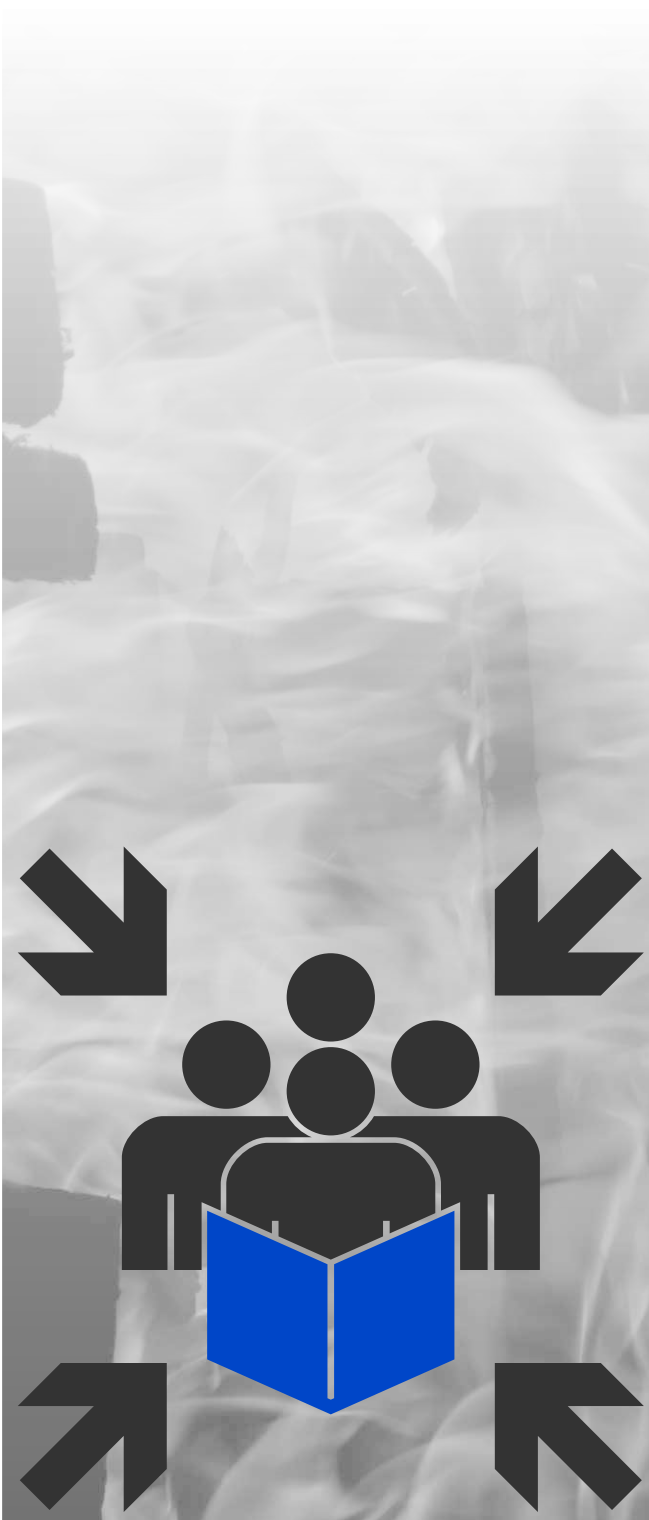




ČVUT
FSv



**sborník 8. studentské
vědecké konference**

Zapálení2025

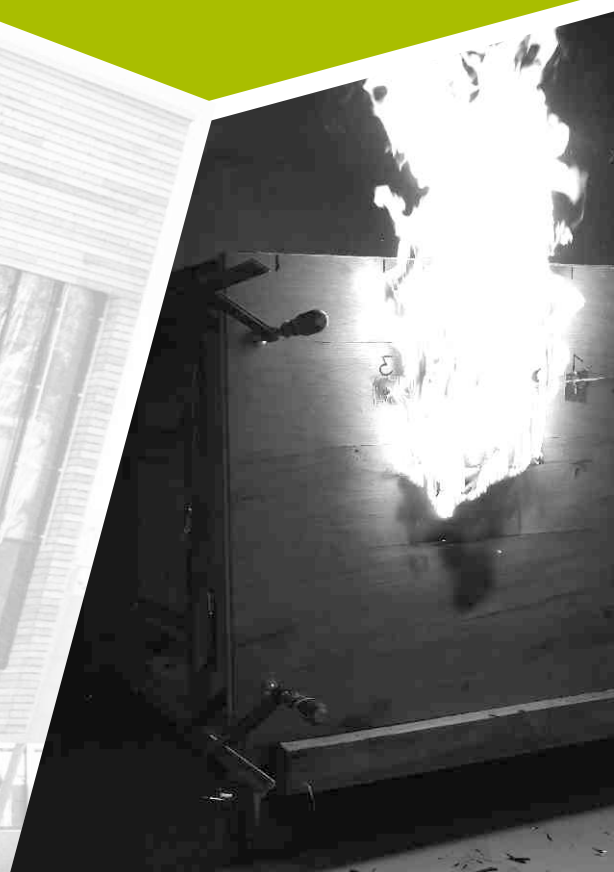
Fakulta stavební | 27. 5. 2025
ČVUT v Praze | pozar.fsv.cvut.cz

POŽÁRNÍ VÝZKUM NA UCEEB

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

Priority pro požární laboratoř:

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



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

bakalářská specializace

POŽÁRNÍ BEZPEČNOST STAVEB

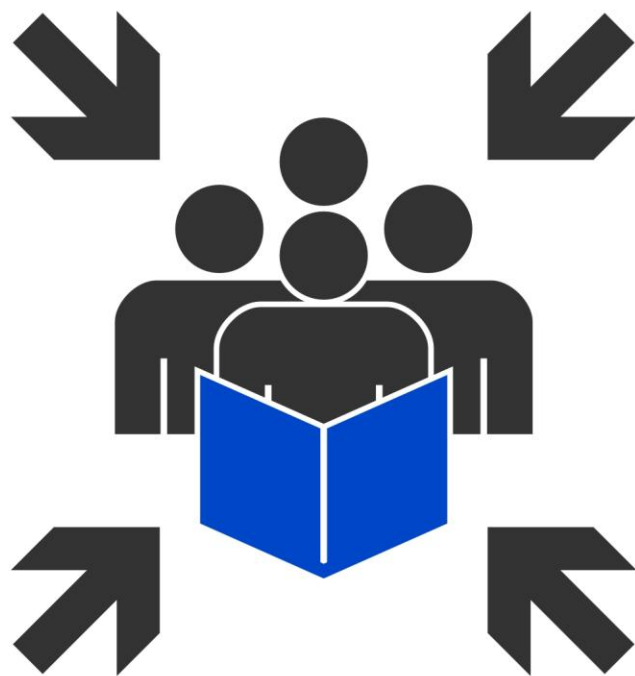
- pasivní a aktivní požární ochrana
- projekce požárněbezpečnostního řešení staveb (PBŘ)
- projekce požárněbezpečnostních zařízení (PBZ)
- vývoj, výroba, realizace PBZ
- provoz a kontrola staveb
- vedení dokumentace požární ochrany
- stavební prevence (HZS ČR)

magisterský program

INTEGRÁLNÍ BEZPEČNOST STAVEB

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





**sborník 8. studentské
vědecké konference**

Zapálení2025

**Fakulta stavební | 27. 5. 2025
ČVUT v Praze | pozar.fsv.cvut.cz**

Za jazykovou a věcnou správnost obsahu díla odpovídají autoři.

Text neprošel redakční úpravou.

© kolektiv vedoucích předdiplomních prací:

**Pokorný, M., Mózer, V., Hejtmánek, P., Najmanová, H., Wald, F., Štefan, R., Koukbová, I.,
Cábová, K., Velebil, L., Benýšek, M., Šejna, J., Sokol, Z., Holan, J., 2025**

ISBN 978-80-01-07425-1

PŘEDMLUVA

Osmý ročník konference Zapálení2025 pořádaný dne 27. května 2025 na Fakultě stavební ČVUT v Praze je zaměřen na aktuální poznatky v oboru požárního inženýrství a bezpečnosti staveb. Záměrem konference je vytvořit místo pro setkání a diskuzi Zapálených – studentů, pedagogů i praktiků.

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

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

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

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

Studentská vědecká konference Zapálení2025 vznikla za podpory interního projektu SVK č. 03/25/F1 na ČVUT v Praze pro rok 2025. Zapálení tímto srdečně děkuje!

kolektiv vedoucích předdiplomních prací

OBSAH

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

SEKCE A | POŽÁRNÍ BEZPEČNOST STAVEB

MAŠTALÍŘOVÁ E. Požární hledisko akustických budek.....	9
KUNCOVÁ M. Požárně nebezpečný prostor větrané fasády s dřevěným obkladem.....	13
FLEMMROVÁ K. Implementace dat z požárních zkoušek zařizovacích předmětů do požárního modelu.....	17
VERICHOVÁ T. Evakuace heterogenního davu s osobami se sníženou mobilitou	21
VANÍČKOVÁ R. Tepelná stabilita a mechanické vlastnosti LC3 pojiv s kalcinovaným kaolinito-ilitickým jílem.....	25
MACHÁČEK T. Vliv vlhkosti na požárně degradovaný sádrokarton	29

SEKCE B | NAVRHOVÁNÍ KONSTRUKCÍ ZA POŽÁRU

DUFKOVÁ K. Tenkostěnné kování ve spojích dřevěných konstrukcí za zvýšené teploty	35
CHYBA M. Studie přítomnosti dřevěného obkladu na nehořlavých obvodových stěnách.....	39
BEČKA O. Numerický výpočet ocelového prvku se styčníky	43
VALEŠOVÁ M. Vliv pláště na chování ocelové konstrukce haly při požáru.....	47
PULCOVÁ K. Chování skleněných konstrukcí za zvýšených teplot.....	51
KUČAVA O. Analýza vlivu ochranné vrstvy na požární odolnosti železobetonových prvků zesílených inovativním systémem uhlíkových lamel.....	55
LISOVÁ A. Experimentální a numerická analýza různých druhů betonů tunelových ostění vystavených požáru	59
VEJVODA L. Vývoj softwarových nástrojů pro posuzování požární odolnosti betonových konstrukcí	63

SEKCE C | AKTIVNÍ POŽÁRNÍ OCHRANA

MAJER J. Řešení SSHZ sprinklerového typu v administrativní budově.....	69
--	----

TABLE OF CONTENTS

SECTION A | FIRE SAFETY OF BUILDINGS

MAŠTALÍŘOVÁ E. Fire Safety Aspect of Acoustic Pods.....	9
KUNCOVÁ M. Fire Dangerous Space For Ventilated Façades With Wooden Cladding	13
FLEMMROVÁ K. Implementation of Data From Fire Tests of Furnishing Items into Fire Model.....	17
VERICHOVÁ T. Evacuation Dynamics of Heterogeneous Crowd Involving Mobility Impaired Pedestrians	21
VANÍČKOVÁ R. Thermal Stability and Mechanical Properties Of LC3 Binders with Calcined Kaolinitic-Illitic Clay	25
MACHÁČEK T. The Effect of Moisture on Fire-Degraded Plasterboard	29

SECTION B | STRUCTURAL DESIGN IN FIRE

DUFKOVÁ K. Thin-Walled Fittings in Joints of Timber Structures at Elevated Temperatures	35
CHYBA M. Study of the Presence of Timber Cladding on Non-Combustible Perimeter Walls.....	39
BEČKA O. Numerical Calculation of a Steel Element with Contactors	43
VALEŠOVÁ M. Effect of the Cladding on the Behavior of the Steel Structure of a Hall during a Fire.....	47
PULCOVÁ K. Behavior of Glass Structures at Elevated Temperatures	51
KUČAVA O. Analysis of the Effect of the Protective Layer on the Fire Resistance of Reinforced Concrete Elements Strengthened with the System of an Innovative Carbon Fiber Plates	55
LISOVÁ A. Experimental and Numerical Analysis of Different Types of Tunnel Lining Concretes Exposed to Fire.....	59
VEJVODA L. Development of Software Tools for Assessing the Fire Resistance of Concrete Structures	63

SECTION C | ACTIVE FIRE PROTECTION

MAJER J. Solution of Fixed Firefighting Sprinkler System in Office Building	69
---	----

POŽÁRNÍ HLEDISKO AKUSTICKÝCH BUDEK**FIRE SAFETY ASPECT OF ACOUSTIC PODS****Bc. Emma Maštalířová****Abstract**

This conference paper focuses on the issue of how acoustic pods are viewed in terms of fire safety according to ČSN standards for the fire safety of buildings. Acoustic pods are a relatively unfamiliar term in the context of office environments, especially in the Czech Republic. The issue stems from the unclear definition of acoustic pods, as they could theoretically be perceived as both furniture and an enclosure. To ensure that acoustic pods comply with fire safety regulations, it is important to understand, identify, and evaluate potential risks associated with placing them within fire compartments. ČSN standards set out requirements that can be applied to acoustic pods, and these will be further discussed along with the definition of acoustic pods.

Key words: *acoustic pod; open-plan office; fire safety; standards; testing*

ÚVOD

Model klasických open space kanceláří, které si získaly popularitu z důvodu snížení finančních nákladů a zvýšení sociální interakce mezi zaměstnanci, naráží na problém s nedostatkem soukromí. Na základě toho bylo potřeba přijít s řešením, které dokáže propojit filosofii open space kanceláří s možností klidného pracovního prostředí. Takové řešení přinesly akustické budky, jež poskytují soukromí pro hovory, soustředěnou práci nebo pracovní schůzky a zároveň zachovávají flexibilitu open space. Jednotlivé modely akustických budek dostupných na trhu se od sebe mohou významně lišit, například velikostí, použitými materiály nebo vybavením. Jelikož se stále jedná, zejména v České republice, o poměrně nový prvek normám a jiným předpisům neznámý, vyvstává otázka, jak nahlížet na akustické budky z hlediska požární bezpečnosti staveb. Aby mohly být akustické budky zasazeny do kontextu norem požární bezpečnosti, je potřeba popsat jejich vlastnosti a identifikovat případná rizika spojená s jejich umístěním do požárního úseku. Následně se musí identifikovat provozy, ve kterých se akustické budky budou vyskytovat spolu s požadavky požární bezpečnosti staveb kladenými na tyto provozy.

POPIS AKUSTICKÝCH BUDEK

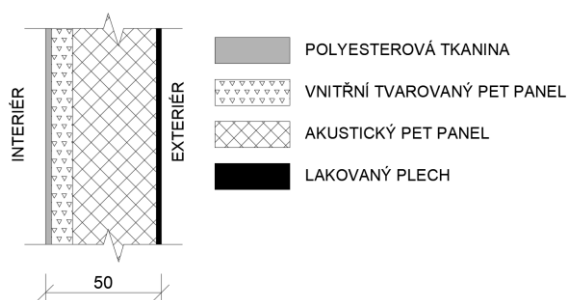
Akustické budky (obr. 1) jsou pro účely článku definovány následovně: Jedná se o uzavřené modulové systémy, které díky svým akustickým vlastnostem zajišťují potlačení nežádoucího zvuku z okolí a zároveň do jisté míry zabraňují úniku zvuku z prostoru budky.

Konstrukce akustické budky sestává z vlastní nosné konstrukce rámu, na který jsou namontovány panely s akustickou výplní, případně mohou tvořit panely již vlastní nosnou konstrukci. Z hlediska materiálu může být pro rám použita ocel, hliník, dřevo nebo materiály na bázi dřeva. Jako akustická výplň se nejčastěji používají panely z polyesteru (recyklovaného PET), případně polyuretanu či melaminu. Najdou se však i biokompozitní materiály na bázi rostlinných vláken. Vnitřní a vnější čalounění může být provedeno jak ze syntetických, tak přírodních látek. Dveře, případně i další stěny jsou zasklené protihlukovými izolačními skly. Příklad skladby stěnového panelu je vidět na obr. 2. Součástí vybavení moderních akustických budek zpravidla bývá ventilace s nastavitelným průtokem vzduchu, LED osvětlení a zásuvky. Akustické budky mohou být dodávány již vybavené nábytkem, případně v nich může být nábytek vestavěný anebo jsou dodávány prázdné a zákazník si je vybaví podle preferencí.



Obr. 1 Akustická budka, zdroj: architonic.com

Fig. 1 Meeting pod, source: architonic.com



Obr. 2 Příklad skladby stěnového panelu

Fig. 2 Example of wall panel composition

JE AKUSTICKÁ BUDKA NÁBYTEK, NEBO MÍSTNOST?

Jelikož se jedná v podstatě o místnost v místnosti, není jednoznačně jasné, jak na akustickou budku nahlížet. Pro lepší přiblížení tohoto dilematu začneme s následující úvahou: Pokud se osoba nachází vně akustické budky, vnímá ji jako nábytek, kdežto jakmile vstoupí dovnitř, začne ji vnímat jako místnost. Akustické budky jsou dodávány v podobě prefabrikovaných dílců, jež jsou smontovány do výsledné konstrukce (obdobně jako nábytek) v již hotovém nebo téměř hotovém objektu. Avšak pohlížet na akustickou budku pouze jako na nábytek, případně vestavěný nábytek, by bylo poněkud krátkozraké. Stačí definovat místnost jakožto uzavřenou část prostoru nacházející se uvnitř objektu, jež je omezena stěnami, podlahou a stropem. Pokud splňuje akustická budka definici místnosti, tak splňuje dle vyhlášky č. 146/2024 Sb. i definici pobytového prostoru, jenž je definován jako místnost splňující předpoklady k tomu, aby se v ní mohly zdržovat osoby. Toto vnímání je velice důležité s ohledem na požadavky požární bezpečnosti staveb (případně výjimky), které stanovují české technické normy. [1]

AKUSTICKÉ BUDKY V KONTEXTU NOREM ČSN

Stejně tak, jako by akustické budky měly zajišťovat například dostatečnou kvalitu vnitřního prostředí, měly by být též bezpečné z požárního hlediska, a to jak samy o sobě, tak by neměly narušovat koncept požární bezpečnosti objektu, v němž se nacházejí. V kontextu s požární bezpečností se musí analyzovat následující faktory: umístění akustické budky v požárním úseku, materiály, ze kterých jsou vyrobeny a instalovaná požárně bezpečnostní zařízení v požárním úseku.

Z hlediska norem z řady ČSN 73 08xx je potřeba nejprve definovat relevantní požárně technické charakteristiky, jež by se daly případně uplatňovat na akustické budky s ohledem na to, že se nejedná o nosné konstrukce objektu či požárně dělící konstrukce. Mezi tyto relevantní charakteristiky tak můžeme zařadit třídu reakce na oheň, index šíření plamene po povrchu i_s [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$] a odpadávání a odkapávání hmot z podhledů a stropů hodnocené podle ČSN 73 0865.

Dále by se měly vymezit případy, ve kterých normy stanovují jisté požadavky, a které se mohou s určitou pravděpodobností týkat akustických budek. Tyto požadavky mohou vycházet jednak z kmenových norem a dále pak z norem pro specifické provozy. Mezi tyto provozy, resp. požární úseky spadají následující:

- Požární úseky zařazené do skupin U1, nebo U2: Vyznačují se vysokou hustotou osob při relativně velké ploše požárního úseku, nebo výskytem většího počtu osob s omezenou schopností pohybu a orientace. [2]
- Shromažďovací prostory: Primární využití nacházejí akustické budky v open space kancelářích, které mohou dosáhnout limitů pro shromažďovací prostory. Nejedná se ale pouze o kanceláře, stejný případ může nastat v budovách pro školství či knihovnách.
- Budovy skupiny OB4: Spadají sem „větší“ hotely, ve kterých mohou být akustické budky umístěny v prostorách lobby. [3]

- Zdravotnická zařízení: Nesouvisí přímo s akustickými budkami, ale s tzv. světelnými saunami, jež jsou vzhledem podobné, avšak se zcela jiným využitím. Uplatnění by měly nalézt například v psychiatrických zařízeních.

