filtered)* – vzorkovací vzduch je prvotně proveden filtrem na oddělení příliš velkých částic, co by mohly vyvolat falešný poplach a pročištěný vzduch je poté ozářen pomocí světla (laseru). Na základě rozptylu světla dojde k vyhodnocení částic a případnému poplachu. *Laser – Based Systems (Non – Filtered)* – přivedený vzduch není filtrován a detekční komora funguje na principu ozáření částic pomocí světla a následném počítání zastoupení částic o určité velikosti a poté případný poplach. *Cloud Chamber* – Dokonale uzavřená komora naplněná vodní párou. Při průchodu částice zplodin hoření dojde ke kontaktu s vodní párou a k její ionizaci. Díky tomu se kolem kouřové částice vytvoří mlha a zvýší se její velikost a vlnová délka, ta je následně pomocí foto buňky porovnána a vyhodnocována. *Dual Source*

Sensor – tento způsob detekce využívá modré LED světlo na částice o extrémně malé velikosti s kombinací infračerveným světlem, které slouží k rozpoznání částic větších. Na základě získaných hodnot komora vyhodnotí získané signály od světla a může velmi dobře eliminovat falešný poplach. [1]

Vývodné potrubí – potrubí, které slouží k vývodu vzorkovacího vzduchu z detekční komory. V celém systému nasávacího hlásiče kouře musí být kompletní rovnováha, co se tlaku i rychlosti týče. Kdyby byla rychlost odváděného vzduchu příliš rychlá, dojde ke snížení citlivosti detekční komory, která nestihne spolehlivě vyhodnotit procházející částice a může dojít ke vzniku odporu a tahu, který působí na ventilátor a tím se zpomalí rychlost dopravy vzduchu v systému. Rovnost tlaku se nejlépe docílí tím způsobem, že je vývodné potrubí ve stejném prostoru, jako potrubí vzorkovací. [1]

## DETEKČNÍ KOMORA

Na Obr. 1 (A) je vidět nasávací hlásič kouře společnosti SIEMENS. Většina vzorkovacího vzduchu koluje systémem, potrubí a přibližně 2–5 % vzduchu je vtaženo do obtoku s detekční komorou. Vzduch projde přes filtr hmyzu či větších prachových částic a putuje do detekční zóny. V detekční zóně jsou částice ozářeny infračerveným a modrým LED světlem a odražené světlo od částic putuje skrze štěrbinu do přijímače světla. Přijímač světla na základě odraženého světla vyhodnotí, zda jde o prach či částice kouře a vzduch putuje zpět do hlavního toku směrem k vývodu.[2] Na Obr. 1 (B) je vidět velikost částic vznikajících jako produkt spalování (PM<sub>10</sub>), které jsou porovnávány s ostatními částicemi, jako je například jemný plážový písek nebo lidský vlas. [3]



Obr. 1 (A) ASD společnosti SIEMENS [2]; (B) Porovnání velikosti částí [3]  
Fig. 1 (A) ASD by SIEMENS company; (B) Particulate matter comparison

## PROSTORY VYUŽIVAJÍCÍ ASD

Využití ASD má velké uplatnění. Aplikuje se do malých, čistých prostor, ale zároveň i do prostoru velkého či vysokého rozsahu, open space, či prostorů s velmi vysokou prašností a vzniku nečistot. ASD se ve značném počtu používá v prostorech, kde je brzká detekce a následná represe klíčovým prvkem k tomu, aby se předešlo velkým škodám. ASD je ověřeno, že dokáže rozeznat zplodiny hoření a začít reagovat mnohem dříve, než jiné detektory nebo sprinklerové hlavice, které reagují na zvýšenou teplotu.

Příklad využití prostorů:

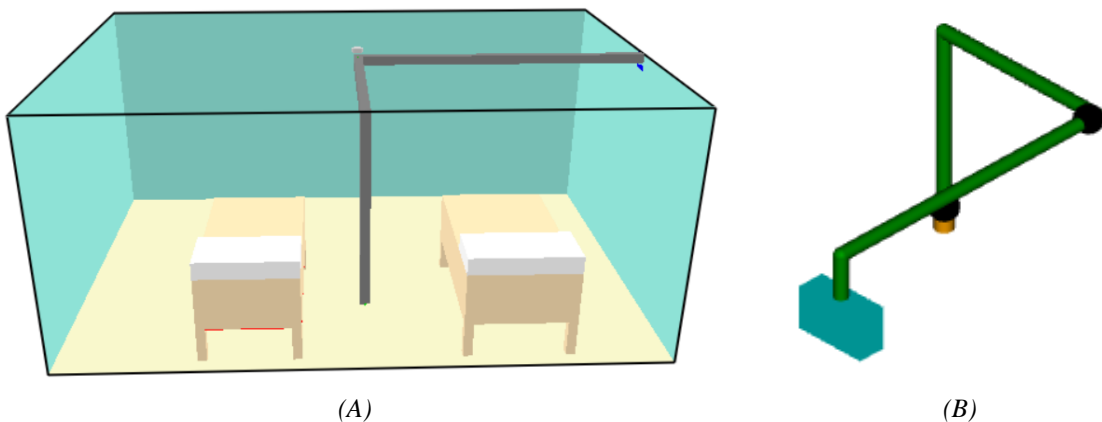
- ubytování (hotely), nápravná zařízení, věznice a čisté místnosti
- studená uložení (mrazáky), generátory energie
- kulturní a historicky cenné památky, muzea, knihovny
- datové a telekomunikační služby, nemocnice a pečovatelské domy
- archivy, dopravní zařízení (metra, letiště), obchodní centra
- prašná prostředí – skládky odpadu, zoo, výroby
- větrné elektrárny, sklady



## ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Jako řešený příklad byla zvolena simulace, která reprezentuje místnost v nemocnici, kde se nachází osoby bez samostatné schopnosti pohybu či osoby, které by, v případě požáru, nebyly schopné jakkoliv zasáhnout k jeho ohlášení či represi.

V programu FDS byl namodelován prostor o rozměrech 6,5x4,5x2,9 m. Rozměry byly vzaty z existujícího projektu. Ohraničujícím stěnám, stropu i podlaze byly přiřazeny tepelně technické vlastnosti (tepelná vodivost, měrná tepelná kapacita a hustota), tyto vlastnosti ovšem na detekci kouře nemají téměř žádný vliv. V prostoru byly pro představu namodelovány postele. Okna ani dveře nebyly do prostoru vkládány, jelikož by to pouze prodloužilo dobu reakce obou kouřových hlásičů, navíc se předpokládá, že dojde k jejich aktivaci ještě dříve, než by vlivem vysokých teplot došlo k porušení oken či dveří. Na úroveň jedné postele byla umístěna rovina (rovina pod postelí nalevo na Obr. 3), které byly přiřazeny vlastnosti požáru nemocniční postele na základě HRR křivky (křivka uvolňování tepla v závislosti na čase) získané z přílohy k publikaci [4].



Obr. 2 (A) Simulovaný prostor v FDS; (B) Model v programu ASPIRE  
Fig. 2 (A) Simulated room in FDS; (B) ASD in ASPIRE software

Na Obr. 2 (A) je znázorněno vedení vzorkovacího potrubí pomocí tmavší, šedé barvy. Jeden vzorkovací bod je umístěn na její konec mezi postelími, který slouží pro případ, kdyby došlo ke vzniku studeného kouře, který má tendenci držet se spíše u podlahy či nad podlahou než stoupat ke stropu z důvodu jeho nízké teploty. Druhý vzorkovací bod je umístěn do středu místnosti vedle šedého válce, který znázorňuje opticko-kouřový detektor. Vzorkovací potrubí dále vede do kraje místnosti, kde je znázorněno umístění detekční komory. Opticko-kouřový hlásič byl umístěn do středu místnosti.

Na Obr. 2 (B) je znázorněno modelování ASD detektoru se vzorkovacím potrubím v programu ASPIRE poskytnuto firmou XTRALIS pro studijní účely. [5] Díky programu se získal čas prodlevy, který se vkládá do kódu FDS jako DELAY, který znázorňuje dobu transportu vzorkovacího vzduchu od vzorkovacího bodu do detekční komory. V tomto případě se jednalo u stropního bodu o 5 vteřin, u bodu nad podlahou o 10 vteřin. [5] Rychlost detekce nasávacího hlásiče kouře (ASD) byla porovnána k bodovému opticko-kouřovému hlásiči (OKH). Citlivost opticko-kouřového hlásiče je nastavena na 3,24 % hustoty kouře na metr. Nasávací hlásič kouře vyhláší poplach již při dosažení hustoty kouře při hodnotě 0,2 %/m.

## VÝSLEDNÉ HODNOTY

V Tab. 1 jsou vidět výsledky simulací. Prostor musí být pro program FDS rozdělen na menší početní buňky pomocí programu MESH. Například pokud se prostor o rozměrech 6,5x4,5x2,9 m rozdělí příkazem na MESH s hodnotami IJK=65,45,29 vznikne prostor rozdělený na „krychličky“ o 100x100x100 mm, mezi kterými funguje proudění a předávání informací pro simulaci. Na prvních hodnotách v tabulce je vidět, že pokud je prostor příliš málo „rozmeshování“, tak mohou vznikat hodnoty zavádějící a třeba

až nereálné. Pokud by někdo vzal hodnoty z první simulace a dále neprováděl další pokusy, byly by výsledky nerelevantní. Více pokusy o různých velikostech MESH prostoru pomáhá ověřit správnost výsledků a také dospět k variantě, kde by výsledky mohly být již více spolehlivé. Ovšem čím více buněk, tím déle může proces výpočtu trvat, jak je znázorněno taktéž v Tab. 1.

Tab. 1 Výsledky simulací

Tab. 1 Simulation results

MESH IJK (x,y,z)	Trvání simulace [min]	ASD [s]	OKH [s]
10,10,5	0,08 (5 vteřin)	27,5	26
10,10,58 <sup>+</sup>	2,5 <sup>+</sup>	9	31
25,25,29	15	21,5	26,5
65,45,29	22	20,5	23,6
65,45,58 <sup>*</sup>	20 <sup>*</sup>	21	23,5
65,45,87 <sup>*</sup>	50 <sup>*</sup>	21,7	23,9
* Doba simulace byla zkrácena na 30 vteřin			
<sup>+</sup> Doba simulace byla nastavena na 40 vteřin			

## ZÁVĚR

Tato simulace sloužila k porovnání rychlosti detekce ASD a opticko-kouřového hlásiče. I přesto, že citlivost ASD je 0,2 % hustoty kouře na metr a opticko-kouřového hlásiče je až 3,24 %/m, nejsou doby reakce hlásičů příliš rozdílné. Jednu z rolí zde hrála prodleva ASD, jakožto doba transportu vzduchu skrze vzorkovací potrubí, ale také to, že se jedná o velmi malou místnost a hodnoty HRR nemocniční postele dosahují až 706 kW, které v takto málem prostoru vyvíjí už od počátku hustější kouř a kouř se nemá v takto malé místnosti, kam šířit. Hodnoty by mohly být velmi rozdílné, kdyby se jednalo například o rozsáhlejší prostor (vysoké atrium hotelu, obchodní centra). V dnešní době ale i ten rozdíl 2–3 vteřin může mít velký dopad na majetek (některé přístroje jsou velmi citlivé), či zdraví osob. Podklad tohoto článku vychází z rešerše na diplomový seminář, který se zabývá stejným tématem (nasávací hlásiče kouře), která bude sloužit jako podklad pro diplomovou práci, která se bude dále zabývat problematikou ASD již v rozsáhlejší prostoru, kde budou výsledky více viditelné.