PROBLEMATIKA SHZ V AKUSTICKÝCH BUDKÁCH

Článek se doposud věnoval především požadavkům na požárně technické charakteristiky stavebních výrobků a hmot. Ve většině z výše uvedených případů lze požadavky zmírnit nebo zrušit, pokud bude v daném požárním úseku instalováno SHZ či DHZ. Proto se nyní zaměříme na problematiku SHZ v kontextu akustických budek. Instalace SHZ do objektu, případně požárního úseku, může být požadována některou z norem požární bezpečnosti staveb, nebo instalaci SHZ může požadovat jiný subjekt v rámci zvýšení požární bezpečnosti. V takovém případě je potřeba neopomenout v úvahách, kde všude mají být sprinklery umístěny, ani akustické budky jakožto součásti požárního úseku, které nejsou prostory bez požárního rizika. Na tuto situaci se dá nahlížet dvěma směry. Jednou možností je požadovat instalaci sprinklerů i v akustických budkách (obr. 3), přičemž lze alternativně uplatnit výjimku dle ČSN EN 12845, jež umožňuje zajistit hašení v místnosti jiným automatickým hasicím zařízením (např. s plynovým hasivem, obr. 4) [4]. Instalace SHZ do akustických budek se však může zdát značně problematická, jelikož toto opatření je zcela v kontrastu s jejich klíčovou vlastností, jíž je přemístitelnost. Druhou možností je prokázání, že jsou akustické budky natolik specifické a vykazují takové vlastnosti, že do nich není potřeba SHZ instalovat.



Obr. 3 Akustické budky vybaveny sprinklery,
zdroj: framery.com

Fig. 3 Acoustic pods equipped with sprinklers,
source: framery.com



Obr. 4 Automatické hasicí zařízení,
zdroj: zenbooth.net

Fig. 4 Fire suppression unit,
source: zenbooth.net

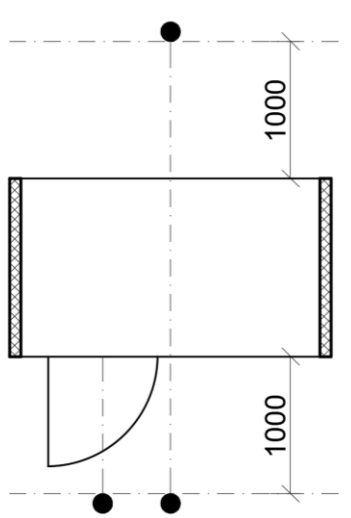
ZKOUŠENÍ AKUSTICKÝCH BUDEK

V souvislosti s nedostatkem podkladů a nejednotností požadavků na akustické budky vznikají metodiky jejich zkoušení. Jedna z prvních metodik byla vyvinuta za účelem regulace akustických budek v Japonsku a její klíčové prvky zde budou popsány.

Akustická budka se zkouší ve standardní konfiguraci, tzn. v očekávaném provozním režimu, vybavená nábytkem a s otevřenými dveřmi (pokud není vybavena samozavíračem). Zapálení se provede pomocí bavlněné textilie, jež byla namočená v 50 ml n-heptanu. Místo iniciace se má nacházet v bodě s předpokládaným nejrychlejším rozvojem požáru. Toto implicitní stanovení se však zdá být problematické z důvodu možné nevypovídající hodnotě zkoušek. Po zapálení se sleduje, zda dojde k uhašení do 20 minut, přičemž po uhasnutí se pozoruje dalších 5 minut, zda nenastane opětovnému vznícení.

Dalšími hodnocenými kritérii jsou hustota tepelného toku a koncentrace CO. Hustota tepelného toku se měří ve vzdálenosti 1 m kolmo od středu průhledných stěn, případně i od středu dveří (kromě dveří se samozavíračem), pokud nejsou dveře umístěny uprostřed, a to ve výšce 1,5 m nad podlahou (obr. 5). Hodnota hustoty tepelného toku nesmí přesáhnout 3 kW/m². Koncentrace CO

je měřena ve vzdálenosti 1 m kolmo od dveří (kromě dveří se samozavíračem) nebo vyústek vzduchotechniky, a to ve výšce 1,8 m. Maximální koncentrace CO nesmí přesáhnout 1000 ppm. Kritické zhodnocení posuzovaných kritérií v článku nebude probíráno a zůstává předmětem dalších diskusí. [5]



Obr. 5 Body měření hustoty tepelného toku v půdorysu

Fig. 5 Points of heat flux measurement in the top view

ZÁVĚR

Z předchozích řádků vyplývá, že problematika akustických budek z pohledu norem ČSN je dosti komplexní a cílem článku bylo na ni poukázat. Akustické budky totiž nejsou explicitně definovány, proto je potřeba jim věnovat pozornost při návrhu požární bezpečnosti objektu a dokázat vyhodnotit, zda může představovat provoz, ve kterém budou umístěny, rizika a zda jejich umístění do požárního úseku není v rozporu s některými požadavky norem ČSN. Trh s těmito výrobky je navíc velmi rozmanitý, ať co do jejich velikosti, tak z hlediska materiálů. Pokud má být akustická budka bezpečná, je potřeba stanovit funkční parametry reflektující rizika, která mohou vzniknout v souvislosti s akustickou budkou, a na základě kterých půjde odpovědět na otázku, jak tato rizika limitovat. Nyní se nabízí buď využít stávající charakteristiky a požadavky z norem ČSN a aplikovat je i na akustické budky, nebo navrhnout novou metodiku, která se bude přesně řídit funkčními parametry. V této souvislosti je na místě hledat inspiraci v zahraničí.

PODĚKOVÁNÍ

Článek vznikl v rámci spolupráce s Framery, výrobcem akustických budek. Autorka článku tímto děkuje.

LITERATURA

- [1] Vyhláška č. 146/2024 Sb. *Vyhláška o požadavcích na výstavbu*. In: *Zákony pro lidi* [online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2024-146>
- [2] ČSN 73 0802. *Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty*. Ed. 2. ÚNMZ, září 2023.
- [3] ČSN 73 0833. *Požární bezpečnost staveb – Budovy pro bydlení a ubytování*. Změna: Z3. ÚNMZ, září 2023.
- [4] ČSN EN 12845+A1. *Stabilní hasicí zařízení - Sprinklerová zařízení - Navrhování, instalace a údržba*. ÚNMZ, květen 2020.
- [5] *Notification 211 appendix: Japanese methodology*.

POŽÁRNĚ NEBEZPEČNÝ PROSTOR VĚTRANÉ FASÁDY S DŘEVĚNÝM OBKLADEM FIRE DANGEROUS SPACE FOR VENTILATED FAÇADES WITH WOODEN CLADDING

Bc. Markéta Kuncová

Abstract

Ventilated facades are an increasingly used solution for the building envelopes. However, the cavity that is part of them represents a very specific and significant risk for the spread of fire. Its solution can have a direct fundamental influence on the spread of flames. The choice of cladding material is no less crucial. In particular, wooden cladding materials significantly contribute to the spread of fire and its size. The first part of this article is devoted to the problems associated with the design of folded, or rather ventilated facades, and problematic details. The second part presents an analysis that compares the size of the separation distance and draws attention to the fundamental influence of the selected type of cladding material and the functionality of fire barriers.

Key words: fire hazardous area; ventilated façade; combustible cladding; fire spread; fire barrier.

ÚVOD

Fasádní systémy jsou nedílnou a velmi důležitou součástí obálky budovy. V posledních letech roste popularita využití skládaných, zejména větraných fasádních systémů, které jsou charakteristické dlouhou životností a výbornými tepelně technickými vlastnostmi. S ohledem na značnou materiálovou a konstrukční variabilitu představují větrané fasády pro návrh objektů unikátní a moderní způsob opláštění budov. České technické normy však z hlediska požární bezpečnosti staveb zahrnují pouze velmi omezené požadavky pro návrh.

Jedním z důležitých hledisek návrhu větrané fasády z hlediska požární bezpečnosti je určení požárně nebezpečného prostoru (dále jen PNP). Velikost tohoto PNP je přímo spjata jak s velikostí a umístěním otvorů ve fasádě, samotným materiálovým a konstrukčním řešením fasádního systému, ale také požárním rizikem daného provozu v objektu. Zejména fasády s větranou dutinou a hořlavým obkladem mohou představovat výzvu pro řešení požární bezpečnosti stavby.

VĚTRANÉ FASÁDNÍ SYSTÉMY S DŘEVĚNÝM OBKLADEM

U větraných fasádních systémů s dřevěným obkladem (obr. 1A) přispívá k rozvoji požáru po fasádě budovy zejména hořlavý obklad, přičemž na rychlost šíření má podstatný vliv nejenom tloušťka obkladu, ale také jeho uspořádání, velikost a orientace spár mezi obkladem apod.



(A)



(B)

Obr. 1: (A) Objekt s dřevěným obkladem; (B) Požární zkouška stavby s dřevěným obkladem [1]

Fig. 1: (A) Building with wooden cladding; (B) Fire test of building with wooden cladding [1]

Hořlavý obklad však není jediným prvkem, který se může na šíření požáru podílet. Požár se u větraných fasád totiž nešíří pouze po vnějším povrchu, nýbrž také větranou dutinou. Klíčovým faktorem pro šíření požáru je přítomnost požárních bariér na hranici požárních úseků, které mohou omezit šíření požáru jak po povrchu fasády, tak uvnitř dutiny. K šíření požáru fasádním systémem může v neposlední řadě přispívat také použití difúzní fólie jako součásti skladby systému, hořlavého tepelného izolantu nebo hořlavého nosného roštu obkladu.

Pro větrané fasády s dřevěným obkladem bývá obtížná předvídatelnost šíření požáru. Pro poznání zákonitostí šíření požáru jsou velmi důležité požární zkoušky fasádních systémů. Z obr. 1 (B) je patrné, že k šíření požáru po dřevěném obkladu dochází nejenom ve vertikálním, ale částečně i horizontálním směru; v konkrétní zkoušce nicméně nikoliv po celé délce obvodové stěny.

POŽÁRNĚ NEBEZPEČNÝ PROSTOR

PNP je taková oblast objektu, ve kterém existuje riziko šíření způsobené sáláním tepla od tzv. požárně otevřených ploch (dále jen POP), event. padajících hořících částí konstrukcí stavby. Tento prostor ovlivňuje objekt již ve fázi návrhu, vypočtená velikost PNP totiž může výrazně znesnadnit, či dokonce přímo vyloučit umístění konkrétního objektu do stávající zástavby. Zejména u fasád s dřevěnými obklady se lze setkat s nezanedbatelně velkými odstupovými vzdálenostmi vymezujícími PNP, které jsou následně často předmětem kritiky různých dotčených subjektů.

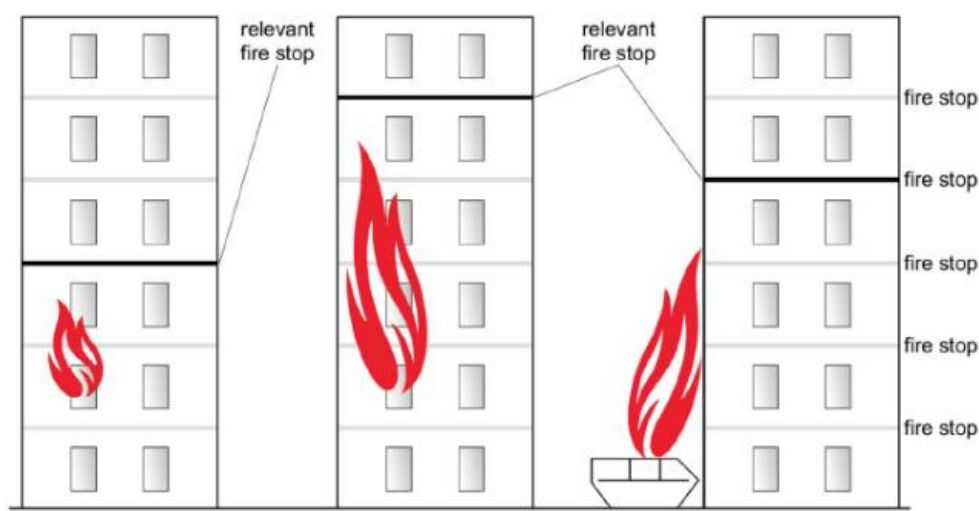
V současnosti se při výpočtech PNP (dle ČSN 73 0802) vychází z předpokladu, že se požár šíří pouze v rámci jednoho požárního úseku, tj. že jsou na fasádě zajištěna opatření proti šíření požáru, kterými mohou být tzv. požární bariéry, se kterými jsou však v ČR stále velmi omezené zkušenosti.

POŽÁRNÍ BARIÉRY

Jedním z nejdůležitějších prvků větraných fasád je zajištění účinného oddělení jednotlivých požárních úseků, a tím omezení šíření požáru obvodovým pláštěm. Tuto funkci plní požární bariéry, které jsou nezbytnou součástí návrhu větraných fasád. Požární bariéry se instalují do dutiny fasády v různých polohách a materiálových podobách. Jejich hlavním účelem je zastavit nebo zpomalit šíření požáru nejenom uvnitř dutiny, ale i po vnějším povrchu fasády. [2]

V případě vzniku požáru uvnitř budovy hrozí nebezpečí, že se účinek požáru otvory ve fasádě rozšíří směrem vzhůru nebo do stran po fasádě budovy, včetně výrazného příspěvku větrané dutiny. V případě rozšíření dutinou dochází k tzv. „komínovému efektu“, který může urychlit šíření požáru – rychlost hoření v dutině bývá násobně vyšší než po vnějším povrchu. [3]

V situacích, kdy bariéry nejsou vůbec navrženy, nebo neplní-li při požáru svou funkci a nezamezí-li šíření požáru mimo dotčený požární úsek, dochází k problému se zvyšujícím se sálavým tokem od objektu a tím i zvětšením PNP. Zároveň hrozí problém neomezeného rozšíření požáru do dalších požárních úseků (obr. 2), čímž může být v konečném důsledku ohrožen celý objekt.



Obr. 2 Různé scénáře požáru na fasádě a znázornění příslušných požárních bariér [4]

Fig. 2 Various fire scenarios at the façade and representation of the relevant fire stop [4]

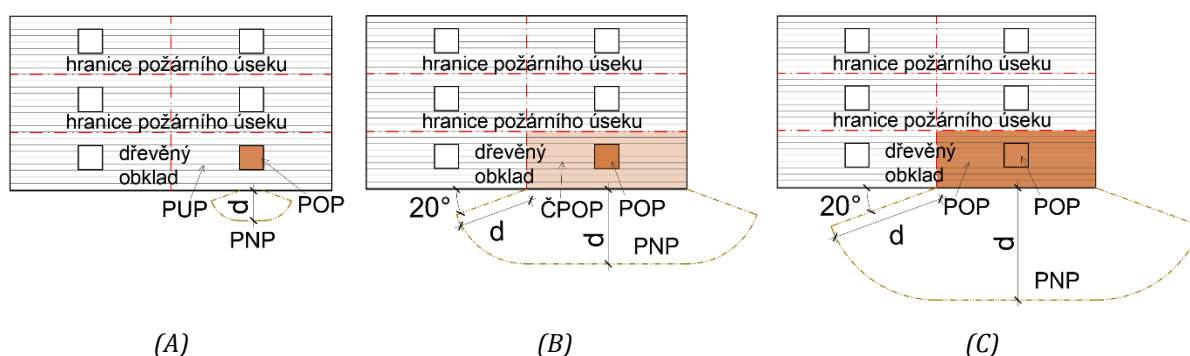
ANALÝZA POŽÁRNĚ NEBEZPEČNÉHO PROSTORU FASÁDY S DŘEVĚNÝM OBKLADEM

Předmětem analýzy této práce je srovnání velikostí PNP několika variant větrané fasády (obr. 3) lišících se tloušťkou dřevěného obkladu. Okrajové podmínky jsou zvoleny následovně:

- Třípodlažní objekt; dva požární úseky na podlaží; jedno okno v každém požárním úseku
- Velikost okna: 1,5 m × 1,5 m; velikost požárního úseku: 10 m × 3,6 m
- Materiálové podmínky: železobetonová stěna, minerální izolace, dřevěný obklad různých tloušťek, kovový nosný rošt obkladu
- Teploty v hořícím požárním úseku dle nominální normové teplotní křivky (ISO 834)
- Funkční požární bariéry na hranici požárního úseku
- Odstupová vzdálenost (d) vymezující PNP určena dle podrobného výpočtu sálání tepla [5]

Zvoleny jsou tři tloušťky zvoleného obkladu. Na obr. 3 (A) je znázorněn objekt s dřevěným obkladem malé tloušťky, který je následně vyhodnocen jako požárně uzavřená plocha (PUP), na obr. 3 (B) obklad střední tloušťky, který je hodnocen jako částečně požárně otevřená plocha (ČPOP) a na obr. 3 (C) obklad masivní, který je hodnocen jako zcela požárně otevřená plocha (POP). Okno je ve všech případech uvažováno jako zcela POP.

O požární otevřenosti fasády rozhoduje celkové množství uvolněného tepla z jednotky plochy fasády Q , kritérii pro rozdělení dle požární otevřenosti jsou hodnoty 150 MJ/m² a 350 MJ/m² (PUP při $Q \leq 150$ MJ/m² a POP při $Q \geq 350$ MJ/m²). [6]



Obr. 3: (A) Obklad malé tloušťky; (B) Obklad střední tloušťky; (C) Masivní obklad

Fig. 3: (A) Thin thickness of cladding; (B) Medium thickness of cladding; (C) Massive cladding

Pokud se v požárním úseku vyskytuje kombinace zcela POP a ČPOP, určuje se celková POP (S_{po}) pomocí redukčního součinitele k_2 , který zahrnuje poměr hustoty tepelného toku ze sálavých ploch (resp. výpočtového požárního zatížení) podle následující rovnice (1), [6]:

$$S_{po} = S_{po1} + k_2 \times S_{po2} \quad (1)$$

Procento POP (p_o) je následně určeno z plochy obvodové stěny podle následující rovnice (2). [6] Celková plocha S_p je pro obr. 3 (A) určena pouze jako plocha okna, zatímco pro obr. 3 (B) a 3 (C) jako plocha fasády celého požárního úseku.

$$p_o = \frac{S_{po}}{S_p} \times 100 \quad (2)$$

Pro názornost srovnání jsou v rámci analýzy zvoleny tři různé provozy s různými požárními riziky, tj. provozy s výpočtovým požárním zatížením p_v 15, 45 a 90 kg/m².

Odstupy d od požárně otevřených ploch (ČPOP a POP) uvedené v tab. 1 jsou vypočteny podrobným výpočtem sálání tepla s využitím výpočetního programu pro hustotu tepelného toku odpovídající výpočtovému požárnímu zatížení daného požárního úseku.

Tab. 1 Srovnání velikostí odstupových vzdáleností

Tab. 1 Comparing the sizes of separation distances

Varianta provozu	p_v [kg/m ²]	S_{po1} [m ²]	S_{po2} [m ²]	k_2 [-]	S_{po} [m ²]	p_o [%]	d [m]
Obr. 3 (A)/1		2,25	-	-	2,25	100	1,25
Obr. 3 (B)/1	15	2,25	33,75	1,0	36	100	4,5
Obr. 3 (C)/1		36	-	-	36	100	4,5
Obr. 3 (A)/2		2,25	-	-	2,25	100	1,85
Obr. 3 (B)/2	45	2,25	33,75	0,56	21,15	58,75	4,75
Obr. 3 (C)/2		36	-	-	36	100	7,0
Obr. 3 (A)/3		2,25	-	-	2,25	100	2,25
Obr. 3 (B)/3	90	2,25	33,75	0,4	15,75	43,75	4,95
Obr. 3 (C)/3		36	-	-	36	100	8,7

Z výsledků provedené analýzy uvedených v tab. 1 vyplývá, že typ a skladba větraných fasád mají zásadní vliv na velikost odstupové vzdálenosti vymezující PNP. Především u fasád s masivním dřevěným obkladem dochází k výraznému nárůstu odstupových vzdáleností.

ZÁVĚR

Užití dřevěných obkladů u fasádních systémů má zásadní vliv na velikost odstupových vzdáleností vymezující PNP těchto objektů. Ve srovnání s jinými úpravami mohou odstupové vzdálenosti až výrazně růst, u vícepodlažních úseků pak dokonce násobně, což může zapříčinit omezení možnosti umístění objektu na pozemku či představovat další problémy z požárního hlediska.

Z výše zmíněných důvodů je při návrhu nezbytné věnovat zvýšenou pozornost volbě materiálů a řešení požárních bariér. Uvážení požárně technických vlastností fasády již v počátečních fázích návrhu může předejít komplikacím v rámci stavebního řízení i samotné výstavby. Výsledky tohoto článku dále potvrzují potřebu dalších výzkumů a zkoušek, které by mohly vést k efektivnějšímu a bezpečnějšímu návrhu budov.

Diskutabilní také zůstává, zda je pro výpočet odstupových vzdáleností od fasád s dřevěným obkladem hodnocených jako ČPOP a POP nutné uvažovat celou plochu fasády požárního úseku a naopak takto uvažovaná plocha odpovídá reálnému rozšíření požáru po fasádě.

LITERATURA

- [1] Velkorozměrová požární zkouška dřevostavby. Inovace studijních programů a posílení mezinárodní spolupráce v oblasti navrhování a požární bezpečnosti budov – CZ.1.07/2.2.00/28.0008. Rýmařov. VŠB TU Ostrava. 2014
- [2] ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení. 2016. Opr. 1. 2020.
- [3] JENSEN, Geir. Fire spread modes and performance of fire stops in vented façade constructions – overview and standardization of test methods. MATEC Web of Conferences [online]. 2013, 9, 02002. ISSN 2261-236X. Dostupné z: doi:10.1051/mateconf/20130902002
- [4] ENGEL, Thomas a Norman WERTHER. Structural Means for Fire-Safe Wooden Façade Design. Fire Technology [online]. 2023, 59(1), 117–151. ISSN 1572-8099. Dostupné z: doi:10.1007/s10694-021-01174-2
- [5] POKORNÝ, Marek. Program pro výpočet odstupové vzdálenosti z hlediska sálání tepla. Verze 03_2017.07. ČVUT v Praze, Fakulta stavební.
- [6] ČSN 73 0802 ed. 2 Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty. 2023.

IMPLEMENTACE DAT Z POŽÁRNÍCH ZKOUŠEK ZAŘIZOVACÍCH PŘEDMĚTŮ DO POŽÁRNÍHO MODELU

IMPLEMENTATION OF DATA FROM FIRE TESTS OF FURNISHING ITEMS INTO FIRE MODEL

Bc. Karolína Flemmrová

Abstract

This paper focuses on the implementation of data from fire tests of furnishing items into fire models using the Fire Dynamics Simulator (FDS). The study is based on experimental data from a fire test of an upholstered armchair conducted in 2023 at UCEEB CTU in Prague. The aim is to assess the influence of room conditions on burning behavior, the accuracy of input data on simulation results, and the method of fire modeling, specifically through prescribed HRR and pyrolysis.

Key words: Fire Dynamics Simulator; CFD model; prescribed HRR; Pyrolysis; Input data

ÚVOD

V současné době výrazně roste zájem o takzvaný požárně inženýrský přístup v oblasti požární bezpečnosti staveb. Jedná se o přístup, který je v rámci české legislativy zakotven § 99 zákona č. 133/1985 Sb. o požární ochraně [1] a umožňuje využít postup odlišný od běžného postupu, který určí technická norma.

Mimo jiné je cílem metod požárního inženýrství lépe pochopit, jak se požár v dané stavbě bude chovat, jaký vliv bude mít na navržené konstrukce a jakou podstatnou roli bude hrát v otázce evakuace. Mezi tyto metody patří např. požární zkoušky a požární modelování. Jelikož požární zkoušky jsou velmi finančně a časově náročné, často se při řešení problematiky požární bezpečnosti staveb přikláníme k požárnímu modelování.

Jedněmi z hlavních problémů při vytváření požárních modelů mohou být např. nedostatečná nebo zastaralá vstupní data, nebo jejich špatná implementace do modelu. A právě touto problematikou se zabývá i tato práce, a to konkrétně např. rozdílem volného hoření a hoření uvnitř místnosti nebo zvoleným typem modelování hoření v programu FDS.

FIRE DYNAMICS SIMULATOR

Jak již bylo zmíněno v úvodu, v rámci této práce bylo pro vytváření požárních modelů použito výpočetního programu FDS (Fire Dynamics Simulator). Jedná se o program simulující dynamiku požáru, založený na principu metody pole (CFD). Vývoj programu probíhá již více než 20 let. První verze programu byla zveřejněna v únoru roku 2000. FDS je výsledkem mezinárodní spolupráce mezi Národním institutem pro standardizaci a technologii (NIST), Fire Safety Research a UL Research Institutes. [2]

Modely typu pole neboli také CFD modely jsou založeny na technologii proudění tekutin a plynů (Computational Fluid Dynamics). V rámci tohoto typu modelu je řešený prostor rozdělen do velkého počtu trojrozměrných kontrolních objemů, tedy buněk, které jsou složeny do prostorové sítě. Mezi buňkami jsou řešeny rovnice zachování hmoty, energie, částicového složení a hybnosti. CFD modely se využívají zejména k řešení komplikovanějších a složitějších problémů, kde již nelze aplikovat zjednodušení v podobě zónového modelu. [3]

PŘEVÁDĚNÍ DAT Z EXPERIMENTŮ DO FDS MODELU

V rámci PIP je povětšinou cílem namodelovat určitou konkrétní situaci, při které požár vznikne, a to ať už pouze v určité místnosti, nebo v celém objektu. Vždy ovšem potřebujeme znát a namodelovat iniciátor hoření, kterým se v mnohých případech může stát některý z běžně využívaných zařizovacích předmětů, ze kterých se následně požár šíří do ostatních částí místnosti či budovy.

Jak již bylo zmíněno dříve, pro validní model v jakémkoliv programu je nutné mít přesné a správné vstupní hodnoty. Z hlediska modelování chování požáru nám cenná data o průběhu hoření mohou

poskytnout požární experimenty, ze kterých, jsou získávána data, jako např. rychlost uvolňování tepla (HRR), teplota plynů, koncentrace plynů vznikajících při hoření (CO_2 , CO, saze) nebo úbytek hmotnosti. V současné době je databáze modelů hoření jednotlivých zařizovacích předmětů stále omezená. Přesto již v minulosti proběhli studie a jsou vytvořeny publikace zabývající se tímto tématem.

Jedním z příkladů je studie z roku 2004, v rámci které, bylo provedeno několik požárních experimentů, a to jak stavebních materiálů, kabelů, tak právě i čalouněného nábytku. Cílem této studie bylo převést získaná data ze zkoušek do modelu v programu FDS. Autory studie jsou Jukka Hieta-niemi, Simo Hostikka a Jukka Vaari. Jedná se o studii pocházející z Finska a projekt byl financován VTT Building and Transport a Národní technickou agenturou Finska. [4]

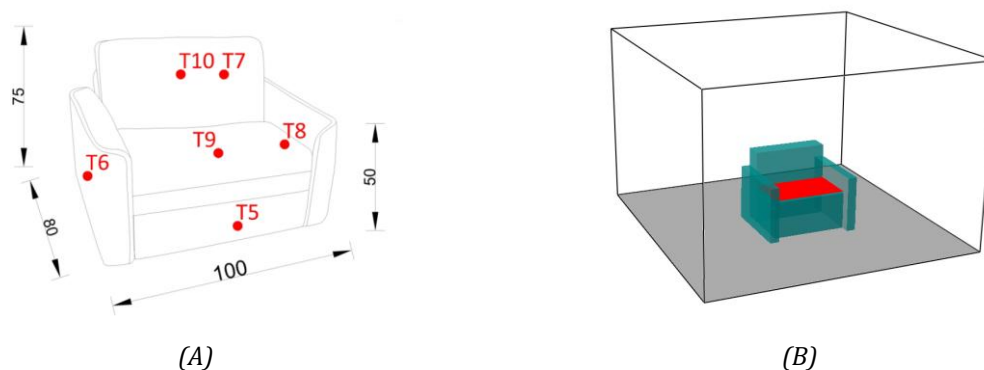
V rámci studie byly provedeny zkoušky čalouněného křesílka a následně byla data, získaná ze zkoušek, převedena do modelu v programu FDS. V závěru bylo provedeno porovnání a vyhodnocení dat z modelu a zkoušky. Jako u většiny veřejně dostupných studií, tak i v případě této studie, ale nejsou v jejím textu zahrnuty podstatné informace a data, jako například přesná data získaná ze zkoušek, či způsob namodelování hoření v programu FDS, což znemožňuje opětovné využití poznatků, které byly v rámci studie získány. Proto je také cílem této práce poukázat na rozdíly ve způsobu modelování hoření v FDS a zdůraznit důležitost správného nastavení vstupních dat.

VÝCHOZÍ ZKOUŠKY ZAŘIZOVACÍCH PŘEDMĚTŮ

Pro tuto práci byla jako data pro vytvoření požárních modelů použita data z požárních experimentů zařizovacích předmětů proběhlých v roce 2023 v požární laboratoři FireLAB v UCEED ČVUT v Praze. Bylo provedeno celkem devět zkoušek hoření zařizovacích předmětů, a to konkrétně sestava židle, stolku a TV (provedeny 2 varianty), sestava pouze stolku se židlí, dvojkřeslo, postel s matrací, matrace, křeslo a 2 různé kancelářské židle. Pro veškeré zkoušky bylo využito zařízení Room Corner Test (RCT) dle ISO 9705. Konkrétně byly zařizovací předměty umístovány vně místnosti RCT, pod odtahový zvon. Tento typ zkoušky z velké části odpovídá otevřené kalorimetrii. Pro tuto práci byla převzata data ze zkoušky čalouněného křesílka. Další podrobnosti o provedených zkouškách lze získat z diplomové práce Luci Pittermanové z roku 2024. [5]

MODEL KŘESÍLKA V PROGRAMU FDS

Prvním krokem bylo přenesení a zjednodušení geometrie reálného křesílka do programu FDS. Veškerá geometrie byla vytvořena pomocí příkazu OBST, tak aby rozměrově a tvarově co nejpřesněji odpovídala zkušebnímu křesítku viz obr 1.

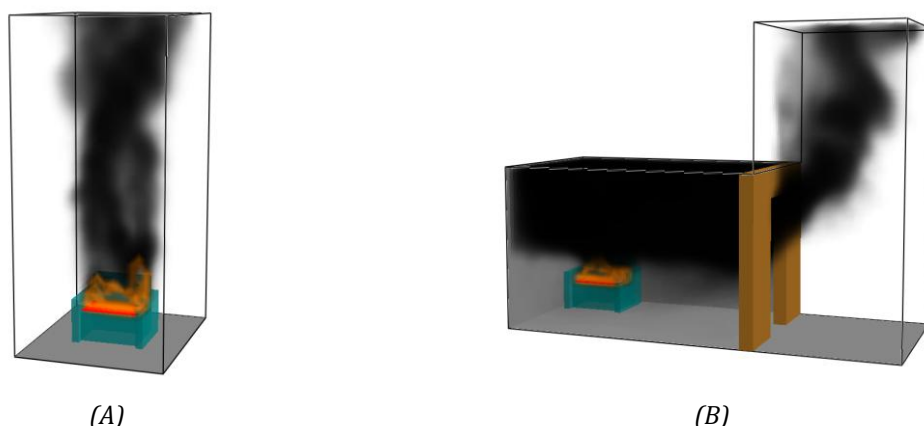


Obr. 1 (A) Rozměry křesílka použitého při zkoušce; (B) Model křesílka v FDS

Fig. 1 (A) Dimensions of armchair used in the fire test; (B) Armchair model in FDS

Jako základní simulace hoření byla zvolena modelace pomocí předepsaného HRR. Na sedák křesílka byla pomocí příkazů VENT a SURF namodelována plocha hoření o předepsaném HRR, jehož hodnoty byly převzaty právě ze zkoušky křesílka. Postupný rozvoj HRR byl do modelu přenes pomocí příkazu RAMP.

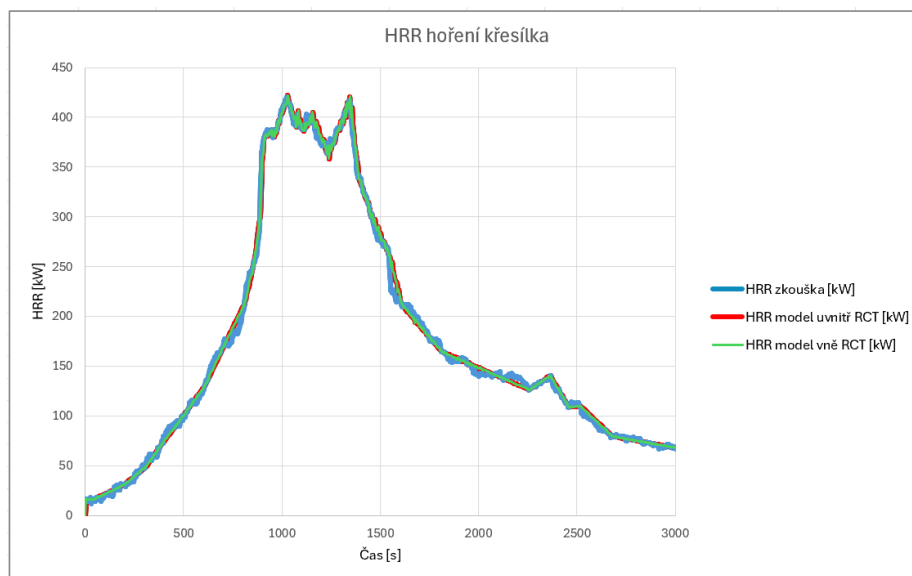
V další fázi byl vytvořen model místnosti RCT. Simulace hoření křesílka byla následně provedena ve dvou variantách a to tak, že jednou bylo křesílko umístěno vně místnosti, tak jak bylo umístěno i během zkoušky a podruhé bylo umístěno do místnosti viz obr 2.



Obr. 2 (A) Umístění křesílka vně RCT ; (B) Umístění křesílka uvnitř RCT

Fig. 2 (A) Armchair placement outside the RCT; (B) Armchair placement inside the RCT

Vyhodnocením a porovnáním obou simulací byly získány dva zásadní poznatky. Prvním je, že výsledky získané ze simulace odpovídají výsledkům získaných při zkoušce. Druhým poznatkem je zjištění, že vliv místnosti na hoření křesílka je zanedbatelný, jelikož hodnoty HRR naměřené pomocí objemového měření příkazem DEVC jsou skoro totožné pro hoření křesílka uvnitř i vně místnosti viz obr 3.



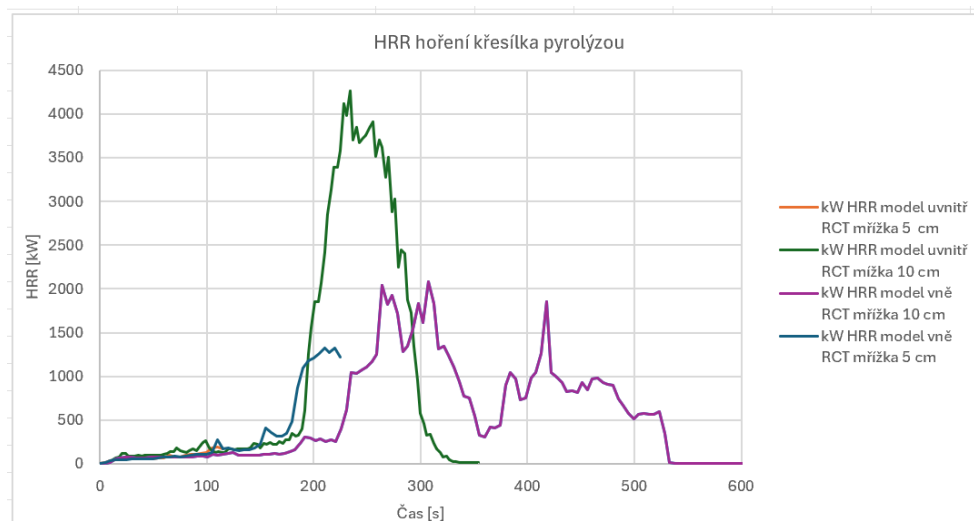
Obr. 3 Graf HRR hoření křesílka simulovaného pomocí předepsaného HRR

Fig. 3 HRR curve of armchair burning simulated using prescribed HRR

V další části této práce bylo zkoumáno modelování hoření pomocí. Proces pyrolýzy je již mnohem pokročilejším a komplexnějším způsobem, jak hoření v programu FDS namodelovat. Křesílko pálené při požární zkoušce se skládalo především z polyuretanové pěnové hmoty, kovové konstrukce a potahu z mikrovlákn. V rámci zjednodušení bylo křesílko vymodelováno pouze z polyuretanu (vlastnosti zadávané do FDS byly následující: $DENSITY = 40$, $CONDUCTIVITY = 0.1$, $SPECIFIC_HEAT = 1.0$).

Po spuštění simulace hoření pomocí pyrolýzy jsou poznatky následující. Hoření křesílka probíhá mnohem rychleji než v případě předepsaného HRR a také dosahuje mnohem vyšších hodnot HRR. Tento jev je způsoben především tím, že nejsou k dispozici přesné materiálové vlastnosti zkoušeného

křesílka, tudíž vlastnosti zadávané do FDS nejsou pro přesný typ polyuretanu. Další vliv hraje zanedbání kovové části křesílka a potahu z mikrovlnná, které při reálné zkoušce mohli zajistit pomalejší průběh hoření. Při zkoušce zjemnění výpočetní sítě z 10 cm na 5 cm, alespoň pro počáteční fáze hoření, nedošlo k zlepšení, naopak u křesílka umístěného uvnitř došlo ještě k rychlejšímu odhořívání než v případě hrubší mřížky viz obr. 4.



Obr. 4 Graf HRR hoření křesílka simulovaného pomocí pyrolýzy

Fig. 4 HRR curve of armchair burning simulated using pyrolysis

ZÁVĚR

Závěrem lze říci, že tato práce přinesla dva základní poznatky. Vliv místnosti na hoření křesílka, při modelaci pomocí předepsaného HRR je zanedbatelný, jelikož naměřené průběhy hodnot HRR uvnitř a vně místnosti se shodují. Druhým poznáním je, že hoření v FDS pomocí pyrolýzy je velmi citlivé na zadané materiálové vlastnosti a je velmi podstatné zadat co nejpřesnější vlastnosti daného materiálu, tudíž podrobnější modelace hoření křesílka bude součástí dalšího poznání.

PODĚKOVÁNÍ

Výchozí zkoušky, ze kterých byla čerpána data pro modely v tomto článku byly součástí projektu realizace projektu BV MV Inovace a rozvoj nástrojů v oblasti zjišťování příčin vzniku požárů VJ01010046.

LITERATURA

- [1] 133/1985 Sb. Zákon o požární ochraně [online]. [vid. 2025-03-19]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1985-133>
- [2] MCGRATTAN, Kevin B, Glenn P FORNEY, Jason E FLOYD a Simo HOSTIKKA. *Fire dynamics simulator (version 2) - user's guide* [online]. NIST IR 6784. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology. 2001 [vid. 2025-03-17]. Dostupné z: doi:10.6028/NIST.IR.6784
- [3] WALD, František, Marek POKORNÝ, Kamila HOROVÁ, Petr HEJTMÁNEK, Hana NAJMANOVÁ, Martin BENÝŠEK, Marta KUREJKOVÁ a Ivo SCHWARZ. *Modelování dynamiky požáru v budovách*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2017. ISBN 978-80-01-05633-2.
- [4] HIETANIEMI, Jukka, Jukka VAARI a Simo HOSTIKKA. *FDS simulation of fire spread: comparison of model results with experimental data*. Espoo, Finland: VTT, 2004. ISBN 978-951-38-6556-6.
- [5] PITTERMANOVÁ, Lucie. *Požární parametry vybraných předmětů zařízení budov*. Praha, 2024. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.