## LITERATURA

- [1] Honeywell Inc., *Aspirating Smoke Detection Applications Guide, 2015*. [online]. [vid. 2020-04-06]. Dostupné z: [https://www.notifierfiresystems.co.uk/docs/notifierfiresystems/en/ug/AspiratingSmokeDetectors\\_AppGuide\\_ASAG44201\\_Honeywell.pdf](https://www.notifierfiresystems.co.uk/docs/notifierfiresystems/en/ug/AspiratingSmokeDetectors_AppGuide_ASAG44201_Honeywell.pdf)
- [2] GUTMACHER, Daniel. *SIEMENS AG, Aspirating Smoke Detection White Paper, 09.06.2015* Dostupné z <https://new.siemens.com/>.
- [3] US EPA, OAR. EPA – United States Environmental Protection Agency, *Particulate Matter (PM) Basics*. In: EPA. Datum neznáme. *US EPA* [online]. 19. duben 2016 [vid. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>
- [4] WALD, František, Marek POKORNÝ, Kamila HOROVÁ, Petr HEJTMÁNEK, Hana NAJMANOVÁ, Martin BENÝŠEK, Marta KUREJKOVÁ, Ivo SCHWARZ, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE a STAVEBNÍ FAKULTA. *Modelování dynamiky požáru v budovách*. 2017. ISBN 978-80-01-05633-2.
- [5] *ASPIRE Pipe Network Design Software, datum neznámé*. Dostupné z: <https://xtralis.com/>

## DETEKCE POŽÁRU V HISTORICKÝCH OBJEKTECH

### FIRE DETECTION IN HISTORICAL BUILDINGS

**Bc. Simona Lorencová**

#### *Abstract*

*This article deals with the issue of fire detection in historic buildings. The most frequently legislative requirements for the protection of historical monuments are summarized here. There are also brief characteristics of some fire detectors used in historic buildings. The use of fire detectors in monastery library in Broumov is described in the conclusion.*

**Key words:** *fire detection; historical buildings; fire detectors; library, monastery library in Broumov*

#### ÚVOD

Největší katastrofou pro historické památky jsou právě požáry. Ty bývají velmi ničivé a pro mnoho památek se stávají osudnými. Požárem zničené památky nelze obnovit, a i replika stěží nahradí zničený originál. Požáry mohou zasáhnout jak stavební konstrukce, tak i sbírky uložené uvnitř staveb. Včasná detekce požáru, proto zamezí ztrátám na historickém majetku a včasný zásah omezí další rozšíření požáru, a sníží tak rozsah škod na historických objektech a dílech. Dále bychom do požární ochrany měli zahrnout ochranu zdraví a života návštěvníků a zaměstnanců, neboť i ti mohou být požárem zasaženi.

Vzhledem k tomu, že bezpečnost historických objektů ovlivňuje nejen majitel, ale i zaměstnanci a návštěvníci, je nutné snížit riziko vzniku požáru na minimum. Dalším ztížením případného požárního zásahu je často špatná dostupnost k památce. Mnoho historických památek se nachází na kopci, skalním ostrohu nebo na jezeře a k památce vede pouze jedna přístupová cesta (Obr. 1). Některé normové či jiné legislativní požadavky se zabývají především návrhem a podmínkami pro novostavby. Těmto požadavkům historické objekty často nedokážou plně vyhovět. Na základě předchozích zkušeností, NPÚ vytvořilo ve spolupráci s HZS a dalšími odborníky metodiku, které by měla návrh požární bezpečnosti historických objektů nejen usnadnit, ale i zefektivnit. Samozřejmostí by měla být spolupráce projektanta PBR, projektanta EPS a montážní firmy, aby docházelo k hospodárnému a účinnému protipožárnímu zabezpečení. [1]



(A)



(B)

*Obr. 1: (A) zámek Vranov nad Dyjí – skalní ostroh, (B) zámek Červená Lhota – umístěn na jezeře  
Fig. 1: (A) chateau Vranov nad Dyjí – rocky promontory, (B) chateau Červená Lhota – on the lake*

#### LEGISLATIVA

Snaha právních předpisů je účelně chránit a eliminovat škody na lidských životech a na majetku při vzniku mimořádných událostí, mezi které patří i požáry.

Zákon 133/1985 Sb. o požární ochraně stanovuje členění provozovaných činností dle požárního nebezpečí. Vzhledem k často ztíženým podmínkám pro zásah jsou často zpřístupněné historické památky řazeny do skupiny provozů se zvýšeným požárním nebezpečím. Tento zákon dále upravuje povinnosti majitele, vzhledem k nebezpečí, udržovat a revidovat požární techniku včetně věcných prostředků požární techniky a případné sankce při nedodržení nařízení. [2]

Vyhláška 23/2008 Sb. o technických podmínkách požární ochrany staveb ze závazňuje jinak nezávazné normy. V jejích paragrafech se zaměřuje, jakým požárně bezpečnostním zařízením musí být stavby vybaveny. K historickým objektům se váží hlavně §26 – stavba památkově chráněná a §27 – ochrana movitých kulturních památek. Ty ukládají nutnost vybavit prostory elektrickou požární signalizací nebo hlásičem požáru použitým v elektrické požární signalizaci a stabilním hasicím zařízením, pokud se jedná o jedinečný prostor či sbírku. [3]

Vyhláška 246/2001 Sb. vyhláška o požární prevenci stanoví požadavky na zásah u staveb se složitými podmínkami pro zásah, viz Obr. 1. Při instalaci elektrické požární signalizace v objektu je nutné obsluhu řádně proškolit. V této vyhlášce je stanoven rozsah a pravidelnost školení zaměstnanců v požární ochraně. [4]

## HLÁSIČE POŽÁRU

Hlásičů požáru existuje celá řada. Můžeme je dělit dle fyzikálního principu detekce, kde se jedná o detekci kouře, teploty či radiaci plamene, dle konstrukčního uspořádání na bodové, lineární, liniové, nasávací nebo videodetekci nebo na tlačítková a samočinná. Pro zvolení vhodného hlásiče je nutné znát dobře schopnost jeho detekce a také dobře vyhodnotit podmínky a parametry místnosti, do které hlásič navrhujeme.

Tlačítkové hlásiče slouží k vyhlášení poplachu osobou. Hlásiče jsou dvojího typu. Typ A – hlásič s přímou obsluhou, k poplachu dochází při rozbití sklička. Typ B – hlásič s nepřímou obsluhou, k poplachu dochází po rozbití sklička a stisknutí tlačítka. Hlásiče se umísťují na únikové cesty u východů z nechráněných únikových cest do chráněných únikových cest, v dosahu ostražky objektu, v dosahu člověka, tj. 1,2–1,5 m nad podlahou.

Hlásiče teplot mají dvojí uspořádání bodové a liniové. Bodové hlásiče teplot fungují na principu termočlánků, které reagují na změnu teploty. Hlásiče mohou být maximální, kdy k vyhlášení poplachu dochází při překročení jisté teploty, vhodné jsou do míst s velkým kolísáním teplot s malými intervaly. Další možností jsou hlásiče diferenciální. Poplach se spustí, pokud nárůst teplot překročí stanovenou rychlost změny teplot, vhodné použití je do prostor s nízkými teplotami a pomalou změnou teplot. Liniové tepelné hlásiče se používají primárně pro ochranu venkovních dřevěných konstrukcí. Hlásiče pracují na principu měření změny tlaku v detekčním potrubí či při deformaci kabelu.

Hlásiče vyzařovaného plamene snímají vznik ultrafialového nebo infračerveného záření při vzniku požáru. Tato detekce snímá vlnovou délku, kterou vysílají plameny požáru. Velkým nedostatkem je nedostatečná reakce na vývoj kouře, proto jsou tyto hlásiče vhodné do prostor, kde předpokládáme rychlý vývoj plamenného hoření. Nejčastěji sklady hořlavých kapalin nebo plynů. Falešné poplachy těchto hlásičů mohou způsobit sluneční paprsky, blesky nebo bodové osvětlení. Z těchto důvodů se tyto hlásiče v historických objektech využívají jen zřídka.

Detektory kouře jsou velmi hojně využívány. Kouřových detektorů je na trhu k dostání několik druhů. Optické kouřové hlásiče jsou velmi hojně využívány pro svou spolehlivost a cenovou dostupnost. Tyto hlásiče reagují velmi rychle již v počáteční fázi požáru. Optické detektory využívají zplodin hoření (saze a jiné částičky) k rozptylu nebo pohlcení světla (často infračerveného záření) v optické komoře detektoru. Pokud dojde k rozptýlení světelného toku v důsledku nasátí kouřových částiček a následného dopadu záření na fotodiodu nastává poplach. Vzhledem k oblibě těchto hlásičů vyrábí dodavatelé různá barevná provedení nebo pohledovou část chrániče je možno nabarvit. Ionizační kouřové detektory jsou

vzhledem k přítomnosti radioaktivního prvku v ionizační komoře používány pouze v odůvodněných případech. Dalším druhem kouřových hlásičů jsou aspirační (nasávací) detektory kouře, ty pracují na principu nasávání vzduchu z hlídaného prostoru a průběžně jej analyzují na kouřové částice. Zařízení pro detekci může být dvojího druhu, konvenčním bodovým detektorem kouře nebo speciální laserovým detektorem. Na trhu se také vyskytují lineární optické detektory kouře, jsou založeny na principu zeslabení světelného toku paprsku, který zapříčiní přítomné kouřové částice ve vzduchu. Detektory se skládají ze dvou částí, ze zdroje světelného toku a z detekční jednotky, která přijímá vysílaný světelný signál. Mezi těmito částmi detektoru může být vzdálenost 5–100 m.

Duální a multisenzorová detektory kombinují různé detekční metody (např. detekce kouře a teploty), díky tomu jsou odolné vůči planým poplachům. Čím dál častěji se také objevují detektory kombinující detekci kouře, zvýšené teploty a zvýšenou koncentraci oxidu uhelnatého. Tyto hlásiče jsou velmi odolné vůči okolním vlivům a snižují tak riziko planých poplachů na minimum. Vhodné jsou do prostor s množstvím možných rušivých aspektů, např. prostory s velkou prašností či kuchyně v restauracích (kouř vznikající při vaření). Vzhledem k povaze prostoru je nutné zvážit vhodnou kombinaci detekce.

Požární videodetekce je čím dál častěji využívaný způsob detekce požáru. Jedná se o detekci požáru pomocí uzavřeného televizního okruhu. Obraz z kamer je analyzován speciálním výpočetním softwarem, který je schopen, na základě databáze různých typů požáru, rozpoznat plamen, kouř anebo oba tyto projevy požáru. Mimo to je možné sledovat pohyb a ostatní bezpečnostní požadavky. Této detekce se využívá v interiéru, kde není možné využít jiný druh detekce a ve velmi ceněných prostorech, kde není možný zásah do konstrukce. Příkladem využití videodetekce v historických objektech může být Kaple sv. Kříže na hradě Karlštejn.

Bezdrátové systémy v poslední době jsou stále častěji používány. Nespornou výhodou těchto hlásičů je absence kabelového vedení, a tudíž se snižuje zásah do konstrukce, protože není nutné vysekávání drážek pro kabelové vedení. Vhodné jsou pro použití do esteticky nebo architektonicky ceněných prostor s freskami, štukovými omítkami apod. Hlásiče jsou napájeny baterií a některé hlásiče monitorují stav baterie a včas nahlásí nutnost výměny. [1, 5]

## PROHLÍDKA KLÁŠTERNÍ KNIHOVNY V BROUMOVĚ

Již ve 14. století zde byl vybudován klášter s gotickým chrámem zasvěceným sv. Vojtěchovi, který byl vybudován na místě tvrze ze 13. století, ten byl v první polovině 18. století přestavěn v barokním slohu. Tuto barokní podobu započal budovat italský stavební mistr Martin Allia Löwenthal na konci 17. století. Jeho práci dokončili Kryštof a Kilián Ignác Dientzenhoferové. Klášterní knihovna se začala formovat již v počátcích kláštera. Nyní klášterní knihovna čítá na 17 000 svazků.[6]

Prohlídka klášterní knihovny proběhla v úterý 19. 5. 2020. K prohlídce byla zpřístupněna obě patra, tedy sál i ochoz knihovny. První patro knihovny se nachází ve 2.NP kláštera, přístup na ochoz je z chodby 3.NP. Knihovna je situována do severní části kláštera a nachází se na prohlídkové trase.

Knihovna má jednoduchý obdélníkový půdorys o rozměrech 22,1 x 7,3 m. Světlá výška klenby knihovny je 8 m. Klenba knihovny je valená s malým vzepětím. Svislé nosné stěny jsou z cihel plných pálených a tloušťka zdi je 1,4 m a jsou opatřeny vápennou omítkou. Vstupní dveře jsou dřevěná dvoukřídlá s rozměry 1,2 x 2,6 m. Okna v sále knihovny jsou obdélníková dřevěná špaletová s jednoduchým zasklením a rozměry 1,4 x 2,8 m a výškou parapetu 1 m. Ochoz knihovny je dřevěný se šířkou 1,5 m a jeho výška od podlahy je 4,5 m. Ochoz je podpírán dřevěnými sloupy. Okna na ochozu jsou oválná dřevěná s jednoduchým zasklením a rozměry 1,4 x 1,2 m. Parapet oken má dva stupně s celkovou výškou 1,25m. Dveře na ochoz jsou dřevěná jednokřídlá s rozměry 1,3 x 2,1 m.

Při vstupu na ochoz knihovny se nachází tlačítkový hlásič (Obr. 2). U hlavního vstupu do knihovny se tlačítkový hlásič nenachází. I přes významnou hodnotu uložených knih a to, že knihovna se v minulosti nevyhnula několika požárům, se v prostoru knihovny nenachází žádné požární hlásiče ani jiná požární bezpečnostní zařízení.



Obr. 2 (A) pohled na prostor klášterní knihovny z ochozu; (B) tlačítkový hlásič u vchodu do knihovny  
 Fig. 2 (A) view of the monastery area from gallery; (B) a button detector at the entrance to the library

## ZÁVĚR

Kulturní dědictví je třeba dobře chránit před účiny požáru, aby nedocházelo k jeho znehodnocení a zůstalo zachováno pro další generace. Z popsanych zákonů a vyhlášek je zřejmé, že česká legislativa nařizuje ochranu objektů, v některých případech jsou ovšem normová opatření velmi přísná a je tedy velmi nelehké a v některých případech i nemožné v historických objektech těmto požadavkům vyhovět. NPÚ, ve spolupráci s odborníky na požární odolnost objektů a hasičským záchranným sborem, vydal metodiku, jejíž snahou je pomoci projektantům s návrhem efektivního a citlivého řešení požární ochrany. Na trhu je dostupných mnoho druhů hlásičů. Pro vhodný návrh je nutné znát přednosti a omezení daných hlásičů, aby došlo k včasné detekci požáru, a přitom nedocházelo zbytečně k planým poplachům. Vhodnost použití hlásičů je v historických objektech také limitována vzhledem hlásičů a nutností kabelového vedení, kde je snaha o skrytí hlásičů nebo integrování hlásičů do konstrukce tak, aby co nejméně narušovaly nebo vyčnívaly do střeženého prostoru.

## LITERATURA

- [1] JIRÁSEK, Pavel a Martin MRÁZEK. *Požární ochrana památkových objektů*. 2015. vyd. Praha: Národní památkový ústav, nedatováno. ISBN 978-80-7480-021-4.
- [2] *Zákon 133/1985 Sb., o požární ochraně*
- [3] *Vyhláška 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb*
- [4] *Vyhláška 246/2001 Sb., o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci)*
- [5] ZELINGER, Jiří. *Technologie ochrany kulturního dědictví před požáry*. leden 2010. Brno: Technické muzeum v Brně, 2010.
- [6] *Klášter Broumov – Klášterní knihovna* [online]. [vid. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.klasterbroumov.cz/cs/klasterni-knihovna>

## ANALÝZA VNĚJŠÍCH ODBĚRNÍCH MÍST A NÁSTUPNÍCH PLOCH

### ANALYSIS OF EXTERNAL SUPPLY SOURCE AND ASCENDING AREAS

**Bc. Markéta Humr**

#### **Abstract**

*This article deals with a design issues of ascending areas, access roads and fire hydrants. The first part is dedicated to legal requirements. And the second part is dedicated to the evaluation of project of ascending areas, access roads and external supply source for designated object.*

**Key words:** fire hydrant; access road; ascending area; firefighting; firefighting equipment

#### **ÚVOD**

Mezi občany České republiky je malé množství osob, kteří si uvědomují důležitost funkčních nástupních ploch, příjezdových komunikací a zdrojů požární vody. Pokud jednotka požární ochrany nebude schopna včas dojet k místu požáru, nebude moct vhodně ustavit výškovou požární techniku nebo nebude mít dostatečný zdroj požární vody, například z důvodu nevhodného návrhu nebo nevhodně zaparkovaných automobilů, tak se lidé vystavují velkému riziku, ať už z hlediska jejich zdraví, zvířat nebo majetku.

Pro hasičské záchranné sbory (dále HZS) je to velice aktuální téma, proto se tento článek zabývá problematikou návrhu umístění nástupních ploch, přístupových komunikací a vnějších odběrních míst.

#### **LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY**

Za přístupovou komunikaci se považuje nejméně jednopruhová silniční komunikace se šířkou vozovky nejméně 3 m, která by měla umožnit příjezd k nástupní ploše nebo alespoň 20 m od vchodů do objektu, pokud nástupní plocha není navržena. [1] Každá neprůjezdná jednopruhová přístupová komunikace delší než 50 m, pokud je komunikací jedinou, musí být na svém zakončení navržena se smyčkovým objezdem nebo plochou umožňující otáčení vozidla. [2] Vjezdy na pozemky obestavěné, ohrazené nebo jiným způsobem nepřístupné a určené pro příjezd požární techniky musí být navrženy o průjezdném profilu minimálně 3,5 m široké a 4,1 m vysoké. [2]

Nástupní plocha musí navazovat na přístupové komunikace, mít šířku nejméně 4 m, být odvodněna a zpevněna alespoň k jednorázovému použití vozidel, tíha na nejvíce zatíženou nápravu se uvažuje nejméně 100 kN. Plocha má mít sklon v jednom směru (zpravidla podélném) nejvýše 8 %, ve druhém nejvýše 4 %. A musí být situována tak, aby byl v každém podlaží umožněn zásah z výsuvného automobilového žebříku nebo z požární plošiny. [1] U výrobních objektů by měla být délka nástupní plochy nejméně 15 m. [3] Nástupní plocha by se měla udržovat volná a měla by být označena dopravní značkou B 29 (Zákaz stání) s dodatkovou tabulkou „Nástupní plocha pro požární techniku“. [4]

Požadavky pro zásobování požární vodou nově projektovaných objektů, otevřených technologických zařízení a volných skladů se vyhodnocují pro jednotlivé požární úseky a za rozhodující se považuje případ s nejvyššími nároky na zásobování požární vodou. Vzdálenosti se měří po nejpravděpodobnější trase vedení zásahu nebo jízdy požární techniky. Jako vnější odběrní místa pro zásobování požární vodou se mají navrhovat zejména nadzemní hydranty. U nejnepříznivěji položeného hydrantu musí být zajištěn statický přetlak nejméně 0,2 MPa. Všechny zdroje požární vody musí být označeny tak, aby byl jednoznačně zřejmý jejich účel. [5]

## ROZVOJ AUTOMOBILISMU V ČESKÉ REPUBLICE

V České republice je registrováno 8 103 690 ks vozidel všech kategorií, z toho 5 747 913 ks osobních automobilů. Při počtu obyvatel 10 649 800 to znamená, že na jeden osobní automobil připadá 1,85 obyvatele. Oproti tomu v roce 1989 to bylo 4,29 obyvatele. [6]

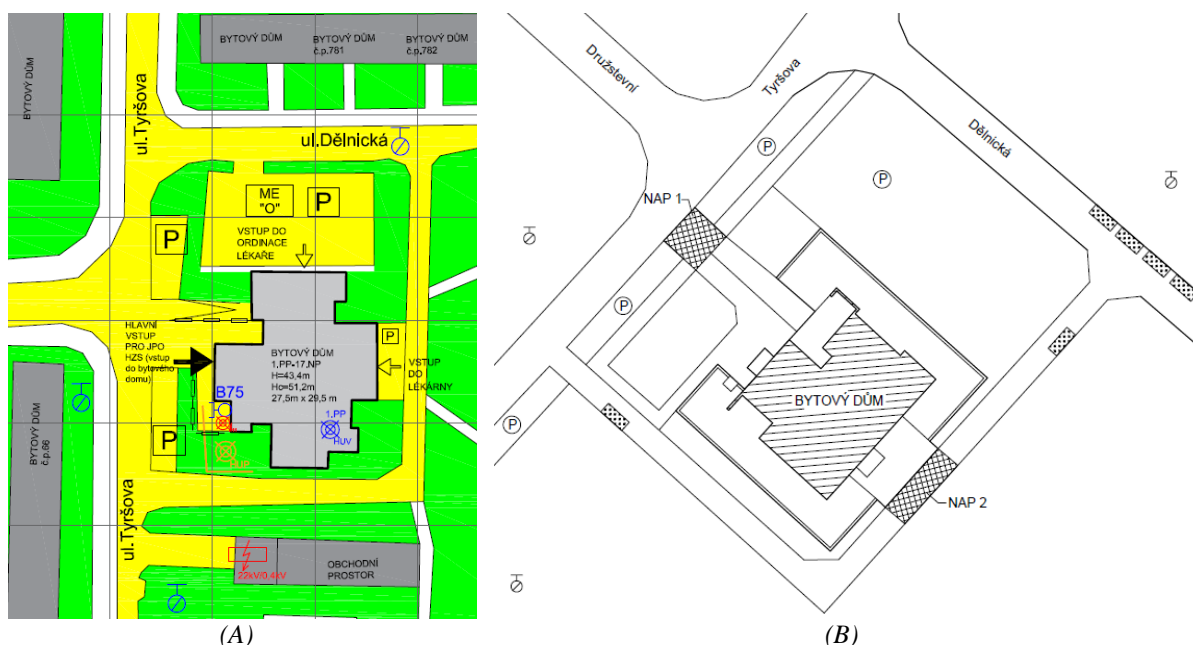
Velké množství budov včetně infrastruktury pochází z doby okolo roku 1989 a byly navrženy dle tehdejších potřeb, nyní jsou nevyhovující. Další příčinou problému přeplněnosti silniční sítě a parkovišť jsou větší rozměry nových vozidel.

### ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Řešený příklad je zaměřen na zhodnocení navržených nástupních ploch a přístupových komunikací k vybranému objektu. Pro řešení byl použit program AutoCAD 2020 a AutoTURN 8.2.

Pro účely této práce byl vybrán bytový dům, který se nachází v Kolíně a je ve vysokém stupni požárního nebezpečí. Objekt má 17 nadzemních podlaží a požární výška je 43,4 m. V objektu se nachází 90 bytových jednotek, v 1. NP je ordinace lékaře a lékárna se zázemím. U objektu jsou navrženy dvě nástupní plochy. Jedna se nachází před hlavním vstupem a má rozměry 7 x 8 m (NAP1) a druhá se nachází před vstupem do lékárny a má rozměry 4,5 x 14 m (NAP2). Vstupy do objektu a přístupové komunikace jsou zakresleny v situaci (Obr. 2), kde na Obr. 2A je obrys objektu včetně přístřešku pro zásobování objektu a předsazených lodžií (lodžie jsou od 2. NP do 16. NP), zatímco na Obr. 2B je znázorněna čistá hranice objektu v místě 1. NP.

U objektu se nachází tři podzemní hydranty, ani u jednoho nebyly v posledních několika letech provedeny provozní kontroly a HZS by je při zásahu nepoužily. Pravděpodobně by při zásahu využili nadzemní hydrant DN100 v ulici Benešova, který je od objektu vzdálen přibližně 300 m. Poslední revize tohoto hydrantu proběhla v roce 2017, kdy byl naměřen statický tlak 0,41 MPa a průtok 29 l/s.



Obr. 1 (A) Situace DZP [7]; (B) Situace s vyznačením nástupních ploch  
Fig. 1 (A) Situation DZP [7]; (B) Situation with marking of ascending areas

Zásahové požární automobily, které má k dispozici HZS Kolín, jsou uvedeny v Tab. 1. Z tabulky je patrné, že požadavek z norem na minimální šířku nástupní plochy 4 m je nedostatečný, jelikož pro ustavení výškové techniky je potřeba šířka nejméně 5 m. Příjezd k nástupní ploše před objektem se uvažuje všemi automobily, příjezd k nástupní ploše za objektem se uvažuje pouze automobily CAS.