EVAKUACE HETEROGENNÍHO DAVU S OSOBAMI SE SNÍŽENOU MOBILITOU

EVACUATION DYNAMICS OF HETEROGENEOUS CROWD INVOLVING MOBILITY IMPAIRED PEDESTRIANS

Bc. Tereza Verichová

Abstract

The goal of this study is to gain new knowledge in the field of evacuation dynamics of people in a heterogeneous crowd. This article focuses on the evacuation of heterogeneous crowd involving pedestrians with reduced mobility (people in wheelchairs and people with crutches). The article presents a summary of previous experimental research and available information on this topic. Then this article describes a organized experiment its schedule and preliminary results.

Key words: Evacuation; Experiment; Mobility aids; Heterogeneous crowd; Fire safety.

ÚVOD

V současné době lze v České republice (ČR) pozorovat nárůst počtu fyzicky i mentálně postižených osob, což potvrzují data z Českého statistického úřadu v databázi počtu osob se zdravotním postižením z roku 2024. Dle tohoto dokumentu byl v roce 2024 zaznamenán nárůst o 2 % z celkové populace v ČR od roku 2018. V roce 2018 se jednalo o 1 152 000 osob se zdravotním postižením a v roce 2024 počet vzrostl na 1 313 000 osob. Do této skupiny spadají nejen osoby upoutané na invalidní vozík, ale také osoby používající berle, chodítka, ortopedické pomůcky, případně osoby s jiným fyzickým omezením vlivem stárí, obezity nebo například těhotenství. Tato skupina tedy tvoří poměrně velkou část populace s rozdílnými schopnostmi pohybu. Nárůst pohybově postižených je částečně způsoben zlepšující se lékařskou péčí a rozvojem medicínských pomůcek.

Je proto nutné posoudit míru vlivu přítomnosti imobilních osob při mimořádných událostech, jakými jsou například požáry, jelikož přítomnost osob se sníženou mobilitou ve veřejných prostorech průběh evakuace ovlivňuje. Tito jedinci se pohybují pomaleji, často mají jiné trajektorie pohybu a nebo potřebují k evakuaci asistenci dalších osob. Je zřejmé, že tedy i zpomalují celý evakuující se proud, čímž se prodlužuje celková doba potřebná k opuštění prostoru. Z těchto důvodů je nutné, aby se při návrhu evakuačních plánů a požárních a stavebních řešení počítalo i s přítomností těchto osob.

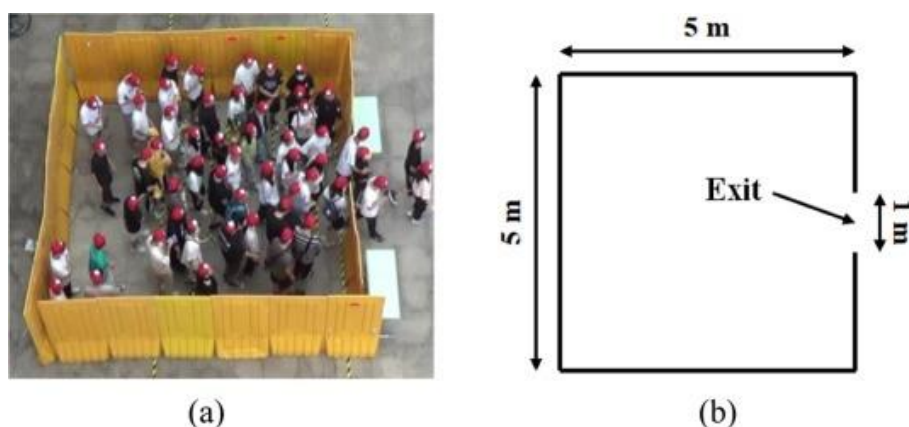
V rámci požárně inženýrského přístupu je možné ověřovat správnost návrhu budov pomocí pokročilých nástrojů jako jsou evakuační modely. Je ale zapotřebí mít k dispozici relevantní vstupní data, která budou do modelu vložena. Ty je možné získat pomocí experimentů. Zprv se jedná o kontrolované laboratorní experimenty s přesnými okrajovými podmínkami a zadruhé experimenty v reálných prostorech. Experimenty mohou být navíc se simulovanými nebo nesimulovanými osobami.

Cílem tohoto výzkumu je získání nových experimentálních dat a uskutečnění experimentu se simulovanými osobami s omezenou schopností pohybu. Konkrétně se jedná o osoby na invalidních vozících a osoby s berlemi. Je zkoumán únik těchto jedinců skrz úzký průchod v heterogenním davu spolu se zdravými lidmi. Experimentální data budou zjišťována na základě pozorování a zpětné analýzy pořízené videodokumentace. Z posuzovaných parametrů se jedná například o trajektorii, půdorysnou plochu, kterou zaujímají osoby v davu, nebo komfortní zóny při různé hustotě a rozložení osob. Dalším z cílů je získání dat ze statického měření samostatně stojících osob, během kterého budou zjištěna antropometrická data účastníků za pomoci technologie hloubkových kamer a ručního měření. Jedná se o půdorysný průmět člověka, 3D hloubkové mapy postavy, výška postavy nebo rozměr v nejširším bodu v oblasti paží.

SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

Pro studium evakuace osob se zdravotním postižením bylo provedeno několik experimentů a měření. Jedním z experimentů zaměřených na evakuaci osob se zdravotním postižením byl kontro-

lovaný experiment z Univerzity Fuzhou v roce 2020 [1]. Primárně zkoumal dynamiku heterogenního davu se simulovanými postižením, dobu evakuace, vliv hustoty davu a trajektorie. Experimentu se zúčastnilo 60 osob a počet postižených se procentuálně měnil při různých bězích (0%, 5% a 10% z celkového počtu účastníků). Osoby byly nepravidelně rozmístěny na ploše 5 m × 5 m (Obr. 1). Hlavní závěry tohoto experimentu se týkaly především trajektorií osob. Bylo zjištěno, že uživatelé invalidních vozíků mají nejpřímější trajektorii, protože nemají schopnost dostatečně manévrovat. Průměrná rychlost během evakuace davu s invalidními vozíky klesá, jelikož při nižší hustotě mají osoby na vozíku tendenci zrychlovat. A dalším důležitým zjištěním bylo i to, že se lokální tok pohybujícího se davu zvyšuje s rostoucí hustotou až do určitého bodu, po kterém začíná klesat.



Obr. 1 Snímek evakuačního experimentu a rozměry místnosti [1]

Fig. 1 A snapshot of the evacuation process and dimensions of the evacuation room [1]

Dalším uskutečněným experimentem, který posuzuje pohybové schopnosti s osobami s pohybovým omezením byl experiment v Pekingu v roce 2009 ve stanici metra Jianguomen [2]. Analyzován byl vliv šířky průchodu na rychlost pohybu. Měření probíhalo horizontálně ale i při sestupu a výstupu po schodech. Experimentu se zúčastnilo 100 s pohybovým omezením (40 osob bez pomůcek, 20 s jednou berlí a 40 se dvěma berlemi). Šířka průchodu byla od 0,9 m do 0,5 m, snižována po 10 cm. Šířka průchodu měla výrazný vliv na pohybovou rychlost, zejména u skupin s berlemi. Při šířce průchodu 0,6 m bylo zpomalení osob s jednou berlí o 16,9 % a se dvěma berlemi o 17,1%.

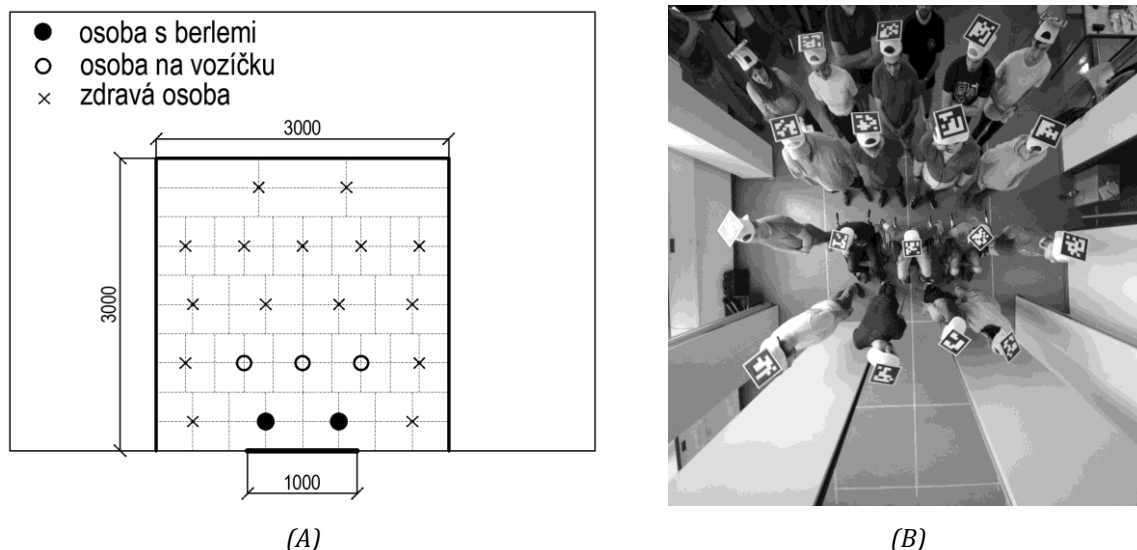
Evakuační dynamiku heterogenního davu s osobami s různými typy postižení (zrakové, sluchové, fyzické, mentální a intelektuální) i s osobami bez postižení zkoumal experiment z roku 2022 z Shenzhen [3]. Cílem bylo pochopit pohybové charakteristiky těchto různých skupin a porovnat je se skupinami seniorů. Jednalo se o 39 osob s postižením (zrakové 7 %, sluchové 24 %, fyzické 1 %, uživatelé vozíků 8 %, mentální postižení 8 % a intelektuální postižení 7 %) a 32 osob bez postižení. Věkové rozmezí bylo od 22 let do 62 let. Účastníci se pohybovali normální rychlostí a měřila se jejich rychlost, vzdálenost od ostatních a hustota. Bylo zjištěno, že nejnižší rychlost vykonaly osoby na vozíčku, naopak nejvyšší osoby s mentálním a intelektuálním postižením. Optimální šířka východu pro vozíčkáře byla stanovena na 1,6 m. Dalším zjištěním bylo, že při stejné hustotě skupiny postižených a seniorů byla rychlost a průtok postižených osob mírně vyšší. Při širších východech byla evakuace plynulejší, zejména pro skupinu s postiženými, maximální specifický průtok této skupiny byl 2,05 (m.s⁻¹).

REALIZOVANÝ EXPERIMENT

V rámci tohoto výzkumu byl navržen a realizován kontrolovaný experiment, který se skládal ze série různých běhů. Měření bylo uspořádáno v zasedacích místnostech A437 a A436 v budově Fakulty stavební ČVUT v Praze 13.5.2025. Záměrem bylo získání experimentálních dat v oblasti dynamiky a evakuace heterogenního davu skrz úzké hrdlo únikové cesty. Technické zabezpečení experimentu zajistila Laboratoř zpracování obrazu (Improlab) FIT ČVUT v Praze. Celý experiment

byl schválen Komisí pro etiku ve výzkumu rady ČVUT v Praze a pořízená data byla získána jako anonymní.

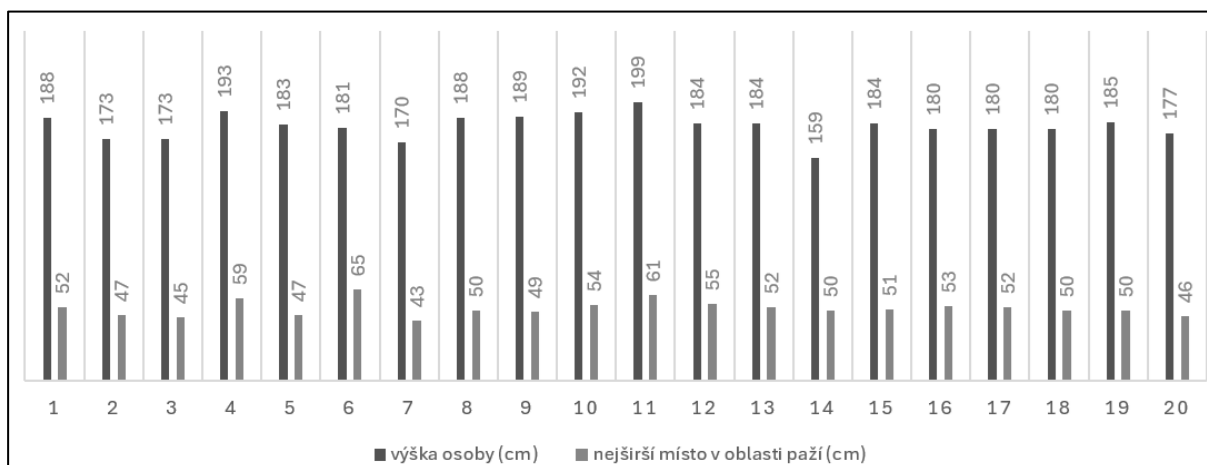
Proběhlo celkem 10 různých běhů, z nichž první a poslední byl bez pohybových pomůcek, aby byl porovnán vliv učení na jedince v experimentu (například jejich výběr trajektorií na začátku a na konci experimentu). V ostatních 8 různých bězích byl zkoumán vliv vozíčkářů a osob o berlech na ostatní zdravé účastníky, jejich trajektorie a plochy zaujímané v prostoru. Jednotlivé běhy se lišily počtem osob s pohybovým omezením a rozmístěním osob na čtverci $3\text{ m} \times 3\text{ m}$ a výchozem o šířce 1 m (Obr. 2).



Obr. 2 (A) Grafický návrh uspořádání jednoho měření; (B) Reálné provedení

Fig. 2 (A) Design of an evacuation arrangement; (B) Real execution

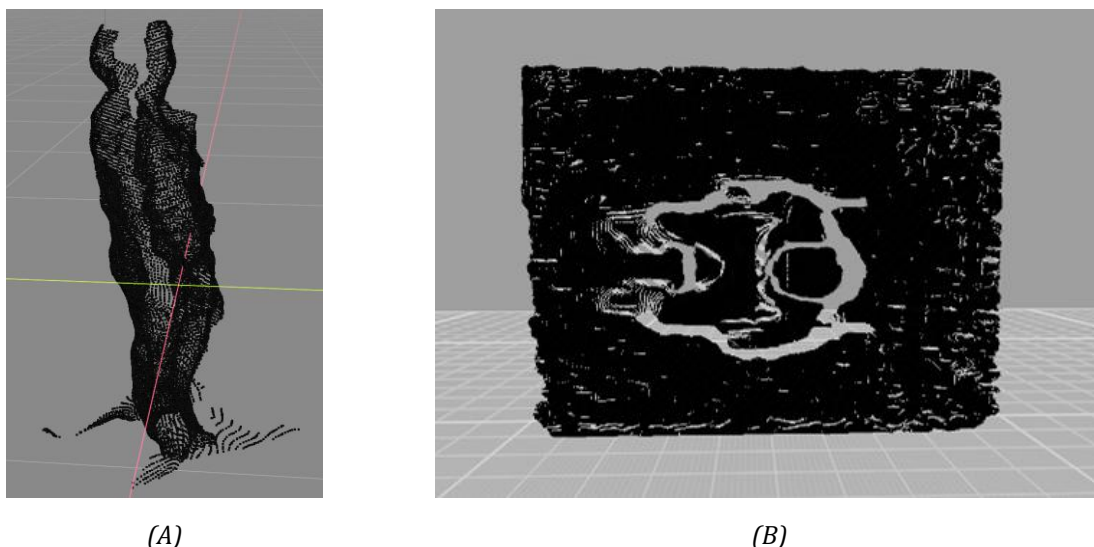
Nejprve proběhlo manuální měření výšky a nejširšího rozměru v oblasti paží všech účastníků. Výsledky z měření jsou patrné z grafu (Obr. 3). Průměrná výška účastníka byla $182,1\text{ cm}$ a průměrný nejširší rozměr v oblasti paží byl $51,6\text{ cm}$.



Obr. 3 Změřené hodnoty (výška osoby a nejširší místo v oblasti paží)

Fig. 3 Measured values (the height of the person and the widest point of the arm)

Poté byly osoby označeny unikátními aruco kódy, které byly využity při natáčení davu kamerou seshora při průchodu úzkým hrdlem. V programu budou poté nahrazeny body a změřenými konkrétními půdorysnými plochami osob. Tyto plochy jsou získány z hloubkových kamer při samostatném statickém měření jednotlivců. Tato technologie zachycuje třírozměrné mračno bodů, vykresluje figuru člověka (Obr. 4 A) a umožňuje změřit jeho půdorysný průmět (Obr. 4 B).



Obr. 4 (A) Třírozměrné mračno bodů z hloubkových kamer;
(B) Půdorysný průmět osoby na invalidním vozíčku

Fig. 4 (A) Three-dimensional point cloud from depth cameras;
(B) Plan projection of a person in a wheelchair

Celkem se experimentu zúčastnilo 20 zdravých osob ve věkovém rozmezí 20 až 27 let. Jednalo se převážně o studenty FSv ČVUT. Šest osob simulovalo pohybové omezení (3 s invalidním vozíkem a tři s berlemi), přičemž v jednom běhu se vyskytovaly buď tři invalidní vozíky a dvoje berle a nebo dva invalidní vozíky a troje berle.

ZÁVĚR

Hlavním cílem tohoto výzkumu je získání nových experimentálních dat pro zkoumání pohybového experimentu s vozíčkáři a lidmi s berlemi. Soubor dat může být využit k dalším výzkumům a validaci evakuačních modelů, např. v programu Pathfinder. Zjištěné výsledky mohou sloužit i k dalšímu porovnání s již proběhlými experimenty v této oblasti.

LITERATURA

- [1] Fu, Libi, Huigui Qin, Qingxin Shi, Ying Zhang, a Yongqian Shi. „An experimental study on evacuation dynamics including individuals with simulated disabilities“. *Safety Science* 155 (1. listopad 2022): 105878.
- [2] Jiang, C. S., S. Z. Zheng, F. Yuan, H. J. Jia, Z. N. Zhan, a J. J. Wang. „Experimental assessment on the moving capabilities of mobility-impaired disabled“. *Safety Science*, First International Symposium on Mine Safety Science and Engineering 2011, 50, č. 4 (1. duben 2012): 974–85.
- [3] You, Yayun, Rui Ye, Zhiming Fang, Xiangxia Ren, Shaocong Xie, Peng Huang, Liping Yu, Tao Yu, a Jiamu Yan. „Evacuation dynamics of heterogeneous crowds involving individuals with different types of disabilities“. *Safety Science* 168 (2023): 106297.

TEPELNÁ STABILITA A MECHANICKÉ VLASTNOSTI LC3 POJIV S KALCINOVANÝM KAOLINITO-ILITICKÝM JÍLEM

THERMAL STABILITY AND MECHANICAL PROPERTIES OF LC3 BINDERS WITH CALCINED KAOLINITIC-ILLITIC CLAY

Romana Vaníčková

Abstract

This study explores the potential of a calcined kaolinite-illite clay in LC3-type binders with the aim of assessing the material's thermal resistance. After designing and characterizing the binder compositions, simultaneous thermal analysis (STA) was used to identify critical temperature ranges of phase transformations. Three key regions were detected: 50–300 °C (dehydration), 400–500 °C (Portlandite decomposition), and 650–750 °C (CaCO_3 decarbonation). Between these, the material remained thermally stable. Based on this, 400, 600, and 1000 °C were selected as target temperatures for future heat exposure tests. The presented results form the basis for further investigation of the high-temperature behavior of this alternative cementitious system.