Tab. 1 Požární technika hasičského záchranného sboru Kolín

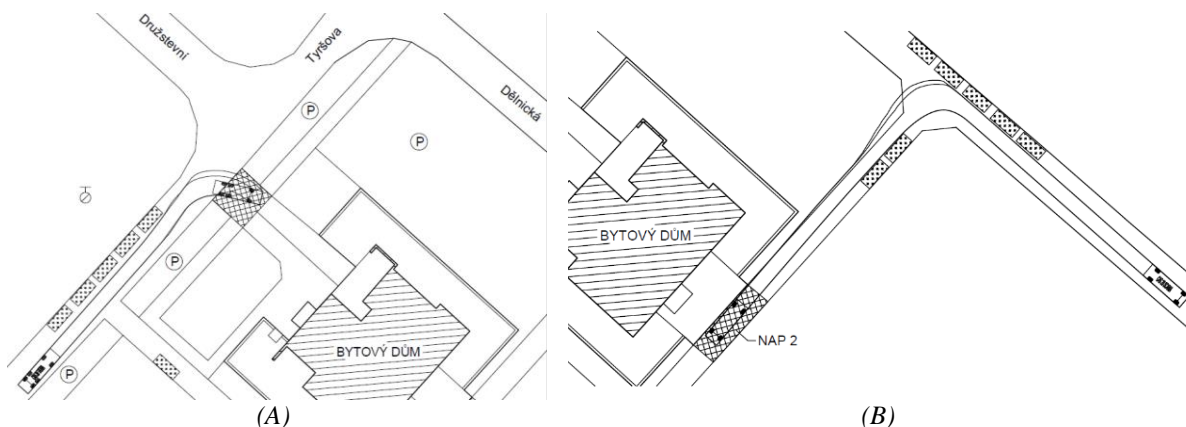
Tab. 1 Firefighting equipment of the Kolín fire and rescue service

Požární technika HZS Kolín	rozměry [mm]		
	šířka	výška	délka
CAS 20/4000/240 S2T	2 550	3 050	8 360
CAS 30/9000/540 S3VH	2 550	2 850	9 100
AZ 52 S1Z IVECO MAGIRUS	2 500 <sup>1)</sup>	3 880	12 000

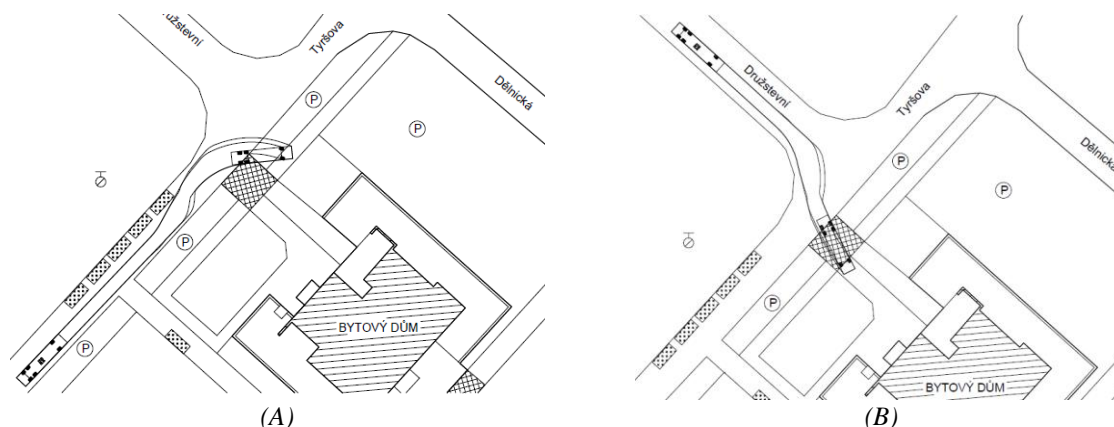
Poznámka: <sup>1)</sup> max. šířka při vysunutí podpěr je 5 000 mm

V programu byly namodelovány zásahové automobily, se kterými se dále zkoušely možnosti příjezdu k nástupním plochám. Bylo řešeno 6 variant pro každý automobil, v každé variantě byly jinak zaparkované osobní automobily. Rozměry osobních automobilů byly uvažovány 2 x 5 m. Na následujících obrázcích je vždy vidět výřez situace se zaměřením na jednu nástupní plochu s přístupovou komunikací a také půdorysný průřez jednoho zásahového vozidla z Tab. 1. Dále jsou na obrázcích vidět vlečné křivky vozidel, což znázorňuje trasu, kudy automobil musí projet, aby se dostal na nástupní plochu.

Např. z Obr. 2A je patrné, že příjezd automobilem CAS 30 k nástupní ploše NAP 1 nacházející se před objektem je možný, i když budou na jedné straně komunikace zaparkované automobily. Oproti tomu na druhém Obr. 2B si můžete všimnout, že jakmile budou automobily zaparkované v uličce k NAP2, tak i nejmenší automobil CAS 20 bude mít problém k dané nástupní ploše dojet. Jeho vlečná křivka vede částečně mimo komunikaci, při čemž v daném prostoru se nachází zatravněná plocha s dopravní značkou. U Obr. 3 je patrné, že pokud bude potřeba dojet automobilovým žebříkem k nástupní ploše před objektem (NAP 1), je vhodné zvolit příjezd z ul. Družstevní (Obr. 3B). Jelikož příjezd z ul. Tyršova (Obr. 3A) můžou značně zkomplikovat zaparkované automobily.



Obr. 2 (A) Příjezd CAS 30 na NAP1; (B) Příjezd CAS 20 na NAP2  
 Fig. 2 (A) Arrival CAS 30 to NAP1; (B) Arrival CAS 20 to NAP2



Obr. 3 (A) Příjezd AZ 52 na NAP1; (B) Příjezd AZ 52 na NAP1  
 Fig. 3 (A) Arrival AZ 52 to NAP1; (B) Arrival AZ 52 to NAP1

Nástupní plocha za objektem je umístěná nevhodně, i nejmenší automobil, CAS 20, by měl problém k této nástupní ploše dojet. Tento problém by bylo možné řešit například zákazem parkování automobilů v uličce s nástupní plochou nebo rozšířením zmíněné komunikace.

## ZHODNOCENÍ

Nástupní plocha před objektem je vhodně umístěna, je k ní možný příjezd všemi zásahovými automobily, i když pokud na místo zásahu pojedou automobilový žebřík (AZ 52), zaparkované automobily v ulici Tyršova, mohou vést k prodloužení času potřebného k ustavení na nástupní plochu 1, jak bylo ukázáno na provedené simulaci (Obr. 3A). Pokud bude zvolen příjezd automobilového žebříku z ulice Družstevní, ustavení výškové techniky bude rychlejší, ale zvolená trasa je v tomto případě delší, což opět způsobí prodloužení času do zahájení zásahu. Rozměr nástupní plochy 7 x 8 m není v porovnání k velikosti dostupných zásahových vozidel dostatečný, nástupní plocha by mohla být větší. Případné ustavení výškové techniky na přístupové komunikaci před nástupní plochou také není vhodné, vzdálenost od objektu je více než 25 m a mohl by nastat problém s dosahem zvedací plošiny k nejvyšším podlažím.

Nástupní plocha za objektem je umístěná nevhodně, i nejmenší automobil, CAS 20, by měl problém k této nástupní ploše dojet. Tento problém by bylo možné řešit například zákazem parkování automobilů v uličce s nástupní plochou nebo rozšířením zmíněné komunikace.

U objektu se nachází tři podzemní hydranty, ani jeden z nich není označen příslušnou značkou o umístění hydrantu na fasádách okolních objektů, jak požaduje zákon o požární ochraně. [8] Za posledních několik let nebyly provedeny provozní kontroly, nelze se tedy spolehnout na jejich funkčnost popř. vyhovující průtok či dostatečný tlak.

## ZÁVĚR

Značné množství přístupových komunikací a nástupních ploch je nevyhovujících, vzhledem k rozvoji automobilismu a zvětšování rozměrů automobilů, jak osobních, tak zásahových. Postupem času se také zjišťuje, že velké množství nástupních ploch bylo z nevědomosti zrušeno, znehodnoceno nebo je zneumožněno jejich použití. Pomocí programu AutoCAD 2020 a AutoTURN 8.2 byly modelovány průjezdy požární technikou k navrženým nástupním plochám. Bylo uvažováno 6 variant pro každý automobil, v každé variantě byly jinak umístěny osobní automobily, které omezovaly průjezdnost komunikacemi. Z modelací je patrné, že nástupní plocha před objektem je pro HZS použitelná, zatímco dojet na nástupní plochu za objektem by bylo velice problematické.

V České republice máme celkem přísné požadavky na vzdálenost zdroje požární vody od řešeného objektu a máme tedy hustou síť hydrantů (převážně podzemních). Správně by se měly provádět revize všech vnějších odběrních míst 1x za rok, bohužel ale tyto kontroly téměř neprobíhají a pro HZS je značné množství odběrních míst nepoužitelných. Proto bych se v diplomové práci ráda zaměřila na vnější odběrní místa, jejich revize, kontroly a statistiky HZS ohledně využití odběrních míst při zásahu.

## LITERATURA

- [1] ČSN 73 0802:2009 Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty + Z1:2013, Z2:2015, Z3:2020
- [2] Vyhláška č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb
- [3] ČSN 73 0804:2010 Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty + Z1:2013, Z2:2015, Z3:2020
- [4] Vyhláška č. 294/2015 Sb., kterou se provádějí pravidla provozu na pozemních komunikacích
- [5] ČSN 73 0873:2003 Požární bezpečnost staveb – Zásobování požární vodou
- [6] Statistická ročenka České republiky 2019. Praha: Český statistický úřad, 1993-. ISBN 978-80-250-2955-8. ISSN 1211-4812.
- [7] DOSTÁL, V. Dokumentace zdolávání požáru – bytový dům ul. Tyršova 976 Kolín, 2017.
- [8] Zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, v platném znění

## POROVNÁNÍ NÁVRHOVÝCH PARAMETRŮ SPRINKLEROVÝCH HLAVIC V ADMINISTRATIVNÍ BUDOVĚ

### COMPARISON OF DESIGN PARAMETERS OF SPRINKLERS IN OFFICE BUILDING

**Bc. Jaroslav Záměš**

#### *Abstract*

*In this paper I describe an experiment performed using the FDS numerical model. The purpose of the experiment was to design fixed firefight system for an administrative building belonging to the hazard class OH and then to design the parameters of the sprinkler head according to ČSN EN 12845. As part of the simulation, all design options were tested according to normative regulations. Use of residential sprinkler head was tested as well. The most favorable, least favorable and specific variants of the fire in the meeting room of the office building were simulated. The output of the whole experiment is the courses of heat release by exothermic reactions, on which the effect of individual types of sprinkler head can be seen.*

**Key words:** *sprinkler systems; pendent sprinklers; residential sprinklers; FDS; design parameters*

#### ÚVOD

Stabilní hasicí konstrukce jsou protipožárním subsystémem stavby. Podle vyhlášky MV č. 246/2001Sb. patří systémy stabilních hasicích zařízení (SHZ) mezi vyhrazená požárně-bezpečnostní zařízení a jsou jedním ze základních prvků určených pro zajištění protipožární bezpečnosti a ochrany osob a majetku. Jsou určeny pro automatický hasební zásah v případě požáru, v koordinaci se systémy detekce požáru a systémy pro řízení evakuace. [1]

V případě SHZ se předpokládá likvidace požáru ve fázi rozhořívání před vypuknutím efektu flashover a před příjezdem jednotek požární ochrany. První samočinné hasicí systémy známe od 18. století a v 19. století vznikají systémy, které se velmi podobají těm dnešním [2]. Jejich primárním účelem bylo chránit investice v průmyslových závodech a skladech před požárem. Tento účel plní i nyní, ale dnes používáme SHZ i v civilních budovách, nebo nemocnicích a postupem času budou běžnou součástí i rezidenčních objektů. Zatímco dříve sloužily zejména k ochraně investice a majetku, dnes je běžnou praxí instalovat SHZ i za účelem ochrany obyvatel.

#### REZIDENČNÍ SPRINKLERY

Rezidenční sprinklery vznikly ve Spojených státech amerických jako reakce na příliš vysoký počet usmrcených osob následkem požáru. Primárním účelem rezidenčních sprinklerů je zajistit bezpečnou evakuaci. Charakteristickým rysem tohoto systému jsou nižší pořizovací náklady než u systémů klasických. Další specifikum je rychlejší tepelná odezva, RTI u rezidenčních sprinklerů bývá nižší než 50 (tzv. rapid response). Velkou odlišností hlavice oproti standartním závěsným je úhel rozstříku, který má za účel bránit šíření požáru po svislých konstrukcích. Smočení stěny nesmí být nižší než 711 mm v případě činnosti jednoho sprinkleru a 914 mm v případě činnosti dvou sprinklerů. Aplikace rezidenčních sprinklerů se z USA postupně šíří do projekčních předpisů vyspělých Evropských zemí a je otázkou času, kdy bude zahrnuta do českých norem.

#### K FAKTOR

K-faktor je parametr popisující průtok vody v l/min hlavicí při tlaku 1bar. Průtok sprinkleru závisí na průměru trysky a tlaku vody před sprinklerem. Velikost průtoku lze stanovit ze vztahu:  $Q = K \cdot p^{1/2}$ . Návrhový předpis ČSN EN 12845 stanovuje K-Faktor na základě třídy nebezpečí. [3]

## NÁVRHOVÉ CHARAKTERISTIKY SPRINKLERŮ

Návrhové parametry systému SHZ a jeho koncových částí, tedy sprinklerových hlavice se v České republice řídí závaznou normou ČSN EN 12845 Stabilní hasicí zařízení – Sprinklerová zařízení – Navrhování, instalace a údržba. Návrhové charakteristiky se volí v závislosti na třídě nebezpečí podle Tab. 1

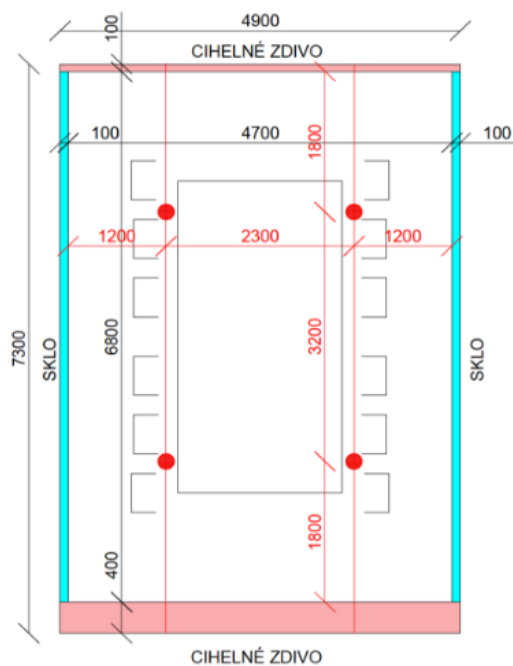
Tab. 1 Typy sprinklerů a K-faktory pro různé třídy nebezpečí [4]

Tab. 1 Sprinklers types and K-factors for different hazard classes [4]

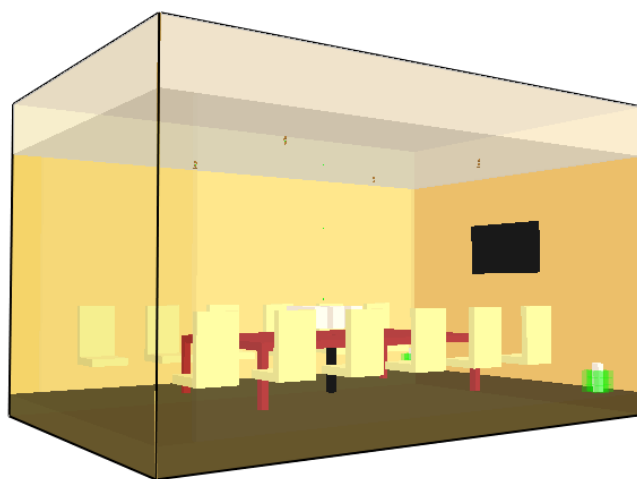
Tříd nebezpečí	Intenzita dodávky vody	Typ sprinkleru	K faktor
LH	2,25	normální, sprejový, stropní, zapuštěný, sprejový s plochým výstřikem, polozapuštěný, zakrytý a stranový	57
OH	5	normální, sprejový, stropní, zapuštěný, sprejový s plochým výstřikem, polozapuštěný, zakrytý a stranový	80 nebo 115
HHP a HHS stropní nebo střešní sprinklery.	≤ 10	normální, sprejový	80, 115 nebo 160
	> 10	normální, sprejový	115 nebo 160
HHS regálové sprinklery u vysokých skladů		normální, sprejový a sprejový s plochým postřikem	80 nebo 115

## ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

Řešený příklad se odehrává ve fiktivní administrativní budově a je řešen za pomoci CFD modelu v softwaru FDS. V rámci modelu byla vytvořena zasedací místnost, ve které podle požárního scénáře během víkendu vypukne menší požár, jelikož v objektu nikdo není, dojde k aktivaci a následnému uhašení pomocí stabilního hasicího zařízení.



Obr. 1 Plán zasedací místnosti  
Fig. 1 Meeting room plan



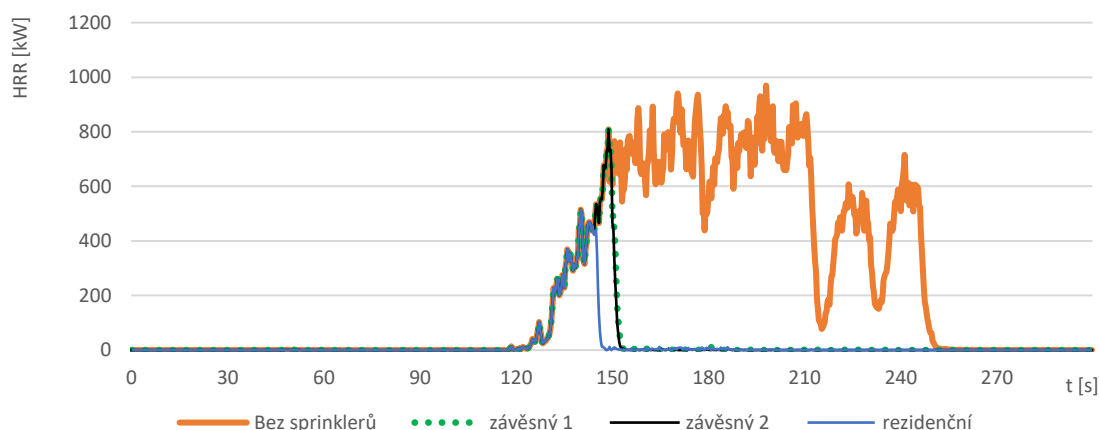
Obr. 2 Vizualizace v programu Smokeview  
Fig. 2 3D output from Smokeview

V rámci lepšího ověření byl požár modelován ve třech variantách: na stole – nejpříznivější varianta, v rohu místnosti a pod stolem – nejméně příznivá varianta. Iniciátorem požáru je sálavá plocha umístěna na spodní straně papírových kvádrů, které podle požárního scénáře spolu se stolem slouží jako palivo. Sálavá plocha o maximální hodnotě HRR = 18,1 kW uvolňuje teplo jako požár plastového koše s papíry podle [5]. Všechny další prostory hoření byly modelovány pomocí podrobné pyrolýzy. Čas měření simulace byl stanoven na 300 s.

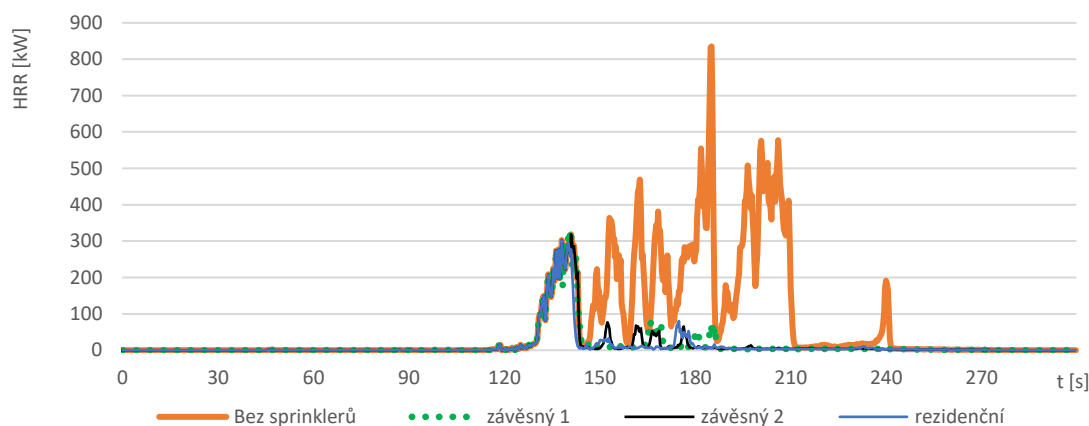
Modelovaný prostor viz Obr. 3 a Obr. 4 byl zařazen do třídy nebezpečí OH (Ordinary hazard). Do zasedací místnosti byly navrženy 4 sprinklerové hlavice, ve dvou případech byly navrženy závěsné hlavice podle normativních předpisů platných na území ČR pouze s rozdílnými parametry K – Faktoru. Ve třetím případě je navržena hlavice rezidenční, kterou české předpisy zatím neevidují a její návrh vycházel z předpisů platných v USA. Parametry jednotlivých hlavice jsou přebírány z katalogu firmy TYCO. Konkrétně to jsou: Závěsný 1 – TYCO TY 3241[6], Závěsný 2 – TYCO TY 4241[6], Rezidenční – TYCO TY 4234 [7]. Cílem příkladu bylo porovnat efektivitu a celkové chování jednotlivých hlavice za požáru vymodelovaného v různých částech místnosti. Celkem bylo provedeno 12 simulací v softwaru FDS.

## VÝSLEDKY VÝPOČTU

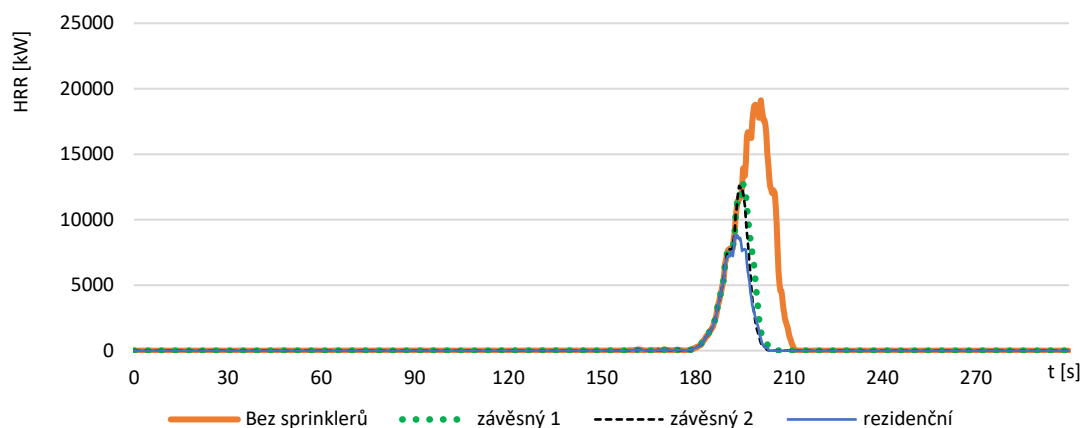
Výsledky výpočtu reflektují tři grafy průběhu HRR neboli rychlosti uvolňování tepla v závislosti na čase. Pro každou lokaci požáru byl vynesena jeden graf, na kterém je průběh HRR při použití jednotlivých hlavice ve srovnání se situací bez použití SHZ.