Key words: Limestone Calcined Clay Cement; Sustainable building materials; Alternative binders; Elevated temperature; Residual properties

ÚVOD

Stavebnictví patří k největším producentům skleníkových plynů, přičemž samotná výroba portlandského cementu, základní složky většiny betonových směsí, se na globálních emisích CO_2 podílí přibližně ze 4–8 % [1,2]. Vysoké emise jsou způsobeny zejména výrobou slínku, která probíhá při cca 1450 °C a představuje tak energeticky nejnáročnější fázi procesu. V kontextu snahy o dosažení cílů udržitelného rozvoje je proto nezbytné hledat alternativní pojiva, která by umožnila snížit klimatickou stopu a současně využívala dostupnější suroviny.

Jednou z nadějných alternativ je tzv. LC3 cement (Limestone Calcined Clay Cement), jehož princip spočívá v částečné náhradě portlandského slínku kombinací kalcinovaného jílu a vápence. Díky synergii vápence a kalcinovaného jílu lze snížit množství slínku ve směsi až o polovinu, aniž by došlo ke zhoršení mechanických vlastností. Tím lze dle studií snížit emisní stopu až o 40 % oproti běžnému portlandskému cementu [3].

Dosavadní výzkum LC3 cementu se zaměřuje především na použití vysoce reaktivního metakaolinu, který se díky své vysoké reaktivitě jeví jako ideální surovina. Jeho širší využití však může být omezeno dostupností, protože kvalitní kaolinitické jíly nacházejí uplatnění i v jiných průmyslových odvětvích. Naproti tomu směsné jíly, jako je ilito-kaolinitový jíl, jsou výrazně dostupnější. Tato práce se zaměřuje na využití alternativního ilito-kaolinitového jílu – méně čisté, ale dostupnější suroviny – jako součásti LC3 cementového systému.

EXPERIMENTÁLNÍ METODY

Pro prvkové složení materiálů byla využita rentgen-fluorescenční spektrometrie (XRF). Fázové složení, tedy zastoupení krystalických a amorfních složek, bylo analyzováno rentgenovou difrakční analýzou (XRD) na zařízení Aeris (Malvern Panalytical) a dále kvantitativně vyhodnoceno pomocí Rietveldovy metody v programu Profex 5.4.1. Pro vyhodnocení tepelné stability a rozkladných procesů výsledných směsí byla použita termogravimetrická analýza (TGA) na přístroji STA 449 F5 Jupiter (NETZSCH). Vzorky byly zahřívány v argonové atmosféře rychlostí 10 °C/min až do 1000 °C. Tato metoda umožňuje sledovat změny hmotnosti v závislosti na teplotě a určit tepelné oblasti, ve kterých dochází k významným fázovým přeměnám.

Hustota matrice byla stanovena pomocí heliového pyknometru ATC EVO (Thermo Fisher Scientific). Měrný povrch byl určen na základě Blaineovy metody s použitím přístroje UTCM-0280 (UTEST). Mechanické vlastnosti připravených cementových kompozitů byly hodnoceny pomocí pevnostních zkoušek. K testování byl použit lis ED60 s příslušným rámovým přípravkem (ELE International). Vzhledem k tomu, že směsi neobsahovaly kamenivo, byly použity menší vzorky

(100 × 20 × 20 mm), aby se minimalizovalo riziko vzniku trhlin v důsledku smršťování. Samotný postup měření vycházel z normy ČSN EN 1015-11 [4], s výjimkou upravených rozměrů vzorků. Před zkouškou byly vzorky zváženy a změřeny za účelem výpočtu jejich objemové hmotnosti.

POUŽITÉ MATERIÁLY

Pro aktivaci pucolánových vlastností byl jí (Keramost, W-II) nejprve tepelně upraven kalcinací při teplotě 600 °C (rychlost ohřevu 10 °C/min, výdrž 3 h). Tento proces způsobuje dehydroxylaci jílových minerálů a jejich přeměnu do amorfnní struktury s výrazně vyšší reaktivitou. Tab. 1 uvádí fázové složení jílu před kalcinací (KW) a po kalcinaci (KW-600), ze kterého je patrný výrazný pokles obsahu krystalického kaolinitu ze 65,7 % na 5,0 % a illitu/slída z 18,7 % na 4,7 %, a současný nárůst amorfnní fáze na 84,0 %. Vznik amorfnní složky je považován za klíčový předpoklad pro pucolánové reakce.

Doprovodné změny fyzikálních vlastností jsou shrnuty v Tab. 2. Po kalcinaci došlo k mírnému poklesu objemové hmotnosti, což souvisí s uvolněním strukturálně vázané vody během dehydroxylace. Výrazný nárůst měrného povrchu (z 3428 na 6713 cm²·g⁻¹) je důsledkem rozrušení krystalické struktury a vzniku členitějšího, poréznějšího povrchu. Zvětšení středního průměru částic (D₅₀) může být naopak způsobeno částečnou aglomerací jemných částic během kalcinace.

Tab. 1 - Mineralogické složení jílu

Tab. 1 – Mineralogical composition of clays

Fáze	KW	KW-600
kaolinit	65,7 %	5,0 %
illit/slída	18,7 %	4,7 %
vermikulit	0,3 %	0,0 %
křemen	3,8 %	5,0 %
anatas	1,7 %	1,4 %
amorfnní fáze	9,8 %	84,0 %

Tab. 2 – Fyzikální charakteristika surovin

Tab. 2 – Physical properties of raw materials

Surovina	Hustota [kg m ⁻³]	Měrný povrch [cm ² g ⁻¹]	D50 [μm]
KW	2511	3428	5,6
KW-600	2499	6713	14,53
PC	3035	4772	8,982

SLOŽENÍ SMĚSÍ A PŘÍPRAVA VZORKŮ

Základní referenční směs (REF) byla připravena z portlandského cementu CEM I 42,5R (Česko-moravský cement, a. s., závod Mokrý) bez příměsí, s vodním součinitelem w/b = 0,33. Experimentální směsi označené jako LC3-20-P, LC3-30-P a LC3-40-P byly navrženy tak, aby 20 %, 30 % a 40 % hmotnosti pojiva tvořil kalcinovaný ilito-kaolinitový jíl (KW-600). Zbývající podíl pojiva byl tvořen cementem, dále bylo do směsí přidáno 15 % vápence a 5 % sádrovce (Tab.3). Pro zajištění srovnatelné zpracovatelnosti byly směsi navrženy tak, aby dosahovaly stejného rozlivu (160/160 mm), čemuž bylo přizpůsobeno množství použité vody.

Vzorky byly připraveny jako cementové pasty (bez kameniva) a odlévány do forem o rozměrech 20 mm × 20 mm × 100 mm. Z každé směsi byly vyrobeny tři vzorky, které byly vytvrzovány po dobu 28 dní v klimatické komoře při teplotě 20 °C a relativní vlhkosti 80 %.

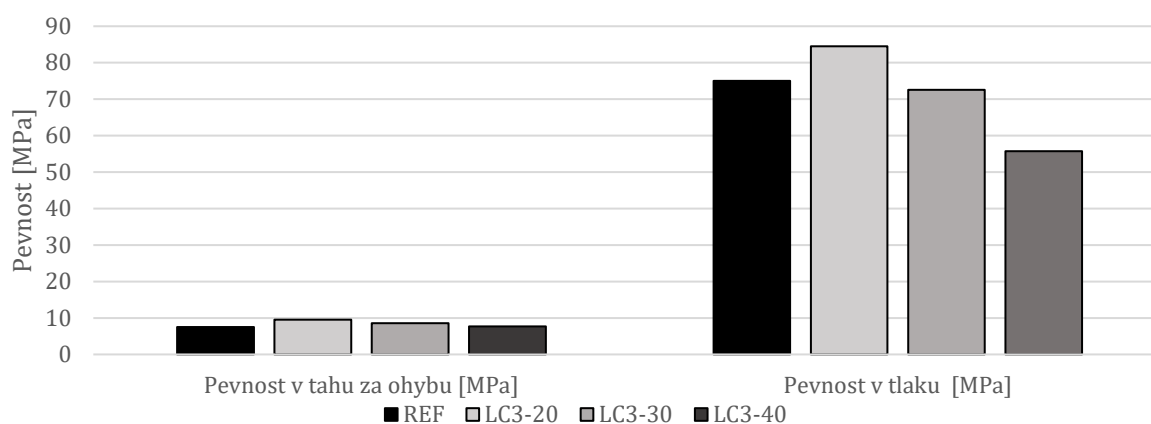
Tab. 3 - Složení cementových past

Tab. 3 - Composition of cement pastes

Směs	KW-600		Cement		Sádrovec		Vápenec		w/b
REF	0 %	-	100 %	400	0 %	-	0 %	-	0,33
LC3-20-P	20 %	88	60 %	264	5 %	22	15 %	66	0,53
LC3-30-P	30 %	132	50 %	220	5 %	22	15 %	66	0,58
LC3-40-P	40 %	176	40 %	176	5 %	22	15 %	66	0,50

VÝSLEDKY

Výsledky pevnostních zkoušek po 28 dnech (Obr.1) ukázaly, že směsi s částečnou náhradou cementu kalcinovaným jílem a vápencem dosahovaly srovnatelných nebo i vyšších hodnot pevnosti v tahu za ohybu než referenční směs se 100% obsahem portlandského cementu. Nejvyšší pevnosti v tahu i tlaku dosáhla směs LC3-20, která dosáhla 84,5 MPa pevnosti v tlaku. Při vyšším poměru náhrady však docházelo k poklesu mechanických vlastností – u směsi LC3-40 byla zaznamenána nejnižší pevnost v tlaku (55,7 MPa).

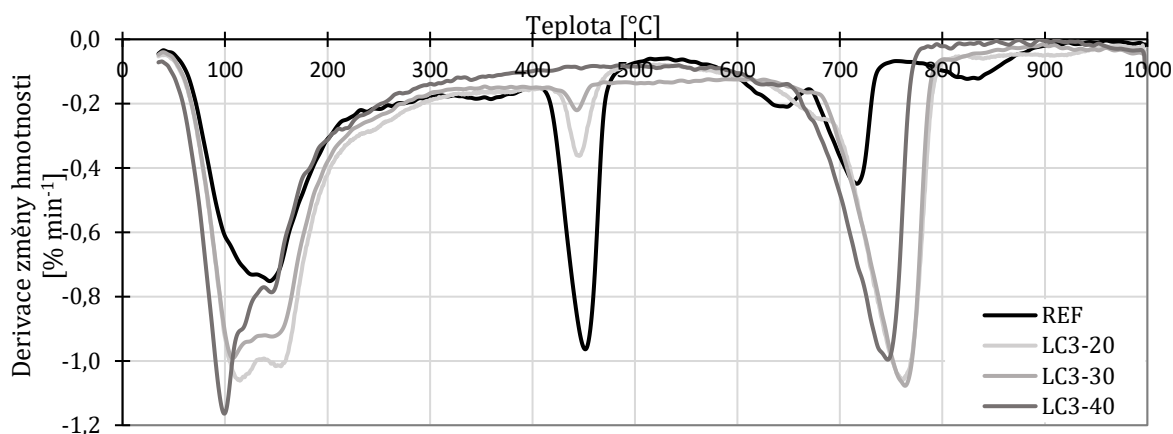


Obr. 1 Mechanické vlastnosti

Fig. 1 Mechanical properties

Při měření STA (Obr. 2) lze dle předpokladu pozorovat tři hlavní oblasti, ve kterých dochází k výrazným hmotnostním změnám. První oblast, přibližně mezi 50–300 °C, odpovídá dehydrataci hydratačních produktů, jako jsou C-S-H a C-A-S-H gely, C-A-H fáze a sulfoaluminátové hydrátové fáze typu Aft a AFm. U LC3 směsí je tento úbytek výraznější než u referenční směsi, což potvrzuje vyšší obsah hydratačních produktů a intenzivnější průběh pozolanických reakcí.

Druhá výrazná oblast se nachází mezi 400–500 °C a odpovídá rozkladu portlanditu (Ca(OH)_2), běžného produktu hydratace portlandského cementu. Referenční směs obsahující výhradně portlandský cement zde vykazuje dominantní špičku, zatímco směsi LC3 mají tuto křivku znatelně plošší. To ukazuje na nižší obsah volného portlanditu v systému LC3, což je důsledek pucolánové reakce mezi kalcinovaným jílem a hydroxidem vápenatým. Během této reakce vznikají nové, stabilní hydratační fáze typu C-A-S-H, které zpevňují mikrostrukturu.



Obr. 2 DTG křivky cementových past

Fig. 2 DTG curves of cement pastes

Třetí oblast hmotnostních změn se pohybuje mezi 650–800 $^{\circ}\text{C}$ a souvisí s dekarbonací, tedy rozkladem CaCO_3 . Směsi LC3 vykazují vyšší úbytky hmotnosti v tomto pásmu, protože obsahují přidáný vápenec. Ten v systému nefunguje pouze jako plnivo, ale také jako reaktivní složka – podporuje tvorbu karboaluminátových hydrátů, které přispívají k zahuštění matrice.

ZÁVĚR

V této práci byl zkoumán potenciál alternativního cementového systému LC3 na bázi kalcinovaného ilito-kaolinitového jílu a vápence jako částečné náhrady portlandského cementu. Výsledky pevnostních zkoušek potvrdily, že správně navržené směsi mohou dosahovat srovnatelných nebo i vyšších mechanických vlastností ve srovnání s referenčním materiálem, přičemž směs s 20% náhradou slínku vykazovala nejlepší výsledky. Směs s 30% náhradou dosahovala srovnatelných hodnot pevnosti jako referenční portlandský cement.

Termická analýza pak umožnila identifikovat tři hlavní teplotní oblasti, ve kterých dochází k významným mikrostrukturálním přeměnám: 50–300 $^{\circ}\text{C}$, 400–500 $^{\circ}\text{C}$ a 650–800 $^{\circ}\text{C}$. Mezi těmito oblastmi byly identifikovány pásma relativní teplotní stability, v nichž systém vykazuje minimální změny. Na základě těchto poznatků byly vybrány tři charakteristické teploty – 400, 600 a 1000 $^{\circ}\text{C}$ – jako referenční úrovně pro následnou tepelnou expozici vzorků.

Tato práce tak představuje přípravnou fázi k navazujícímu výzkumu, jehož cílem bude v rámci diplomové práce detailně sledovat změny probíhající mezi jednotlivými transformačními oblastmi a lépe porozumět chování LC3 kompozitů za vysokých teplot.

LITERATURA

- [1] BENHELAL, Emad, Gholamreza ZAHEDI, Ezzatollah SHAMSAEI a Alireza BAHADORI. Global strategies and potentials to curb CO2 emissions in cement industry. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2013, ISSN 0959-6526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2012.10.049
- [2] SUPRIYA, R. CHAUDHURY, U. SHARMA, P. C. THAPLIYAL a L. P. SINGH. Low-CO2 emission strategies to achieve net zero target in cement sector. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2023, ISSN 0959-6526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2023.137466
- [3] AVET, François a Karen SCRIVENER. Investigation of the calcined kaolinite content on the hydration of Limestone Calcined Clay Cement (LC3). *Cement and Concrete Research* [online]. 2018, ISSN 00088846. Dostupné z: doi:10.1016/j.cemconres.2018.02.016
- [4] ČSN EN 1015-11 (722400) 2020

VLIV VLHKOSTI NA POŽÁRNĚ DEGRADOVANÝ SÁDROKARTON**THE EFFECT OF MOISTURE ON FIRE-DEGRADED PLASTERBOARD****Bc. Tomáš Macháček****Abstract**

This article addresses the issue of the effect of moisture on the characteristic manifestations of plasterboard. It first summarizes the processes of plasterboard in fire. It then highlights the influence of fire-fighting water. Second, it describes an experiment carried out in which fire-degraded plasterboard samples were exposed to water. Their subsequent natural drying was also measured.

Key words: plasterboard; calcination; moisture; absorption; desiccation

ÚVOD

Ruku v ruce s nárůstem trendů rychlé suché výstavby narůstá i obliba sádrokartonových konstrukcí. Od přelomu tisíciletí, kdy se v České republice vyrobila první sádrokartonová deska, se zastoupení sádrokartonu v novostavbách, ale i rekonstrukcích, několikanásobně zvětšilo. Požár si však nevybírá, díky tomu je sádrokarton přítomen stále na více a více požářištích. Je tak i důležitější prozkoumat a pochopit jeho chování při zvýšených teplotách, následný vliv hasební vody, nebo možnosti jeho recyklace. [1]

KALCINACE SÁDROKARTONU

Charakteristickým projevem sádrokartonu při požáru, který požární vyšetřovatel může sledovat a měřit, a který mu může pomoci zjistit příčinu vzniku požáru, je kalcinace. Jedná se o chemicko-fyzikální proces, při kterém se vlivem teploty odpařuje volná i chemicky vázaná voda ze sádry (hemihydrát síranu vápenatého). K tomu začne docházet při dosažení 100 °C. Po překročení 200 °C je již všechna voda vypařena a z látky se tak stává anhydrit. V poslední fázi zvyšování zahřívání se mění krystalická mřížka anhydritu. Kompletní transformace se ustálí při překročení teploty nad 800 °C.

Tento teplotní proces je doprovázený změnami fyzikálních vlastností sádrokartonu. Tak, jak je materiál vystavován teplu a vysoušen, ztrácí postupně svou tvrdost a soudržnost. Nepožární desky se stávají křehkými. Vlivem vysoušení dochází i k mírnému smršťování materiálu, následkem kterého vznikají trhliny. Aby požární deska vyhověla všem požadovaným mezním stavům, přidávají se do jejího jádra především skelná vlákna. Jejich přítomnost zvyšuje soudržnost a omezuje vznik trhlin. Ve výsledku díky heterogenitě materiálu je dosaženo i větší pevnosti. [2]

VLIV HASEBNÍ VODY

Voda, která byla vlivem požáru ze sádrokartonu odpařena, může být protipožárním zásahem opět snadno dodána. Schopnost anhydridu vázat vodu zpátky do své struktury je totiž velká. Taktika zásahu hasičů v dnešní době už je ale propracovanější a s vodou neplýtvá. Naopak ji využívá účelně a cíleně tak, aby nezmáčela hasiče nebo nepoškodila další části objektu, které lze zachránit.

Při přímém zásahu desky tlakovou vodou dojde k jejímu kompletnímu zničení. Když po desce bude voda stékat nebo na ni bude pouze prýštit, k mechanickému poškození nedojde. Voda se do vysušené desky začne vsakovat. Důsledkem toho se částečně znehodnotí důkazy pro požární vyšetřovatele, které ale nejsou ztraceny úplně. Při odebrání vzorků a jejich opětovném vysušení lze opět míru kalcinace efektivně změřit. [3, 4]

SADA VZORKŮ

Pro odběr vzorků sádrokartonu byl sestaven zkušební rám o rozměrech 1 250 mm × 1 000 mm a tloušťce 112,5 mm opláštěný rozpůleným dvojzáklepem tloušťky 2×12,5 mm. Na jedné polovině byla použita obyčejná stavební deska Rigips RB (A). Druhá polovina byla zaklopena protipožární deskou Rigips RF (DF), viz obr. 1 (A). Rám byl vystaven účinkům teplotní normové křivky ISO 834 po dobu 20 minut v peci MiniFUR. Po samovolném zchladnutí byly odebrány 3 vzorky z 1. expozované vrstvy z obou sádrokartonových desek.

Kvůli rozdílnému složení a struktuře desek byly vzorky odebírány různými způsoby. Zatímco z obyčejné desky stačilo jednotlivé kousky sádrokartonu opatrně vylomit. Vzorky z protipožární desky byly vyřezány vykružovací korunkou o průměru 7 cm. Díky tomu jsou vzorky z protipožární desky stejně velké a stejně těžké. Oproti tomu vzorky z nepožární desky mají různou počáteční hmotnost.



(A)



(B)

Obr. 1 (A) Zkušební rám opláštěný dvojitým záklopem nepožární a požární SDK deskou
(B) Základní vybavení pro rovnoměrné vystavování vzorků vlhkosti

Fig. 1 (A) Test frame sheathed with non-fire-resistant and fire-resistant plasterboard
(B) Basic equipment for uniform exposure of moisture samples

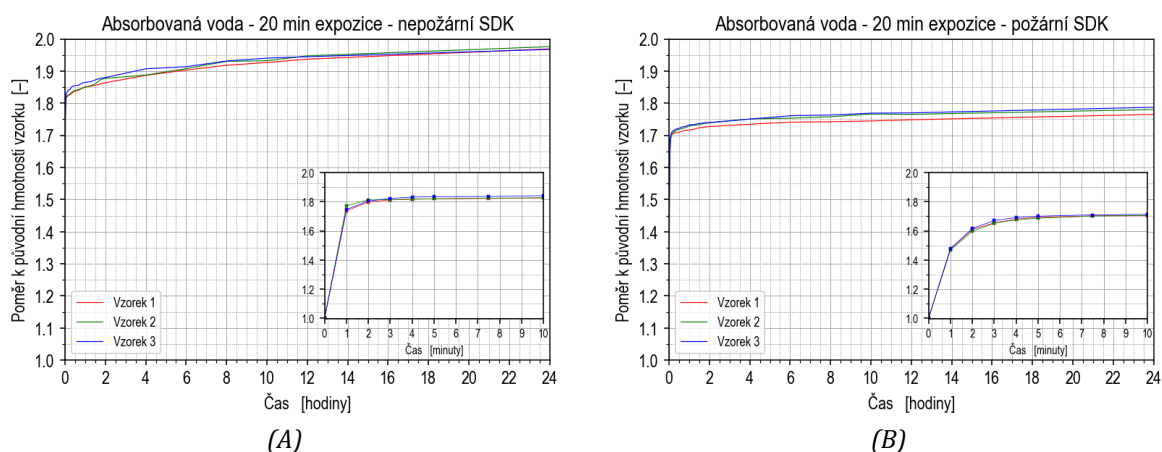
ZREALIZOVANÁ ZKOUŠKA

Zkouška proběhla na sadě 6 výše popsaných vzorcích, které byly vystaveny rovnoměrnému vlivu vody po dobu 24 hodin. Jednotlivé kusy sádrokartonu byly položeny na plně nasycené syntetické houbičky ponořené po okraj do nádoby s vodou, viz obr. 1 (B). Každý vzorek byl pravidelně vážen na laboratorních vahách v předem určených intervalech, které byly stanoveny na základě zkušebního testu. V prvních 5 minutách byly vzorky měřeny každou minutu. Následně se interval prodlužoval až na dobu 2 hodin. Předposlední měření proběhlo po 12 hodinách od položení vzorečku na houbu, a to úplně poslední po 24 hodinách. Výsledky této fáze jsou zřejmé z obr. 2.

Po posledním měření byly pravidelně vykroužené vzorky z požární desky oblepeny izolepou kolem dokola a zespodu. U vzorků z nepožární desky, díky svým nepravidelným tvarům, toto provést nešlo. Byly tak alespoň izolepou podlepeny. Tyto kroky byly podniknuty ve snaze docílit pouze 2D odparu z přední strany vzorků, tak jako by tomu bylo ve skutečnosti v ploše desky. Měření probíhalo 6 dnů, po kterých se stal sledovaný hmotností úbytek téměř neměřitelným, viz obr. 3.

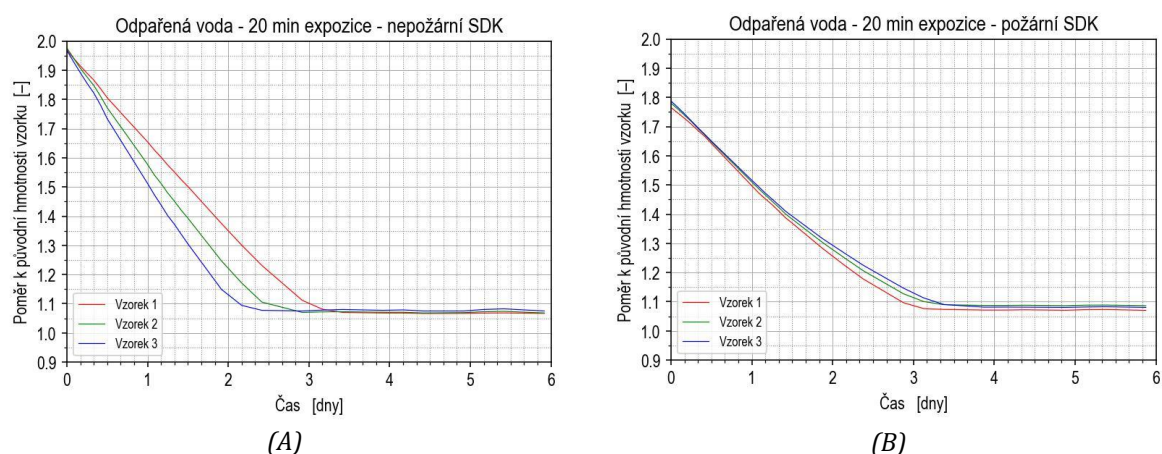
Cílem zkoušky nebylo simulovat vliv tlakové vody, ani vystavit vzorek omezenému množství hasební vody tak, jako by tomu bylo v reálném prostředí. Naopak nás zajímala schopnost absorpce a evaporace vody sádrokartonem, její rychlost a vliv nasycení na tvrdost materiálu. Tato laboratorní zkouška byla vybrána na základě neexistujícího dostupného poznání chování požárně degradovaného sádrokartonu a vlivu vody, a také pro složitost a náročnost měření větších vzorků.

Současně se zkoušením požárně degradovaných vzorků probíhalo i měření na první pohled nedegradovaných vzorků sádrokartonu. Tyto vzorky se však následně ukázaly také jako částečně tepelně zdegradované. Výsledky z jejich měření tak nejsou zcela reprezentativní. Budou publikovány v plánovaném druhém kole zkoušky.



Obr. 2 Graf poměru hmotnosti absorbované vody k počáteční hmotnosti vzorku
(A) nepožární desky (B) požární desky v čase

Fig. 2 Graph of the ratio of the mass of water absorbed to the initial mass of the sample
(A) nonFR board (B) FR board over time



Obr. 3 Graf poměru hmotnosti odpařené vody k počáteční hmotnosti vzorku
(A) nepožární desky (B) požární desky v čase

Fig. 3 Graph of the ratio of the mass of water evaporated to the initial mass of the sample
(A) nonFR board (B) FR board over time

VYHODNOCENÍ

Schopnost absorbovat vodu je vázána na chemické složení jednotlivých desek. Čím více je v jádře obsažena sádra, tím lépe a rychleji deska vodu přijímá. V případě nepožární desky, kde se prakticky nenachází nic jiného než sádra, je nárůst hmotnosti zhruba o 20% větší než u požární desky, která obsahuje různé příměsi, především skelná vlákna.

Z grafů je také patrné, že k nejdramatičtějšmu nárůstu hmotnosti dochází v prvních několika minutách po vystavení vzorků vodě. Následně dochází k postupnému zpomalování příbytku, až se dosáhne bodu plného nasycení.

Vysychání je vázáno především na počáteční velikost vzorku. Z požární desky byly vzorky vyřezávány. Díky tomu bylo docíleno stejných rozměrů a podobných průběhů odpařování vody. Zatímco odlamované vzorečky z nepožární desky se rozměrově na počátku neshodovaly. Lze tedy vyčíst, že nejmenší vzorek 3 se vody zbavil o více než 24 hodin dříve než největší vzorek 1.

Z naměřených hodnot lze vysledovat i účinnost izolepového obalu vzorů, který byl aplikován, aby bylo dosaženo pouze plošného odparu, tak jako by tomu bylo u skutečné desky ve stěně nebo stropu. Vykroužené vzorečky z požární desky šlo snadno oblepit zespodu i ze stran. Zatímco odpar u nepravidelných vzorků z nepožární desky, které byly podlepeny pouze zespodu, je rychlejší.

ZÁVĚR

Provedený experiment, zaměřený na zjištění schopností absorpce a evaporace sádrokartonu a jejich rychlosti, přinesl nad očekávání dobrá data. Všechny vzorečky se chovali logicky a přinesly nám základní poznání pro další plánované zkoušky. Vystavení vzorků sádrokartonu vodnímu prostředí se ukázalo jako smysluplné.

Společně se zkouškou požárně zdegradovaného sádrokartonu probíhalo i měření zdravých vzorků, které nebyly vystaveny vlivu požáru v požární peci. Jejich chování vykazuje jisté rozdíly. Tím nejzásadnějším je pomalejší a menší nasákavost. Výsledky a detailní porovnání obou materiálů bude jedním z výstupů diplomové práce.

PODĚKOVÁNÍ

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

LITERATURA

- [1] Sádrokarton se v Česku vyrábí již 25 let. Cihlu dohnal a překonal. *TZB-info* [online]. [vid. 2025-05-07]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/stavebni-desky/26836-sadrokarton-se-v-cesku-vyrabi-jiz-25-let-cihlu-dohnal-a-prekonal>
- [2] LUBOŠ SVOBODA A KOLEKTIV. Stavební hmoty [online]. 2018. Dostupné z: <https://k123.fsv.cvut.cz/media/subjects/files/123SH01/kniha-stavebni-hmoty.pdf>
- [3] Lokalizace kriminalistického ohniska pomocí metody měření hloubky kalcinace sádrokartonových desek. *TZB-info* [online]. [vid. 2025-03-13]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/16873-lokalizace-kriminalistickeho-ohniska-pomoci-metody-mereni-hloubky-kalcinace-sadrokartonovych-desek>
- [4] MEALY, Christopher L. a Daniel T. GOTTUK. A STUDY OF CALCINATION OF GYPSUM WALL-BOARD. In: *ISFI 2012: Proceedings of the 5th International Symposium on Fire Investigation Science and Technology*. B.m.: National Association of Fire Investigators, International, nedatováno.

TENKOSTĚNNÉ KOVÁNÍ VE SPOJÍCH DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ ZA ZVÝŠENÉ TEPLoty

THIN-WALLED FITTINGS IN JOINTS OF TIMBER STRUCTURES AT ELEVATED TEMPERATURES

Bc. Karolína Dufková

Abstract

The seminar paper deals with a structural analysis of concealed timber-to-timber joints with metal connectors used in timber constructions, focusing on the thermal behavior of thin-walled metal connectors under elevated temperatures. The main investigated factor is the influence of the timber member width on the resulting fire resistance of the joint. The work is focused on ALUMINI angle bracket – with the aim of determining whether selected configurations can achieve fire resistance of 15, 30, 45 minutes or more. A numerical model will be done in ANSYS using timber beams of various cross-sections

Key words: fasteners; heat transfer; numerical modelling; wood; fire.

ÚVOD

Spolehlivost konstrukcí za požáru je jedním ze základních požadavků při navrhování stanovování požární bezpečnosti staveb. Pro běžné posuzování konstrukcí při byla po roce 2004 postupně přijata první generace Eurokódů. Konstrukce, a především jejich spoje se neustále vyvíjejí. Současný výzkum se snaží popsat detailněji chování dřevěných konstrukcí, ale také skrytých spojů při požáru.

S rostoucí popularitou dřevěných konstrukcí, v České republice například chystané normativní zvýšení výškových limitů pro dřevostavby, je nutné věnovat zvýšenou pozornost nejen dřevěným prvkům, ale také jejich spojům, které tvoří kritická místa z hlediska únosnosti nejen při požáru. Především dřevěné spoje s mechanickými kovovými spojovacími prostředky, mohou při požáru vykazovat snížení únosnosti, ovlivněné zejména redukcí meze kluzu oceli a postupným odhoříváním dřeva.

Skryté spoje významně ovlivňují celkovou požární odolnost dřevěné konstrukce. Tento typ spoje je před účinky požáru chráněn vrstvou dřeva, která při požáru vytváří ochrannou teplotní bariéru [1]. Dosavadní výzkum [2-11] se často zaměřuje na běžně používané povrchové úhelníky nebo šroubové spoje, přičemž méně obvyklé zapuštěné typy, jako jsou skryté úhelníky nebo rybinové spoje, zůstávají méně prozkoumány.

Tento článek se zaměřuje na chování tenkostěnných kovových prvků ve skrytých spoích dřevěných prvků při zvýšené teplotě. Cílem je určit, jak ovlivňuje šířka dřevěného prvku a hloubka uložení kovového prvku ve dřevě výslednou požární odolnost spoje.

SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

Pro určení spolehlivosti konstrukcí při požáru se v rámci normového postupu používají Eurokódy, které za tímto účelem byly vydány. V rámci návrhu je nutné zohlednit, jestli konstrukce je vystavena modelu požáru podle normové teplotní křivky, která zohledňuje pouze požární zatížení a je vhodná pro zkušebnictví, nebo podle parametrické teplotní křivky, která zohledňuje pohltivost konstrukcí nebo vliv odvětrání posuzovaného prostoru. Postupy pro výpočet zatížení působící na konstrukci při požáru je uveden v [2]. V případech, kdy se konstrukce skládají z kovových prvků, a není možné stanovit únosnost spoje přímo podle Eurokódu 5 [3], je nutné zkombinovat návrh jejich chování za zvýšené teploty s dle Eurokódu 3 [4]. Vzhledem k prvku ALUMINI 95, který je z hliníku a je v řešeném příkladě tohoto příspěvku, je vhodné zmínit také Eurokód 9 [5] který řeší chování hliníkových konstrukcí za požáru. Pro správný návrh a dimenzování spojů je zásadní porozumět jejich chování i chování použitých spojovacích prvků, a to pomocí numerického modelování či experimentálních metod. [1]

Podobnou problematikou se zabývá paní Fonseca a kol. v mnoha svých pracích a věnuje se analýze chování dřevěných spojů s ocelovými spojovacími prostředky za požáru, přičemž kombinuje numerické modelování s experimentálními metodami a zaměřuje se především na přestup tepla v oblasti spojovacích prvků, jejich srovnávání, vliv hustoty dřeva atd... [5], [6], [7]

Chováním dřevěných spojů s ocelovými spojovacími prostředky se v českém prostředí zabývali například pan Pošta a kol., kteří se soustředili na porovnání mechanických vlastností různých typů ocelových úhelníků s Eurokódem 5, zatímco paní Vopatová analyzovala teplotní chování spojů s vloženou ocelovou deskou při požáru. Podobným tématem se ve své studii zabýval i pan Peng a kol., kteří analyzovali teplotní chování spojů s vloženými ocelovými deskami pomocí trojrozměrného numerického modelu. [8], [9], [10]

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

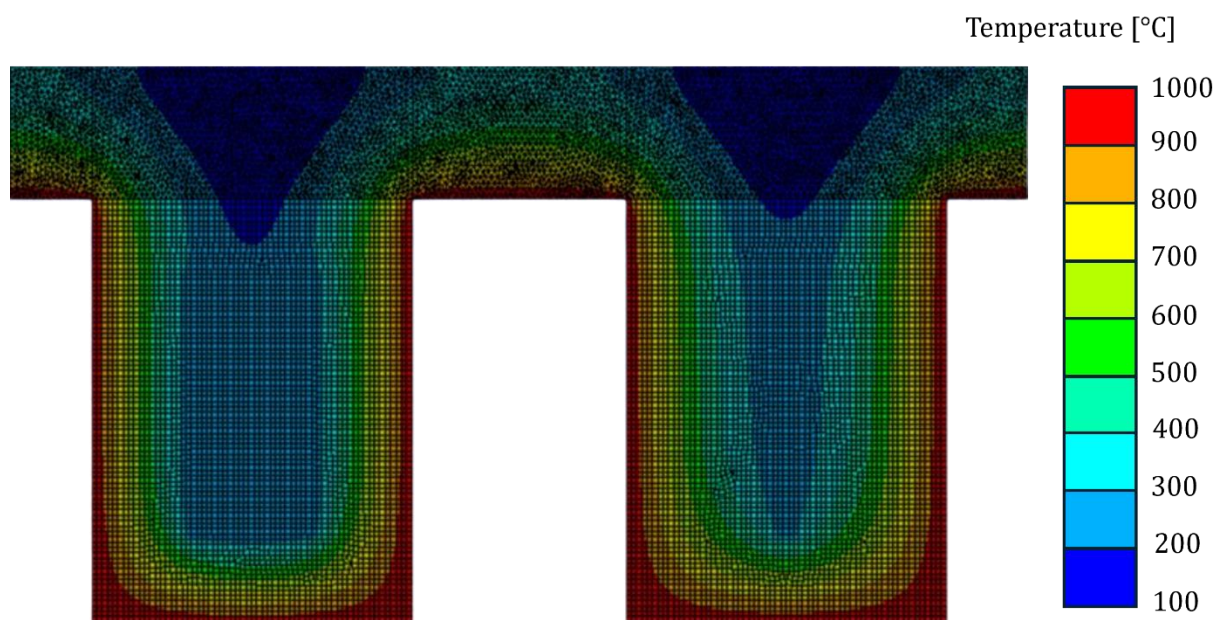
V rámci řešeného příkladu byly vytvořeny numerické modely v programu ANSYS Mechanical (modul Transient Thermal), které sledují rozložení teploty v čase. Materiálové vlastnosti rostlého dřeva a hliníkové slitiny EN AW-6060 byly zadány jako teplotně závislé.

Simulace se zaměřila na vliv geometrie spoje na přestup tepla a tím i na předpokládanou požární odolnost v čase. Byly analyzovány čtyři varianty. Kombinovaly dvě různé **šířky dřevěného prvku** (80 mm a 120 mm) a dvě **polohy kovového prvku ve dřevě** (0 mm – povrchově, 30 mm – zapuštěno). Horní část modelu představuje dřevěnou stropní konstrukci. Výška trámu 160 mm byla ve všech případech konstantní, stejně jako ostatní parametry. Modely byly vytvořeny ve 2D jako dva příčné řezy spoje (viz obr. 1).

Cílem bylo zjistit, jak tyto dva parametry ovlivní přenos tepla spojem po dobu 15, 30 nebo 45 min. Okrajové podmínky byly zvoleny dle předpokládaného umístění spoje v konstrukci – s vystavením požáru ze tří stran.

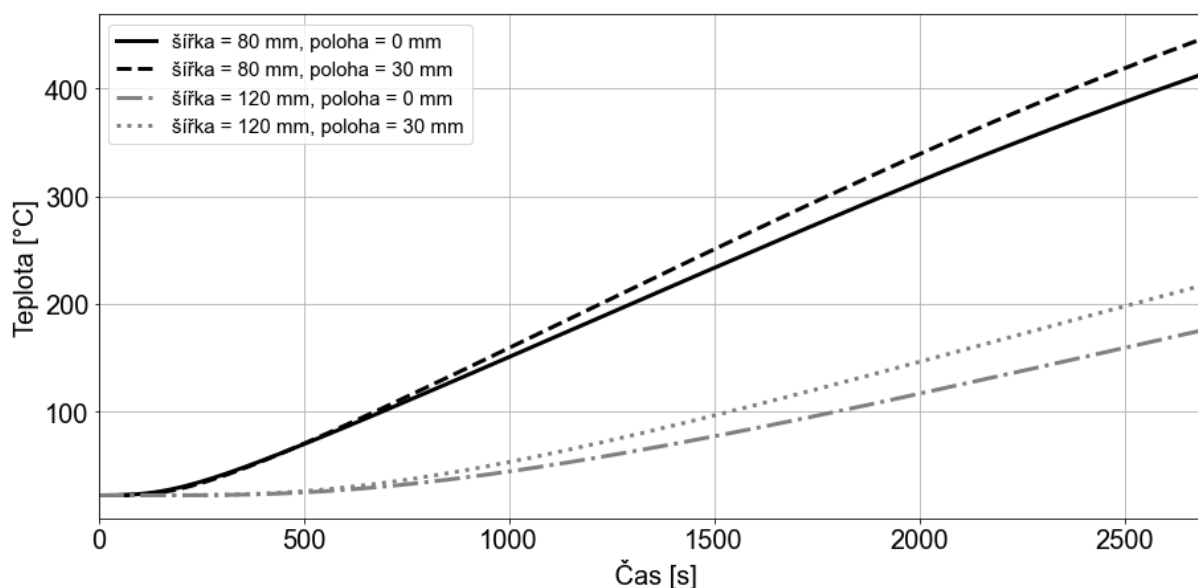
Počáteční teplota byla 20 °C, požární zatížení odpovídalo standardizované požární křivce ISO 834 s dobou působení 2700 s. Teplota byla aplikován na spodní okraj konstrukce. Bylo uvažován plný kontakt dřeva a spojovacího prvku.