Obr. 3 Graf HRR při požáru na stole  
Fig. 3 HRR chart in case of fire on the table



Obr. 4 Graf HRR při požáru v rohu místnosti  
Fig. 4 HRR chart in case of fire in the corner



Obr. 5 Graf HRR při požáru pod stolem  
Fig. 5 HRR chart in case of fire under the table

Všechny požáry končí vyhořením paliva, pro modelování následků požáru by bylo potřeba daleko komplexnější požár, přesto na grafech vidíme, že ve všech případech instalace SHZ zabránilo většímu šíření požáru tedy i větším následkům. Rozdíl mezi hlaviciemi s odlišnou hodnotou K-faktoru není na grafu téměř patrný a až při podrobné analýze dat, se dá rozdíl pozorovat. Dá se říct, že hlavice s vyšším K-faktorem lépe potlačuje účinky požáru, avšak pro aplikaci v Administrativních budovách je tento rozdíl nepatrný. Rezidenční sprinklerová hlavice má vždy rychlejší reakci, a to díky její konstrukci. Celková účinnost rezidenční hlavice na požár v modelovaných situacích lze hodnotit ve srovnání se závěsnými hlaviciemi jako srovnatelná, nebo o trochu lepší.

## ZÁVĚR

V případě návrhu SHZ v administrativní budově zařazené do třídy nebezpečí OH, lze vždy navrhovat hlavici s K-faktorem = 80, samozřejmě je vždy nutné přihlédnout k požárnímu zatížení a další okrajovým podmínkám jako je například fakt, zdali je v objektu skladován nějaký materiál. Zároveň lze doporučit instalaci rezidenčních sprinklerů v administrativních budovách, a to zejména v menších, které se svým charakterem podobají rezidenčnímu objektu. Návrh rezidenčních sprinklerů nikdy nebude vhodný pro velké administrativní budovy s open-officý.

## LITERATURA

- [1] ABBAS, A.S., (firemní). tzbinfo.cz. Co je stabilní hasicí zařízení? [online]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/119045-co-je-stabilni-hasici-zarizeni>
- [2] ŠCOTKOVÁ, Petra. Historický vývoj sprinklerového zařízení. B.m., 2008. VŠB – Technická univerzita Ostrava.
- [3] ONDRÁČEK, Petr. Modelování účinnosti hašení residenčními sprinklery. B.m., 2015. VŠB – Technická univerzita Ostrava.
- [4] ČSN EN 12845 Stabilní hasicí zařízení – Sprinklerová zařízení – Navrhování, instalace a údržba. srpen 2018
- [5] WALD, František a kol. Modelování dynamiky požáru v budovách. B.m.: České vysoké učení technické v Praze, 2017. ISBN 976-80-01-05633-2.
- [6] Series TY-B — 57, 80, and 115 K-factor Upright and Pendent Sprinklers Special Response, Standard Coverage. [www.tyco-fire.com](http://www.tyco-fire.com) [online]. Dostupné z: [https://www.tyco-fire.com/TD\\_TFP/TFP/TFP672\\_08\\_2018.pdf](https://www.tyco-fire.com/TD_TFP/TFP/TFP672_08_2018.pdf)
- [7] RAPID RESPONSE Series LFII Residential Sprinklers 6.9 K-factor, Pendent/Recessed Pendent/Concealed, NFPA 13 Optimized Wet Pipe Systems. [www.tyco-fire.com](http://www.tyco-fire.com) [online]. Dostupné z: [https://www.tyco-fire.com/index\\_link.php?link=TFP408](https://www.tyco-fire.com/index_link.php?link=TFP408)

## STABILNÍ HASICÍ ZAŘÍZENÍ SPRINKLEROVÉHO TYPU VE SKLADOVÝCH PROSTORÁCH

### FIXED SPRINKLER TYPE FIRE EXTINGUISHERS IN STORAGE AREAS

**Bc. Petr Pabouček**

#### *Abstract*

*The subject of this work is fixed sprinkler type fire extinguishers in storage areas. In the first part, this article deals with the requirements for sprinklers and possible use in warehouses. These are the requirements for the design of the system, what heads can be used, the method of storage and the types of protection. The second part deals with the effectiveness of different types of sprinkler heads in a warehouse fire. It is monitored extinguishing capacity of ESRF sprinklers, rack sprinklers and standard sprinklers.*

*Key words: fixed firefighting system; rack sprinkler; fire; ESRF; storage; warehouse*

#### ÚVOD

V rámci návrhu velkých skladů se setkáváme s návrhem aktivních požárně bezpečnostních zařízení, nejčastěji se stabilním hasicím zařízením. V dnešní době, kdy se staví stále více do výšky, je nutné řešit problematiku účinného hašení těchto vysokých skladovacích hal. Stabilní hasicí zařízení (SHZ) představuje významnou ochranu majetku a lidských životů v případě vzniku požáru. Při stále zvyšujícím se požadavku na požární bezpečnost je SHZ bezesporu nejúčinnější aktivní požárně bezpečnostní zařízením. Při správném návrhu, instalaci a údržbě dokáže uchránit škody na životech a v případě skladovacích hal ušetřit velké finanční ztráty v případě požáru.

#### SHZ VE SKLADOVACÍCH PROSTORÁCH

Skladovací prostory představují velké množství skladovaného zboží na jednom místě v blízkosti, kde v případě iniciace požáru hrozí rychlé šíření požáru po výšce regálů a dále na další skladovací regály v blízkosti. Nutnost SHZ ve skladech řeší ČSN 73 0845 – Požární bezpečnost staveb – Sklady [1], ve které je požadavek na SHZ dle výškového umístění skladu, velikosti požárního úseku skladu a maximální skladovací výšce.

Návrh samotného systému SHZ je řešen nejčastěji dle ČSN EN 12845 [2]. V případě požadavku investora, kvůli zahraniční pojišťovně, se systém může navrhnout na území ČR dle zahraničních předpisů VdS, FM nebo NFPA.

V případě skladovacích hal, přesahující určitou plochu a další limity, se skladovací prostor zařazuje pro účely SHZ do vysokého nebezpečí HHS. Toto vysoké nebezpečí se dále dělí na 4 kategorie, závislé na druhu skladovaného materiálu.

#### ZPŮSOBY SKLADOVÁNÍ

Jednou z důležitých kritérií pro správný návrh systému SHZ je způsob skladování zboží. Ten ovlivňuje maximální výšku skladování, maximální plochu skladovacího bloku, šířku uliček a minimální volnou plochu kolem skladovacího bloku. Způsoby skladování jsou:

- ST1 – volně stojící nebo blokové stohování – zboží je vyskládáno volně, těsně vedle sebe. Například skladování dříví, stohy slámy.
- ST2 – jednořadé regály se sloupkovými paletami s uličkami o šířce nejméně 2,4 m. Sloupkové palety svou konstrukcí vytvářejí sloupy, lze je rozebrat pouze odebráním palet ze shora.
- ST3 – víceřadé regály se sloupkovými paletami
- ST4 – paletové regály (ukládání palet na nosníky) – toto je nejčastější způsob ukládání zboží

- ST5 – regály s plnou nebo laťovou a mřížovou policí o šířce maximálně 1 m
- ST6 – regály s plnou nebo laťovou a mřížovou policí o šířce více než 1 m (maximálně 6 m)[2]

## K FAKTOR

Jeden z nejdůležitějších faktorů samotného sprinkleru je takzvaný K faktor. Jedná se o veličinu, která udává, jaký je průtok sprinklerovou hlavici při určitém tlaku. Při tlaku 1 bar na hlavici je přímo číslo K faktoru rovno průtoku v litrech za minutu.

## STROPNÍ JIŠTĚNÍ

Využití pouze stropního jistění je možné při dodržení maximální výšky skladování, která je závislá dle způsobu skladování a typu skladovaného zboží. Maximální výška pro stropní jistění se pohybuje od 7,6 m pro volně stojící materiál kategorie I (kovové zboží, keramika...) až po 1,6 m pro materiál matrace, papír, vosk apod. Pouze stropní jistění se využívá také u ESFR sprinklerů.

## REGÁLOVÉ JIŠTĚNÍ

V případě že je skladovací výška větší, než je dovoleno pouze pro stropní jistění, musí se doplnit o regálové jistění. S instalovaným regálovým jistěním není nijak omezená skladovací výška, pouze maximální skladovací výška nad posledním regálovým sprinklerem. Tímto způsobem lze pokrýt vysoké haly, které přesahují hranice norem. Nevýhoda regálového jistění je riziko nechtěné aktivace hlavice při manipulaci se zbožím v regálech.

## SPECIÁLNÍ PROSTORY

Při skladování hořlavých kapalin v kovových sudech je zapotřebí dbát na správnou manipulaci a nepřesahovat povolené množství ve skladovacím úseku.

Pokud prostory se skladováním hořlavých kapalin jsou chráněny systémem SHZ, má systém specifické požadavky na ochranu těchto prostorů. V praxi to znamená vyšší nároky na intenzitu dodávky vody a větší objem nádrže. Povolené skladování maximálních počtů sudů je závislé na třídě hořlavé kapaliny a způsobu skladování.

Vysoké riziko je i při skladování prázdných palet na sobě, nebo při oděvních skladech. Tyto prostory jsou schopny v případě požáru rychle vzplanout. Pro ochranu těchto prostor je zapotřebí speciálního návrhu systému SHZ s vyšší účinností a přesným umístěním hlavic,

## ESFR SPRINKLERY VE SKLADOVACÍCH HALÁCH

Zkratka ESFR znamená Early Suppression Fast Response – jsou to vysoce výkonné trysky, které dokáží oproti běžným sprinklerům zásobit úsek i desetkrát větší dodávkou vody, oproti běžným sprinklerům. Velkou výhodou při použití ESFR sprinklerů u skladovacích hal, je že se jedná pouze o stropní jistění. Nevýhoda tohoto systému je riziko, že při změně využití skladu již tento systém nebude splňovat požadavky pro odlišný druh skladování nebo jiné zboží. Další nevýhodou je vyšší pořizovací cena systému.

## MODELOVÁNÍ HALOVÉ ČÁSTI

Pro modelování řešeného příkladu byl zvolen program FDS [3], ve kterém lze měnit charakteristiky jednotlivých materiálů a lze vytvořit různé varianty sprinklerů. Modelace se má nejvíce přiblížit reálnému prostorovému požáru ve skladovací hale s různými sprinklery. Cíl modelace je porovnání hasicí schopnosti jednotlivých druhů sprinklerů s odlišným K faktorem.

Celá vymodelovaná síť měla rozměry 4,8 x 4,5 x 13,5 m. V této síti byl vytvořen rám regálu z ocelových profilů 0,1 x 0,1 m. Na profilech byly umístěny palety s polyuretanem, jako dominantním materiálem



při skladu elektroniky. Modelovaná konstrukce je vidět na Obr. 1 (A). Obr. 1 (B) ukazuje rozmístění sprinklerů a geometrii konstrukce.

Jako prvotní požár byl vymodelovaný vysokozdvížený vozík dle experimentu z roku 2017 [4]. Dle výsledků z experimentu byl uvažován požár přední části vozíku orientovaného k paletám. Sprinklery umístěné pod stropem byly rozmístěny od sebe 2,5 m, aby návrh splnil normový požadavek 9,0 m<sup>2</sup> na jednu hlavici.

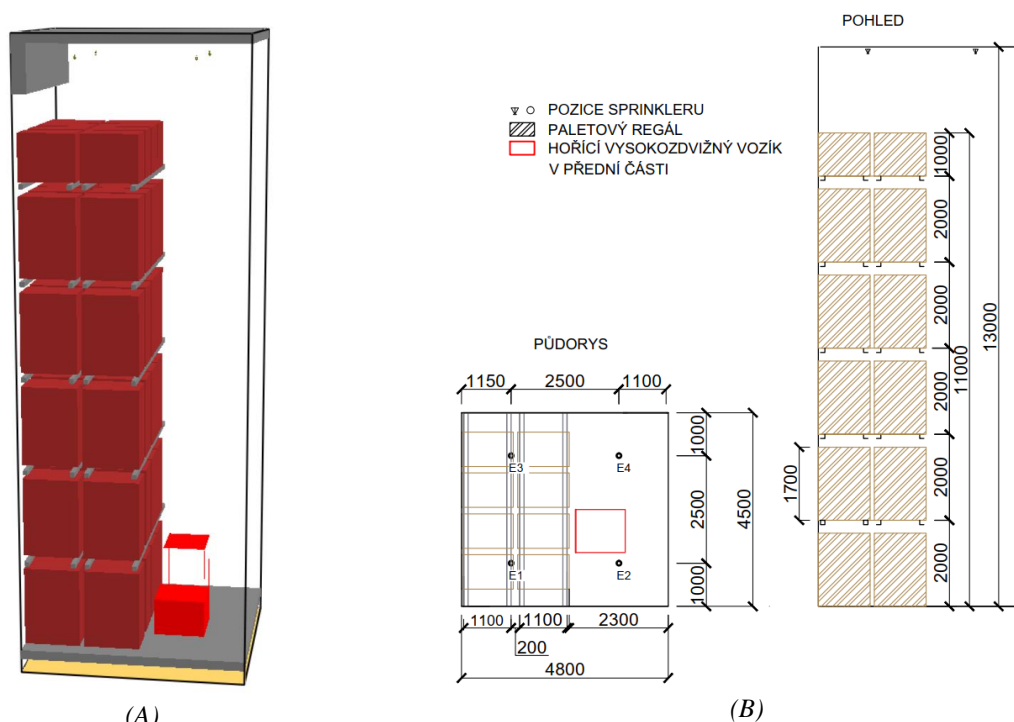
Charakteristika hlavice se každým výpočtem lišila, díky jiné charakteristice sprinkleru:

Tab. 1 Veličiny použitých sprinklerů

Tab. 1 Quantities of used sprinklers

	ESFR K360	ESFR K240	Standard K80	Regálové K80
Tlak na hlavici [bar]	3,5	3,5	1,0	1,0
K faktor	320	240	80	80
Velikost kapek [ $\mu\text{m}$ ]	1000	1000	200	200
Průtok hlavici [l / s]	598	449	80	80
Úhel vodního kužele ve svislé rovině	0–45 °	0–45 °	0–60 °	0–60 °
Aktivační teplota	68 °C			

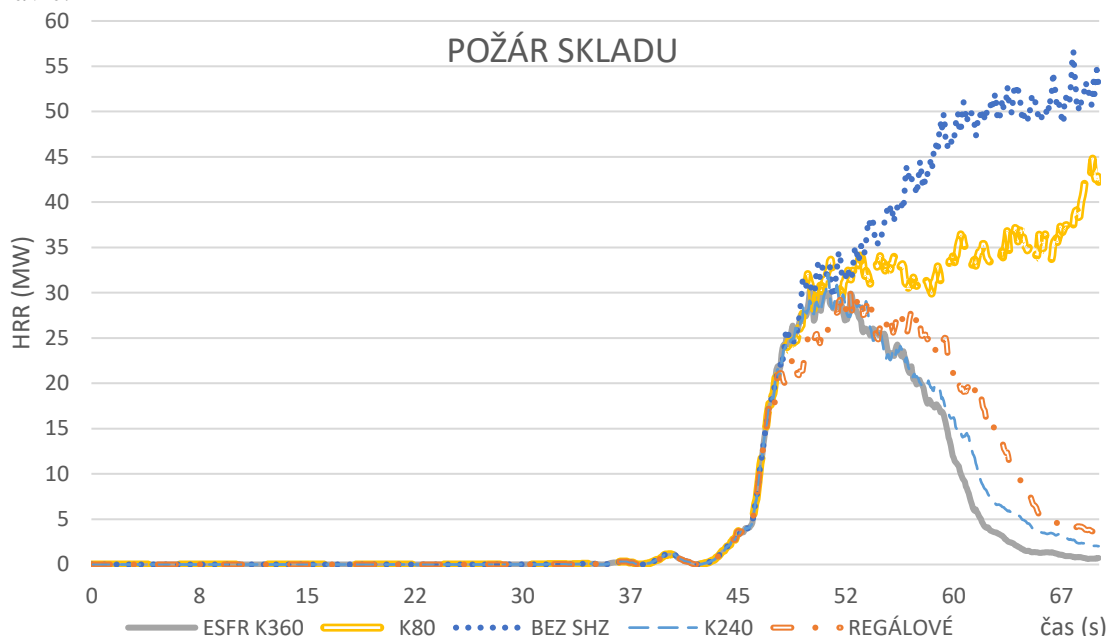
Nejprve byly navrhnuté ESFR sprinklery dle normy s K faktorem 320 a 240, dále sprinklery pro občasně stavby s K faktorem 80 a poslední scénář byl s regálovým jištěním se standardními sprinklery K80. Volené charakteristiky jednotlivých sprinklerů jsou uvedené v Tab. 1.



Obr. 1 Vymodelovaný prostor (A), půdorys a řez návrhu prostoru (B)  
Fig. 1 Modelled space (A), floor plan and section of the space design (B)

## VÝSLEDKY

Aktivace sprinklerů nastala dle Obr. 2 ve stejný okamžik, díky stejné aktivační teplotě a rychlosti pojistky. ESFR sprinkler navržený dle normy byl schopný utlumit požár během dvaceti sekund. V modelovaném rozsahu standardní sprinkler pouze utlumil požár, ten ale nedokázal dostatečně potlačit vývoj požáru. Při použití regálových sprinklerů se dá docílit rychlého potlačení požáru, obdobně jako u ESFR hlavíc.



Obr. 2 Graf HRR v modelovaném úseku  
Fig. 2 RHR graph in the modeled section

## ZÁVĚR

Cílem tohoto článku bylo čtenáře seznámit s problematikou týkající se stabilního hasicího zařízení ve skladových prostorách a představit si základní kritéria návrhu. Dále uvést řešený příklad, který je zaměřený na sledování hasicí schopnosti jednotlivých druhů hlavíc, při požáru ve skladovací hale.

Nejúčinnějším řešením se jeví ESFR sprinklery navržené dle požadavků normy. Druhé, podobně efektivní řešení, jsou ESFR sprinklery s nižším K faktorem, které dokážou požár uhasit v obdobném čase. Regálové sprinklery dokáží o něco později, avšak stejně efektivně dostat požár pod kontrolu. Nedostatečným řešením je užití běžných sprinklerů, které nejsou schopny potlačit rozšiřování požáru.

Na řešené simulaci je ukázáno, jak velký rozdíl může nastat v průběhu požáru při špatném řešení systému SHZ, nebo požáru bez instalace SHZ.

## LITERATURA

- [1] ČSN 73 0845 Požární bezpečnost staveb – Sklady (2012)
- [2] ČSN EN 12845 Stabilní hasicí zařízení – Sprinklerová zařízení – Navrhování, instalace a údržba (2018)
- [3] MCGRATTAN, Kevin, Simo Hostikka, Jason FLOYD, Randall MCDERMOTT a Marcos VANELLA. *Fire Dynamics Simulator User's Guide*. B.m.: NIST. 2019
- [4] LAURENT AUDOIN a MICKAEL COUTIN. *Experimental characterization of forklift fire*. B.m.: Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN). 2017

## SROVNÁNÍ STABILNÍHO HASICÍHO ZAŘÍZENÍ MLHOVÉHO A SPRINKLEROVÉHO

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

Bc. Lukáš Hrdý

#### *Abstract*

*The purpose of this article is compared extinguishing effects between water mist system and sprinklers. Describing their extinguishing abilities. The second part of the work deals with a specific model of a hotel room, where the efficiency of the sprinklers is simulated in the first model and the efficiency of the water mist system in the second model. We compare the cooling extinguishing effects of the two systems in the simulation.*

**Key words:** active fire safety system; sprinkler; water mist; extinguishing ability; fire dynamics simulator

#### ÚVOD

Stabilní hasicí zařízení (SHZ) se zařazuje mezi aktivní požární ochranu, která představuje schopnost požárně bezpečnostních zařízení jako celku v budově detekovat účinky požáru, v logických návaznostech ovládat ostatní požárně bezpečnostní zařízení a likvidovat (případně snižovat) účinek vznikajícího požáru, tj. v jeho počáteční fázi.

Sprinklerové SHZ je samočinné hasicí zařízení, které je aktivované teplotou. Otevřením tepelné pojistky sprinklerové hlavice totiž nastane pokles tlaku v rozvodném potrubí, což způsobí následné otevření řídicího ventilu a samotné spuštění sprinklerového hasicího zařízení. Po otevření sprinklerové hlavice dochází k výstřiku vody ve formě sprchového proudu, přičemž se otevřou jen ty sprinklery, které jsou nad ohniskem požáru nebo v jeho bezprostřední blízkosti. Sprinklerové zařízení má kromě funkce hasit požár i funkci vyhlásit požární poplach v místě strojovny a na místě se stálou obsluhou.

Mlhová SHZ zařízení vycházejí z teorie malé kapky. S menším průměrem kapky se zvětšuje, při stejném množství vody, jejich počet ve výstřikovém proudu. Tím se zvětšuje i plocha povrchu kapek, která rozhoduje o rychlosti přeměny vody na páru.

#### SROVNÁNÍ MLHOVÉHO A SPRINKLEROVÉHO SHZ

Účelem sprinklerů je zajistit rovnoměrnou dodávku vody na chráněnou plochu o stanovené intenzitě. Ta je vyjádřena průtokem vody na jednotku plochy obvykle v l/min.m<sup>2</sup> nebo mm/min. Průtok sprinkleru se vyjadřuje K faktorem (dále jen „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. Sprinklery s vyšším K než 115 jsou určené především pro ochranu skladů [1].

Z hlediska teorie hašení vodní mlhou patří k hlavním parametrům mlhových hubic a hlavice zejména velikost kapek, intenzita dodávky a rychlost výstřikového proudu.

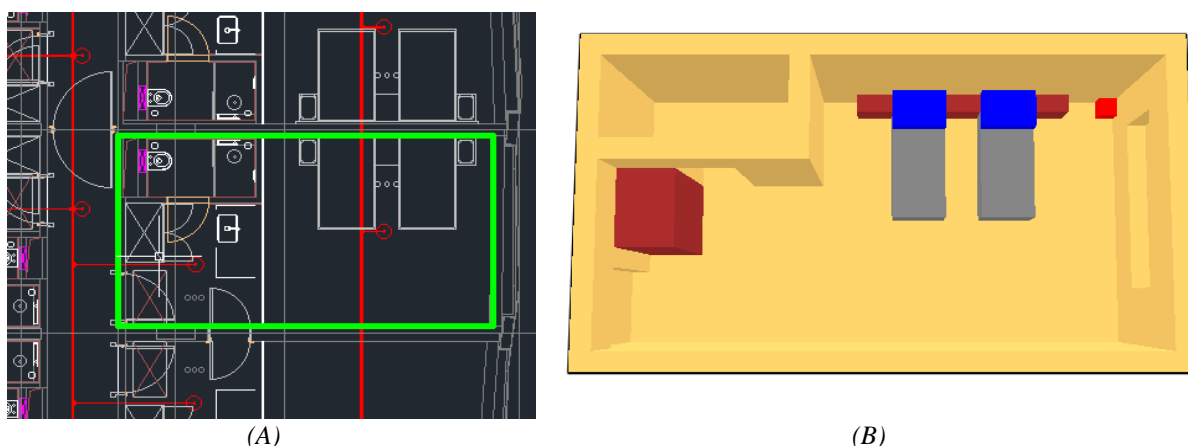
**Velikost kapek.** Pro úspěšné hašení nejsou ty nejmenší kapky vždy nejúčinnější. S tím souvisí i pracovní tlak, který má spolu s konstrukcí výstřikové hubice/hlavice největší vliv na velikost kapek. Ten má svůj limit na hodnotě cca 200 bar. Při vyšších tlacích nedochází již k výraznějšímu zvýšení hasicí schopnosti. Naopak, je spojeno s velkou energetickou náročností a vyšší cenou vysokotlakého čerpadla [2].

**Intenzita dodávky.** V případě hašení vodní mlhou se obvykle udává v  $\text{g/m}^3$ ,  $\text{l/min.m}^3$ , nebo v  $\text{l/min.m}^2$ . U zaplavovacích systémů je snaha dosáhnout max. možnou homogennost vodní mlhy v celém chráněném prostoru. Prakticky to není zcela možné. To se týká například skrytých ohnisek požáru nebo vzdálenějších míst od výstřikových koncovek. Pokud jde o intenzitu dodávky, považuje se za minimální hodnotu obvykle  $0,5 \text{ l/min.m}^2$ . U sprinklerové ochrany je to  $2,25 \text{ l/min.m}^2$  [2].