Výpočetní síť byla tvořena elementy o velikosti 2 mm.



Obr. 1 Výsledek numerického modelu přenosu tepla v čase $t = 45$ min.

Fig. 1 Result of numerical heat transfer model in time $t = 45$ min.



Obr. 2 Závislost teploty na čase

Fig. 2 Temperature dependence on time

Tab. 1 Závislost teploty na geometrii

Tab. 1 Temperature dependence on geometry

Teplota v čase $t = 2700$ s [°C]		Šířka dřevěného prvku [mm]	
		80	120
Vzdálenost prvku od stropu [mm]	0	415	176
	30	448	218

Numerické simulace potvrdily, že geometrie dřevěného prvku má výrazný vliv na přestup tepla spojem.

Varianta spoje s kovovým spojovacím prostředkem zalícovaným s horním okrajem dřevěného prvku vykazovala značně nižší teploty, protože se spodní strana prvku nachází dále od povrchu a zdroje tepla.

Při šířce prvku 80 mm a zapuštění kovového prvku o 30 mm dosahovala teplota po 2700 s hodnoty přibližně 450 °C, zatímco při šířce 120 mm a zalícování kovového prvku teplota dosáhla pouze cca 180 °C (viz tab. 1).

ZÁVĚR

Zvětšení šířky dřevěného prvku zpomaluje šíření tepla ke kovovému prvku. Při jeho větší vzdálenosti od stropu je růst teploty v prvku rychlejší, protože prvek ztrácí kontakt s ochlazující horní plochou stropní konstrukce a přibližuje se spodní straně, tedy zdroji tepla.

Kombinace větší šířky dřevěného prvku 120 mm a vzdálenosti 0 mm kovového prvku od stropu vedla k nárůstu teploty na pouhých přibližně 40 % ve srovnání s nejméně příznivou variantou, kdy byla šířka prvku 80 mm a vzdálenost od stropu 30 mm (viz obr. 2).

Nejnižších teplot bylo dosaženo při kombinaci větší šířky a povrchovém uložení kovového prvku.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory grantu SGS25/121/OHK1/3T/11 „Udržitelné materiály“.

LITERATURA

- [1] Šejna, J., Blesák, L. Požární odolnost dřevěných konstrukcí. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2022. ISBN 978-80-01-07012-3.
- [2] ČSN EN 1991-1-2 ed. 2. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru Praha: ÚNMZ, 2024. 65 s.
- [3] ČSN EN 1995-1-2. Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru Praha: ÚNMZ, 2006. 58 s. Oprava: Opr. 1, vydáno 9.2010.
- [4] ČSN EN 1993-1-2 ed. 2. Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-2: Navrhování konstrukcí na účinky požáru. Praha: ÚNMZ, 2024. 99 s.
- [5] ČSN EN 1999-1-2 ed. 2. Eurokód 9: Navrhování hliníkových konstrukcí – Část 1-2: Navrhování konstrukcí na účinky požáru. Praha: ÚNMZ, 2024. 81 s
- [6] E. M. M. Fonseca, P. A. S. Leite, L. D. S. Silva, V. S. B. Silva, a H. M. Lopes, „Parametric Study of Three Types of Timber Connections with Metal Fasteners Using Eurocode 5", Applied Sciences, roč. 12, č. 3, 2022, doi: 10.3390/app12031701.
- [7] E. M. M. Fonseca a C. Gomes, „FEM Analysis of 3D Timber Connections Subjected to Fire: The Effect of Using Different Densities of Wood Combined with Steel", Fire, roč. 6, č. 5, Art. č. 5, kvě. 2023, doi: 10.3390/fire6050193.
- [8] E. M. M. Fonseca, P. A. S. Leite, a L. D. S. Silva, „Fire safety of wood-steel connections", in ResearchGate, dub. 2019. Viděno: 15. květen 2025. [Online]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/332767052_FIRE_SAFETY_OF_WOOD-STEEL_CONNECTIONS
- [9] J. Pošta, M. Hataj, R. Jára, P. Ptáček, a P. Kuklík, „Comparison of the use of angle brackets in timber joints with eurocode 5", Construction and Building Materials, roč. 205, s. 611–621, dub. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.02.053.
- [10] K. Vopatová, „Spoje dřevěných konstrukcí s jednou vloženou ocelovou deskou za požádu", pro. 2024, Viděno: 16. duben 2025. [Online]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/120094>
- [11] L. Peng, G. Hadjisophocleus, J. Mehaffey, a M. Mohammad, „Predicting the Fire Resistance of Wood–Steel–Wood Timber Connections", Fire Technol, roč. 47, č. 4, s. 1101–1119, říj. 2011, doi: 10.1007/s10694-009-0118-4.

STUDIE PŘÍTOMNOSTI DŘEVĚNÉHO OBKLADU NA NEHOŘLAVÝCH OBVODOVÝCH STĚNÁCH

STUDY OF THE PRESENCE OF TIMBER CLADDING ON NON-COMBUSTIBLE PERIMETER WALLS

Bc. Martin Chyba

Abstract

This study examines the impact of wooden cladding on non-combustible walls in relation to the determination of fire safety distance (PNP). It shows limitations of current Czech standards, which often do not fully account for the contribution of burning cladding to fire intensity of the façades. A simplified analytical calculation developed in Python was used to study the influence of window geometry and fire load on the increase of the radiating surface. The result is an equation that allows for the expansion of the radiant area due to the burning of the wood cladding.

Key words: Fire; Cladding; Wood; Facade; Heat Flux

ÚVOD

Použití dřeva a materiálů na bázi dřeva v moderní architektuře zažívá renesanci. Dřevěný obklad na fasádách budov je stále populárnější volbou pro svůj estetický vzhled a ekologické přínosy. Aplikace dřevěného obkladu na nehořlavé obvodové stěny, typicky zděné nebo betonové konstrukce, přináší specifické otázky v oblasti požární bezpečnosti staveb. Přestože konstrukce obvodových stěn může splňovat kritéria požárně uzavřené plochy, přítomnost dřevěného obkladu na vnějším povrchu může významně ovlivnit chování konstrukce při požáru a zejména pak stanovení požárně nebezpečného prostoru (PNP)

Zatímco neobložená stěna může být považována za požárně uzavřenou konstrukci, přidáním hořlavého obkladu na její vnější líc dochází ke změně jejího charakteru – stává se požárně otevřenou plochou. V důsledku toho je pak nutné pro takovou stěnu stanovit požárně nebezpečný prostor.

SOUČASNÉ NORMATIVNÍ POSTUPY A JEJICH OMEZENÍ V ČESKÉ REPUBLICE

Požární bezpečnost staveb v České republice je řešena souborem technických norem – řady ČSN 73 08xx. Stanovení požárně nebezpečného prostoru (PNP) je klíčovým prvkem požární bezpečnosti, jehož účelem je zabránit přenesení požáru z hořícího objektu na okolní stavby nebo materiály. Velikost PNP se určuje na základě výpočtu, který zohledňuje rozměry sálavých ploch (typicky okenní otvory, případně hořící části fasády), jejich emisivitu a kritickou hustotu tepelného toku pro vznícení okolních materiálů. [1,2]

Při pohledu do zahraničí lze pozorovat různé přístupy k hodnocení odstupových vzdáleností a vlivu hořlavých fasádních systémů. Některé země uplatňují více výkonově orientované přístupy (performance-based design), které umožňují detailnější analýzu konkrétního scénáře požáru pomocí pokročilých výpočetních modelů. Jiné státy naopak stanovují pevné preskriptivní požadavky, které zohledňují například typ a množství hořlavého materiálu, přítomnost protipožárních bariér ve fasádě či výsledky specifických zkoušek chování fasádních systémů při požáru. Tato rozmanitost metod ukazuje, že neexistuje jednotné univerzální řešení a že je vždy třeba hledat rovnováhu mezi praktickým zjednodušením a dostatečnou přesností odpovídající skutečnému riziku. [3]

DŘEVĚNÝ OBKLAD A JEHO CHOVÁNÍ PŘI POŽÁRU

Pro posouzení vlivu dřevěného obkladu na PNP je zásadní jeho chování při požáru. Dřevo je hořlavý materiál, který se tepelně degraduje již při relativně nízkých teplotách. Ke vznícení dřevěného obkladu dochází při dosažení kritického tepelného toku, jenž se obvykle pohybuje mezi 10 až 20 kW/m². Po vznícení se dřevěný obklad stává dalším zdrojem tepla, čímž zvyšuje intenzitu požáru a ovlivňuje jeho šíření po fasádě. To je třeba zohlednit při stanovování odstupových

vzdáleností a při posuzování požární bezpečnosti objektů. Dřevo prochází při vystavení dostatečně vysoké teplotě komplexním procesem termické degradace a hoření. [3]

- **Zahřívání a sušení:** Při teplotách cca od 100 °C do 200 °C dochází k odpařování volné vody. Nad touto teplotou se začíná uvolňovat i voda vázaná. Tento proces spotřebovává energii a zpožďuje další nárůst teploty materiálu. [4,5]
- **Pyrolýza:** Při teplotách přibližně od 200 °C do 300 °C (v závislosti na druhu dřeva a podmínkách) dochází k termickému rozkladu organických složek dřeva bez přístupu vzduchu. Vznikají hořlavé plyny (např. oxid uhelnatý, metan, vodík), dehet a pevný zbytek – dřevěné uhlí. Intenzita pyrolýzy narůstá s teplotou. [4]
- **Vzplanutí a plamenné hoření:** Pokud koncentrace hořlavých plynů smíchaných se vzduchem dosáhne zápalné meze a je přítomen iniciační zdroj (plamen, jiskra) nebo je dosaženo teploty samovznícení (pro dřevo typicky mezi 350 °C a 450 °C, u některých druhů i více, v závislosti na podmínkách), dochází k jejich vzplanutí. Následuje plamenné hoření, při kterém hoří uvolněné plynné produkty pyrolýzy. Tento proces je doprovázen viditelným plamenem a intenzivním uvolňováním tepla. [4]

Rychlost hoření dřeva významně ovlivňuje směr vláken – podél nich se plamen šíří rychleji než napříč, což je dáno strukturou dřeva usnadňující vedení tepla. Podstatnou roli hraje také vlhkost dřeva; vyšší obsah vody zpomaluje vznícení i samotné hoření. Dlouhodobé vystavení povětrnostním vlivům a UV záření navíc může způsobit degradaci povrchu, což zvyšuje nasákavost a může vést k rychlejšímu vznícení. Tyto faktory je nutné zohlednit při posuzování požárního rizika fasád s dřevěným obkladem. [6]

Přítomnost dřevěného obkladu na fasádě přispívá k celkovému požárnímu zatížení budovy. I když je samotná nosná konstrukce stěny nehořlavá, hořící obklad uvolňuje značné množství tepla, které může vést k intenzivnějšímu rozvoji požáru na fasádě, k jeho rychlejšímu šíření (např. do vyšších podlaží nebo na sousední objekty) a k produkci většího množství kouře a toxických zplodin hoření. [7]

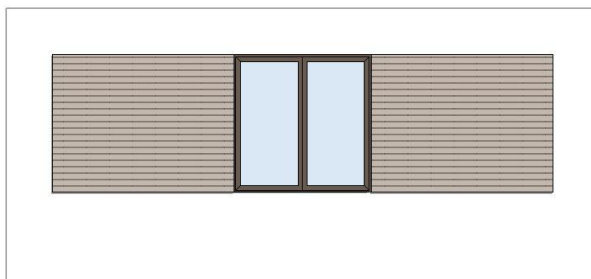
VLIV HOŘÍCÍHO DŘEVĚNÉHO OBKLADU NA STANOVENÍ PNP

Přítomnost hořlavého dřevěného obkladu na fasádě může zásadně ovlivnit stanovení požárně nebezpečného prostoru. V případě jeho vznícení – ať už v důsledku šlehajících plamenů z okenního otvoru, sálavého tepla z požáru v interiéru nebo působením vnějšího zdroje – začíná obklad sám přispívat k intenzitě požáru. Mezi hlavní vlivy patří zvětšení sálající plochy, protože hořící dřevěný obklad se stává dodatečnou sálavou plochou, která vyzařuje teplo do okolí. Tato plocha může být podstatně větší než samotné okenní otvory, a pokud se požár po obkladu rychle šíří, zvyšuje se i celková sálavé teplo. [7]

Dále dochází ke zvýšení intenzity tepelného toku, protože dřevo při hoření uvolňuje velké množství energie. Tepelný tok z hořícího dřevěného obkladu se přičítá k tepelnému toku z plamenů šlehajících z oken, čímž vzniká vyšší hustota tepelného toku dopadajícího na okolní objekty nebo povrchy. Také dochází k prodloužení doby trvání vysokého tepelného toku. Hořící fasáda rovněž mění geometrii plamene, protože plameny šířící se po povrchu mohou mít jiný tvar i dosah než plameny šlehající pouze z okenních otvorů. V důsledku těchto faktorů je zřejmé, že přítomnost hořícího dřevěného obkladu vede k nutnosti stanovit větší odstupové vzdálenosti pro zajištění požární bezpečnosti. Při posuzování požární bezpečnosti fasád s dřevěným obkladem na nehořlavých stěnách je vhodné zohlednit specifické vlastnosti dřeva. Možností je zpřesnění současných norem podle typu dřevěného obkladu (tloušťka, hustota, druh dřeva, způsob kotvení, povrchové úpravy) a stanovení konkrétních podmínek použití – např. maximální plochy obkladu, výškového omezení či umístění protipožárních bariér. [8]

PŘÍPADOVÁ STUDIE – ANALITICKÝ MODEL VLIVU PARAMETRŮ NA PNP

Výpočetní postup modelu je následující: Nejprve se na základě požárního zatížení a velikosti sálavé plochy (definované rozměry okna) stanoví geometrie plamenů šlehajících z okna. Uvažují se přitom dva scénáře – bezvětrí, kdy je vodorovný průmět plamene kolmý k řešené stěně, a scénář s větrem, kdy se tento průmět natočí o 45°. Následně se na hraně vodorovného průmětu stanoví teplota, ze které se určí tepelný tok sálání plamenů. Poté se vypočítá odstupová vzdálenost od tohoto průmětu, definovaná jako vzdálenost, ve které tepelný tok poklesne na kritickou hodnotu 10 kW/m². Nakonec se o tuto vypočtenou vzdálenost zvětší původní sálavá plocha na obě strany, aby bylo zohledněno možné působení větru z obou směrů.



Obr. 1 Řešený příklad okna s obkladem

Fig. 1 Case study of a window with cladding

Výpočet přitom uvažuje pouze jeden typ okna – okno, které je po stranách obloženo dřevěným obkladem, přičemž nad a pod oknem žádný dřevěný obklad není – viz obr. 1. Výpočet umožňuje zadávat šířku a výšku okna v rozsahu od 0,5 m do 4 m a hodnoty požárního zatížení od 5 kg/m² do 180 kg/m².

Hodnota kritického tepelného toku pro šlehající plameny byla stanovena 10 kW/m² – tato hodnota je považována za dolní hranici pro vznícení většiny běžných dřevěných materiálů a její použití zajišťuje dostatečnou bezpečnostní rezervu, která pokrývá možné nepřesnosti v modelu, variabilitu vlastností materiálů i atypické scénáře [9]

V rámci případové studie byl zkoumán vliv klíčových vstupních parametrů modelu, kterými jsou výška a šířka okna (h_{POP} , b_{POP}) a výpočtové požární zatížení (p_v). Výsledkem tohoto analytického modelu je rovnice (1) vyjadřující závislost rozšíření sálavé plochy na klíčových vstupních parametrech.

$$\Delta d = 0,4009 \times b_{POP}^{-0,099} \times h_{POP}^{1,053} \times p_v^{0,000} \quad (1)$$

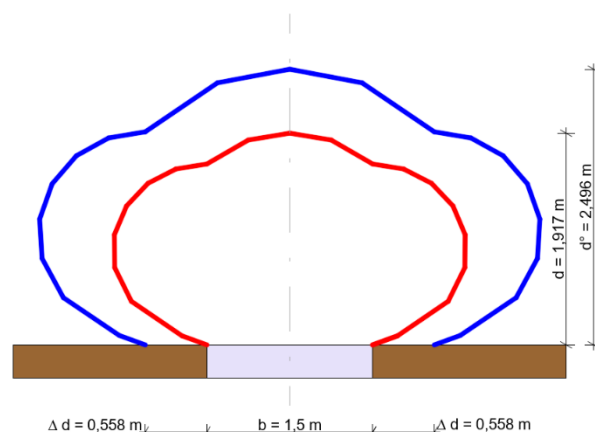
Tato rovnice udává, o kolik by měla být zvětšena původní šířka sálavé plochy pro stanovení odstupové vzdálenosti v případě přítomnosti hořícího dřevěného obkladu na fasádě.

Odvozená rovnice zatím představuje pracovní aproximaci, jejíž přesnost ($R^2 = 0,9607$) potvrzuje vhodnost použitého přístupu. Pro plnohodnotné využití v inženýrské praxi je však nutné model dále verifikovat a případně rekalibrovat na základě přesnějších výpočtů.

ZÁVĚR

Použití dřevěného obkladu na nehořlavých obvodových stěnách přináší řadu estetických a ekologických výhod, avšak současně představuje specifické výzvy z hlediska požární bezpečnosti. Jak bylo v tomto článku vysvětleno, hořící dřevěný obklad může významně ovlivnit intenzitu požáru na fasádě a v konečném důsledku i velikost požárně nebezpečného prostoru a požadované odstupové vzdálenosti.

Na obr. 2 je znázorněno porovnání odstupových vzdáleností od otvoru ve fasádě. Červená linie představuje výchozí odstupovou vzdálenost, která je stanovena bez zohlednění vlivu hořlavého obkladu. Modrá linie znázorňuje zvětšenou odstupovou vzdálenost, která již tento vliv bere v úvahu. Z grafu je patrné, že přítomnost dřevěného obkladu vede ke zvětšení odstupové vzdálenosti o hodnotu 0,558 m na obou stranách sálavé plochy.