**Rychlost výstřikového proudu** potažmo kinetická energie mlhového proudu je rovněž závislá na konstrukci hubice/hlavice a tlaku. Vhodným rozmístěním mlhových hubic/hlavic se dosáhne, zejména u lokálního hašení, aby kapky doletěly až do zóny plamenného hoření a u pevných látek až na jejich povrch. Výstřiková rychlost nesmí být z tohoto důvodu příliš nízká. Na straně druhé ani vysoká, aby nedocházelo k turbulentnímu proudění s intenzivním přiváděním čerstvého vzduchu do ohniska požáru. Velká rychlost mlhového oblaku s kapkami většího průměru by mohla mít za následek i rozvíření hladiny hořlavé kapaliny nebo její větší rozlití po podlaze [2].

### Řešený příklad

V praktické části je řešen konkrétní model hotelového pokoje, který je modelován v programu Fire Dynamics Simulator (FDS). V prvním modelu se simuluje účinnost sprinklerového a ve druhém účinnost mlhového SHZ. Jedná se o pokoj s rozměry  $8,1 \times 4,2 \times 3 \text{ m}$ , který je v modelu rozdělen na čtverce o velikosti  $100 \text{ mm}$  ( $102 \text{ 060}$  částí). Umístění hlavice mlhového SHZ (2 hlavice) je podle projektové dokumentace a hlavice pro sprinklerové SHZ (6 hlavice) je umístěno dle ČSN EN 12845. Celá simulace trvala  $200 \text{ s}$ . Požár byl namodelován dle Heat Release Rate (HRR) pro požár v ložnici. Hodnoty HRR byly převzaty z odborné knihy [3]. Zdroj požáru je odpadkový koš o hmotnosti  $0,75 \text{ kg}$  v rohu místnosti (červený čtverec na Obr. 1B). Zkoumala se účinnost a rozdíly mezi oběma typy SHZ.



Obr. 1 (A) Dispozice řešeného hotelového pokoje; (B) Model hotelového pokoje v programu FDS  
Fig. 1 (A) Layout of a designed hotel room; (B) Hotel room model in program FDS

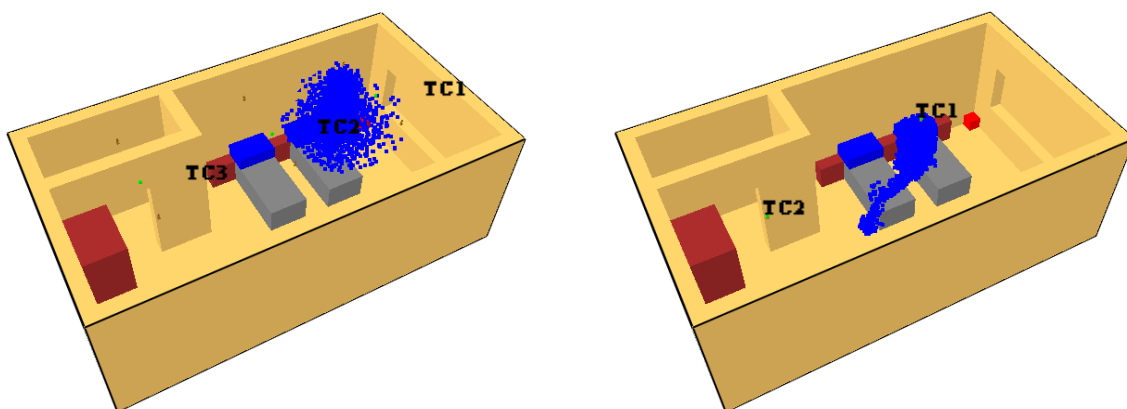
Tab. 1 Parametry hasicích hlavice

Tab. 1 Parameters of extinguishing heads

Parametry hasicích hlavice	Mlhové SHZ	Sprinklerové SHZ
RTI (index reakční doby)	50	50
K-Faktor	$4,2 \text{ l/min.bar}^{1/2}$	$80 \text{ l/min.bar}^{1/2}$
Provozní tlak	82 bar	2 bar
Rychlost proudu	30 m/s	5 m/s
Otevírací teplota	$74 \text{ }^\circ\text{C}$	$74 \text{ }^\circ\text{C}$
Výstřikový úhel	$30\text{-}80^\circ$	$0\text{-}60^\circ$
Průměr kapek	0,1 mm	1 mm
Průtok vody	38 l/min	113 l/min

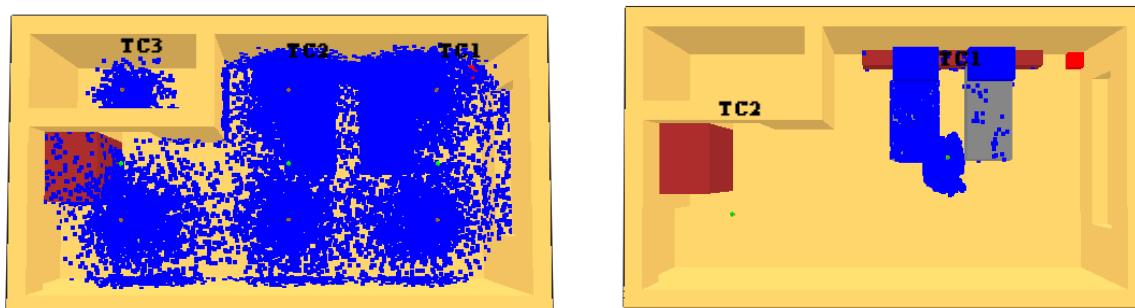
## VÝSLEDKY HAŠENÍ V HOTELOVÉM POKOJI Z PROGRAMU FDS

Na Obr. 2A je vidět aktivaci první sprinklerové hlavice v čase 48,5 s. Mlhová hlavice na Obr. 2B je aktivovaná v čase 68 s. Tady je zajímavé, že kapky mlhy o velikosti 0,05 mm jsou odváděny od ohniska požáru.

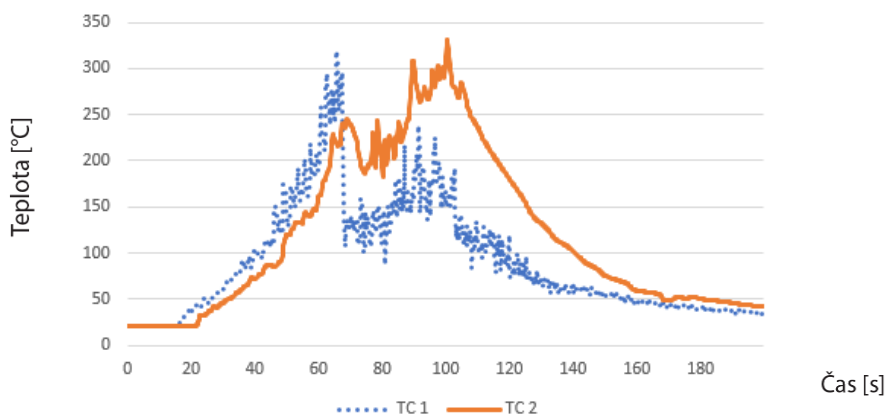


(A) (B)  
Obr. 2 (A) Sprinklerová hlavice (48,5 s); (B) Mlhová hlavice (68 s)  
Fig. 2 (A) Sprinkler head (48,5 s); (B) Water mist nozzle (68 s)

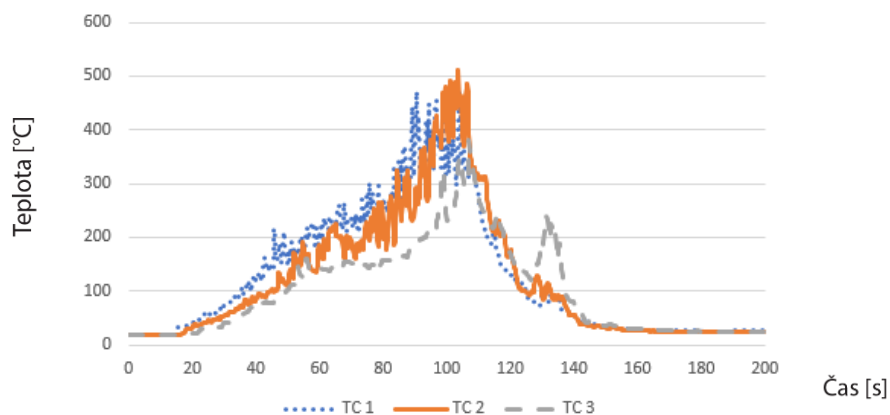
Na Obr. 3A je vidět aktivaci poslední sprinklerové hlavice v čase 135 s. Druhá mlhová hlavice na Obr. 3B nebyla aktivovaná. Důvod je zřejmě ten, že kapky mlhy dostatečně rychle ochladí okolí a k aktivaci druhé hlavice nedojde.



(A) (B)  
Obr. 3 (A) Sprinklerová hlavice (135 s); (B) Mlhová hlavice (135 s)  
Fig. 3 (A) Sprinkler head (135 s); (B) Water mist nozzle (135 s)



Obr. 4 Průběh teploty v čase na termočláncu TC1 a TC2 s použitím mlhového zařízení  
Fig. 4 Temperature over time in thermocouple TC1 and TC2 using water mist device



Obr. 5 Průběh teploty v čase na termočláunku TC1, TC2 a TC3 s použitím sprinklerového zařízení  
 Fig. 5 Temperature over time in thermocouple TC1, TC2 and TC3 using sprinkler device

## ZÁVĚR

Z grafů je patrné, že od vypuknutí požáru v hotelovém pokoji od odpadkového koše, který byl umístěn v rohu místnosti, netrvalo dlouho a obě zařízení požár uhasili. V obou případech již po 140 s od vypuknutí požáru teplota klesla pod 100 °C. Z modelu je vidět, že lepší chladicí účinek má mlha, u které maximální teplota nepřekročila ani 350 °C, na rozdíl od sprinklerů, kde teplota přesáhla 500 °C. Tímto příkladem bylo ověřeno, že obě zařízení dostanou účinně požár pod kontrolu.

## LITERATURA

- [1] RYBÁŘ, P. Sprinklerová stabilní hasící zařízení - I. díl. *TZB-info* [online]. 28. březen 2016. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/pozarni-vodovod/13971-sprinklerova-zarizeni-i-dil>.
- [2] RYBÁŘ, P. Mlhová stabilní zařízení pro protipožární ochranu objektů a technologií (1. Část). *TZB-info* [online]. 4. září 2017. Dostupné z : <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/16205-mlhovastabilni-hasici-zarizeni-pro-protipozarni-ochranu-objektu-a-technologie-1-cast>
- [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.



**Zapálení2020**  
sborník 3. studentské vědecké konference Fakulty stavební ČVUT v Praze

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

**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

126 stran | první vydání  
ISBN 978-80-01-06711-6  
Červen 2020





**Kryštof Hydrant uvádí  
zcela nové** **a ještě lepší**

**chráněné únikové cesty!**



### **CHÚC typu D**

**navržena v souladu s moderními  
trendy zelené architektury,  
vhodné zejména pro džungle  
velkoměsta**



### **CHÚC typu E**

**dispozice a vybavení umožňuje  
extrémně dlouhou dobu zdržení,  
vhodné pro vysoké objekty, kde  
je potřeba si odpočinout**



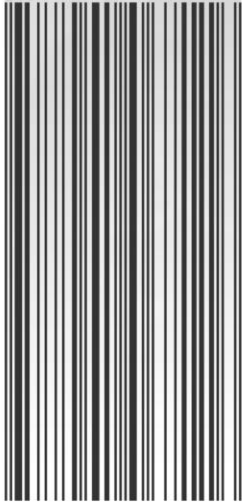
### **CHÚC typu F**

**instalované PBZ nejen při vytavení  
zaplaví celé schodiště, ale poskytuje  
i osvěžení hasičům, v případě  
sodovky je pak hašení vysokotlaké**

**JIŽ DNES VE VAŠEM OKOLÍ!**

**P.S.: Najdi na stránce hasičák!**

ISBN 978-80-01-06711-6



**Zapálení2020**  
**sborník 3. 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

126 stran | první vydání  
ISBN: 978-80-01-06711-6  
Červen 2020