Obr. 2 Porovnání odstupových vzdáleností
Fig. 2 Comparison of spacing distances

LITERATURA

- [1] ČESKÁ NORMA. ČSN 73 0802 – Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. 36 s.
- [2] ČESKÁ NORMA. ČSN 73 0810 – Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016. 40 s.
- [3] VORLÍČKOVÁ, Eliška. *Požární rizika při výstavbě dřevostavby* [online]. Praha, 2022 [cit. 2025-05-18]. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. Vedoucí práce Petr Hejtmánek. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/99644>
- [4] UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Wood Handbook – Wood as an Engineering Material [online]. Madison, WI: Forest Products Laboratory, 2010 [cit. 2025-05-18]. General Technical Report FPL–GTR–190. Dostupné z: https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/fplgtr/fpl_gtr190.pdf
- [5] SINGH, Sanjiv Kumar a Ravi M. RAVIKUMAR. Modelování pyrolýzy dřeva: Přehled [online]. Indian Institute of Technology Delhi, [cit. 2025-05-18]. Dostupné z: <https://web.iitd.ac.in/~ravimr/Publications/IndianJournals/sesi-sanjiv.pdf>
- [6] AMERICAN WOOD COUNCIL. Flame Spread Performance of Wood Products for Code-Compliant Buildings [online]. Leesburg, VA: American Wood Council, 2019 [cit. 2025-05-18]. DCA1 – 2019. Dostupné z: <https://web-media.awc.org/wp-content/uploads/2021/12/17210739/AWC-DCA1-FlameSpreadPerformance-1906.pdf>
- [7] ENGEL, Thomas a Norman WERTHER. Impact of Mass Timber Compartment Fires on Façade Fire Exposure. *Fire Technology* [online]. December 2022 [cit. 2025-05-18]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10694-022-01346-8>
- [8] KRAWCZYK, Jacek, Radosław MERKISZ-GURTOWSKI a Andrzej TOMCZAK. Thermal Decomposition of Wood as a Process of Heterogeneous Reactions [online]. *MATEC Web of Conferences*, 2016, 76, 04003 [cit. 2025-05-18]. ISSN 2261-236X. Dostupné z: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2016/09/mateconf_04003/matec-conf_04003.html
- [9] BARTLETT, Alastair I., Rory M. HADDEN a Luke A. BISBY. A Review of Factors Affecting the Burning Behaviour of Wood for Application to Tall Timber Construction. *Fire Technology* [online]. 2019, 55(1), 1–49 [cit. 2025-05-18]. ISSN 0015-2684. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10694-018-0787-y>

NUMERICKÝ VÝPOČET OCELOVÉHO PRVKU SE STYČNÍKY**NUMERICAL CALCULATION OF A STEEL ELEMENT WITH CONTACTORS****Bc. Ondřej Bečka****Abstract**

The paper deals with the numerical calculation of a steel joint at elevated temperature. The Sheffield experiment, well known and described in the literature, has been studied. The study of the shell model has been carried out using the (CBFEM). The validation of the model shows good agreement with the experiment. A summary of the sensitivity study is included in the paper.

Key words: Steel structure; Steel joint; Numerical calculation; Component Based Finite Element Method; Elevated temperature

ÚVOD

Ocelové styčníky musí být v konstrukci spolehlivé jako její prvky. Zajišťují efektivní přenos vnitřních sil. Jejich selhání může mít kritičtější následky než selhání prvků. Při návrhu požární odolnosti na základě globální analýzy za běžné teploty se jejich posouzení za požáru neprovádí. Předpokládá se, že za běžné teploty dobře navržené vyhovují i během požáru, pokud jsou požárně chráněny alespoň tak jako připojované prvky. Přístup je založen na předpokladu větší koncentrace materiálu v místě spoje, což způsobí pomalejší ohřev, tedy kritické teploty zde bude dosaženo později než v nosném prvku. Zmíněné řešení nemusí být vždy dostačující. Opomíjí například polohu styčníku nebo změnu namáhání. Práce navazuje na disertační práci Der Batuhan [1], který metodu CBFEM za zvýšené teploty připravil, validoval a verifikoval na řadě příkladů.

METODA KONEČNÝCH PRVKŮ S KOMPONENTAMI

Metoda CBFEM je v současnosti běžně využívána v praxi pro výpočet ocelových styčnic za běžné teploty a je zahrnuta například v softwarech od společností IDEA StatiCa nebo Dulbal. Již z názvu je jasné, že se jedná se o kombinaci analytické metody komponent (MK) a metody konečných prvků (MKP). Stejně jako v MK se styčník rozdělí na jednotlivé komponenty. K MKP modelování plechů se obvykle využívají skořepinové prvky pro rychlost výpočtu. Ve výpočtu zpřesní působení vnitřních sil uvažováním tuhosti plechů. Ostatní komponenty jako šrouby a svary jsou reprezentovány nelineárními pružinami a posouzeny v souladu návrhovými normami, v Česku např. s ČSN EN 1993-1-8. [2, 3]

EXPERIMENT

Pro studii byla vybrána práce od Khalifa Saif Al-Jabri z Univerzity v Sheffieldu [4]. Zkoušelo se 11 konfigurací ocelových styčnic rozdělených do tří skupin. Zkoušené vzorky byly vždy symetrické: Sloup byl 2,7 m vysoký. Dva nosníky o délce 1,9 m byly symetricky připojeny čelními styčnickovými plechy. V podlažních ocelových stavebních konstrukcích se jedná o nejčastější přípoj. Skupiny se odlišovali ocelí, velikostí průřezu a tuhostí.

Při zkoušce se za zvýšené teploty vyhodnocovala závislost pootočení na ohybovém momentu. Během zkoušek byl vzorek vystaven konstantnímu zatížení pomocí hydraulického lisu 1,5 m od osy sloupu. Teplota plynu byla lineárně zvyšována přírůstkem 10 °C za min. Byla využita pec s plynovými hořáky. Nejvyšší teplota konstrukce byla 900 °C.

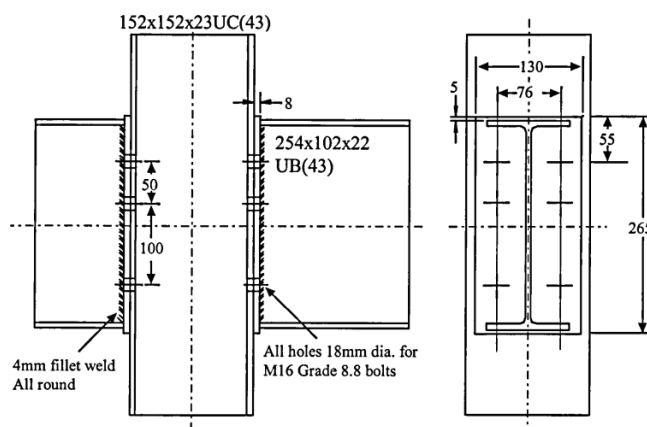
Sloupu bylo během zkoušek u podlahy zabráněno vodorovným a svislým posunům. Horní uchycení svislý posun umožnilo. Podobně byli zajištěni i nosníky. Na jejich koncích byl umožněn pouze vertikální posunu.

V této práci byla vybrána zkouška z první skupiny, třetí se zatížením 13 kNm. Sloupy byly průřezu 152×152×23UC a nosníky 254×102×22UB. Styčnickový plech 130 mm × 265 mm × 8 mm je přivařen k nosníku 4 mm koutovými svary. Ke sloupu připojen šesti šrouby M16 8.8. Veškerá ocel je třídy oceli 43, což odpovídá dnešní S275, s kterou uvažují později ve výpočtu.



Obr. 1 Fotografie z vybrané zkoušky [4]

Fig. 1 Photos from the selected exam [4]

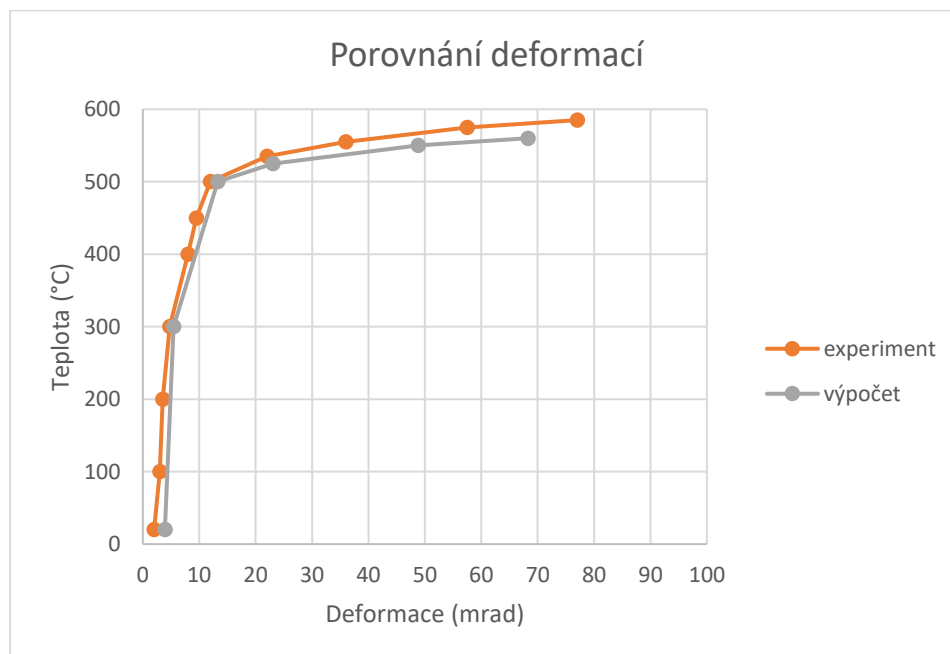


Obr. 2 Výkres vybraného styčnicku [4]

Fig. 2 Drawing of the selected connector [4]

NUMERICKÝ VÝPOČET

Výpočetní model přesně kopíruje geometrii a zatížení při experimentu. Standartní verze programu IDEA StatiCa Connection ve verzi 24.1 neodečítat přesné hodnoty deformací. Pro účel této práce byla poskytnuta technickou podporou upravená verze, ve které je funkce dostupná. Při výpočtu se postupovalo s nárůstem teploty v dílčích krocích. Výsledky výpočtu jsou zobrazeny na obrázku 3.



Obr. 3 Graf průběhu zkoušky a výpočtu

Fig. 3 Graph of the test and calculation

VALIDACE

Na první pohled z grafu obrázku 3 je vidět, že numerickým výpočtem lze u tohoto experimentu dosáhnout dobré předpovědi chování. V tabulce 1 jsou uvedeny změřené a vypočtené hodnoty natočení v průsečíku os ve styčnicku, jejich rozdíl a odchylky. Velkou počáteční neshoda 42 % je pravděpodobně způsobena dotvarováním vlivem výrobních imperfekcí.

Tab. 1 Porovnání výpočtu s experimentem

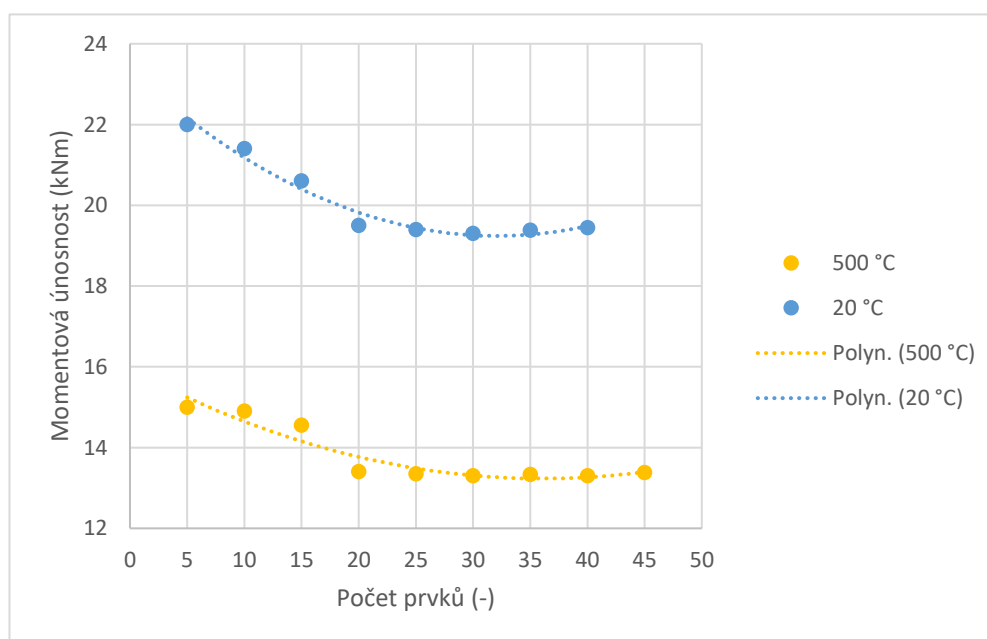
Tab. 1 Comparison of calculation with experiment

Deformace	Experiment	Výpočet	Experiment - výpočet	Experiment/výpočet
mrاد	°C	°C	°C	-
5	306	216	90	42%
10	460	416	44	11%
20	528	517	11	2%
30	546	532	14	3%
40	559	541	18	3%
50	568	551	17	3%
60	576	556	20	4%
68,25	578	560	18	3%

STUDIE CITLIVOSTI

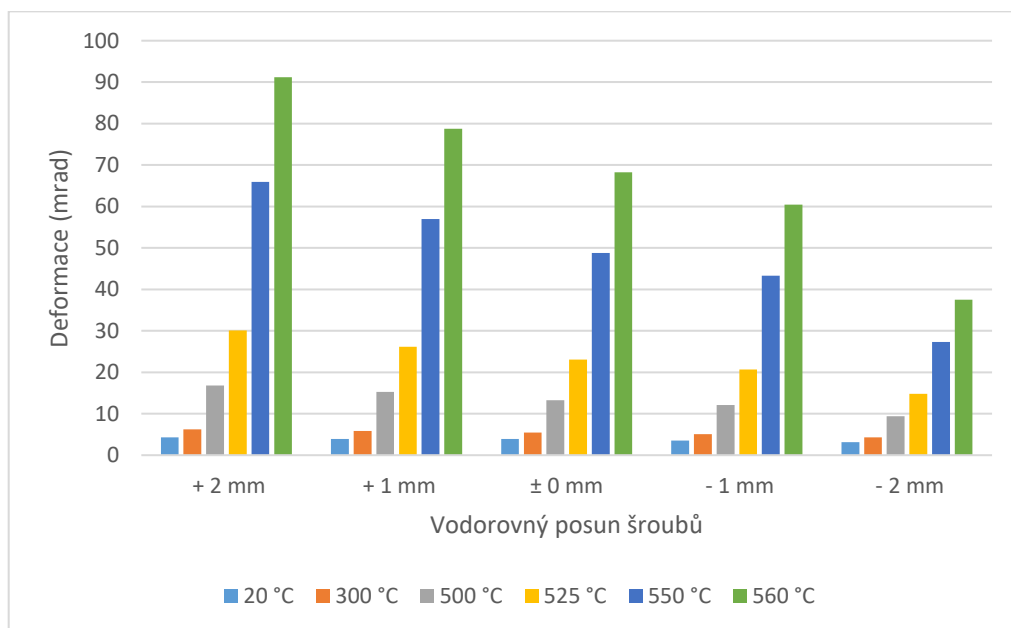
Na řešeném příkladu byla připravena studie vlivu sítě, umístění šroubů, tloušťky čelní desky a svarů na momentovou únosnost.

Software volí vhodné rozměry sítě automaticky. Jemnost sítě je u každého numerického výpočtu zásadní. Počet prvků byl postupně zvedán vždy po pěti a sledovala se únosnost konstrukce při teplotě 20 °C a 500 °C. V obou případech došlo k ustálení hodnoty únosnosti okolo 25 prvků, obrázek 4. Programem navržená hustota sítě o osmnácti prvcích je vhodná.



Obr. 4 Graf citlivosti na hustotu sítě
Fig. 4 Graph of mesh density sensitivity

Intuitivně se předpokládá, že posunutím šroubů do tažené oblasti styčnicku a zvětšení ramene vnitřních sil umožní zmenšení deformace. U tohoto styčnicku má na únosnost větší vliv jejich posunutí blíže ke stojně nosníků a zvýšení tuhosti T průřezu, viz obrázek 5.



Obr. 5 Graf citlivosti na vodorovném posunu šroubů

Fig. 5 Graph of sensitivity to horizontal screw displacement

ZÁVĚR

Cílem práce byla validace modelu metodou CBFEM, ze které vyplývá, že numerickým výpočtem lze získat dobrou předpověď odezvy styčnicku na zatížení i za zvýšené teploty. Validovaný výpočet bude podkladem pro diplomovou práci, která se zaměří na vliv mezní poměrné deformace plechu a svarů a mezní protažení šroubů na předpověď únosnosti tohoto styčnicku. Předpokládá se experimentální ověření mezního poměrného přetvoření konstrukční oceli za zvýšené teploty při konstrukci odpovídající koncentraci napětí ve vrubech.

LITERATURA

- [1] BATUHAN, Der. *Numerical calculation of members and joints at elevated temperature*. B.m., 2024. Doctoral thesis. České vysoké učení technické.
- [2] Teoretické základy. In: [online]. B.m.: IDEA StatiCa, nedatováno. Dostupné z: <https://www.ideastatica.com/cz/podpora/general-theoretical-background#Steel-connection-material-model>
- [3] WALD, F. *Component-based finite element design of steel connections*. In Prague: Czech Technical University, 2020. ISBN 978-80-01-06702-4.
- [4] KHALIFA SAIF, Al-Jabri. *The behaviour of steel and composite beam-to-column connections on fire*. B.m., 1999. Doctoral thesis. University of Sheffield.

VLIV PLÁŠTĚ NA CHOVÁNÍ OCELOVÉ KONSTRUKCE HALY PŘI POŽÁRU

EFFECT OF THE CLADDING ON THE BEHAVIOR OF THE STEEL STRUCTURE OF A HALL DURING A FIRE

Bc. Magdalena Valešová

Abstract

This article presents the preparatory phase of a research project focused on analyzing the behavior of a steel frame structure of a storage hall with trapezoidal sheet cladding in the event of a fire. It describes the specific building, the designed fire scenario with a defined fuel load, and the methodology of numerical modeling using a zone model in the CFAST program. A key aspect of the study is the consideration of radiation effects and the planned verification of the model results through a large-scale fire test. The objective of the project is to obtain detailed insights into the temperature field and mechanical response of the structure, with emphasis on quantifying the stabilizing contribution of the trapezoidal sheet cladding to the overall behavior of the frame at elevated temperatures. The results will contribute to a better understanding of the interaction between the steel load-bearing structure and the cladding during a fire and to the optimization of design methods.

Key words: Large-Scale Fire Test; Numerical models; Zone model; Wood crib burning; steel structure of the hall

ÚVOD

Požární bezpečnost představuje klíčovou část při navrhování ocelových konstrukcí. Standardní přístupy k návrhu požární odolnosti často vycházejí ze zjednodušených předpokladů a normových požárních křivek, které nemusí přesně reflektovat komplexní podmínky reálných, zejména lokálních či putujících požárů. U lehkých ocelových hal s opláštěním, je navíc často opomíjen potenciální stabilizační a nosný příspěvek samotného opláštění při zvýšených teplotách, který může ovlivnit celkovou odezvu konstrukce. Tento výzkumný projekt se zaměřuje na detailní prozkoumání těchto jevů u typické skladovací haly s ocelovou rámovou konstrukcí a opláštěním z trapézového plechu s cílem získat data pro přesnější posouzení požární bezpečnosti a optimalizaci konstrukčních řešení.

VLIV PLÁŠTĚ NA KONSTRUKCI

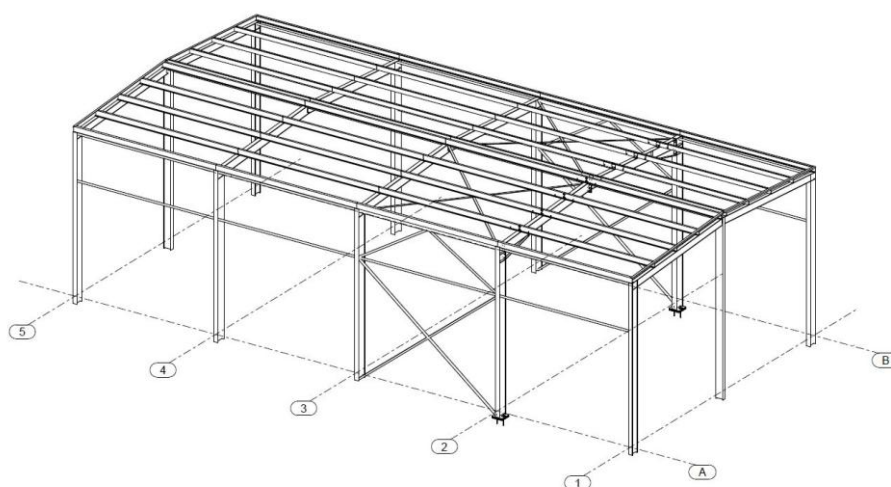
Poznatky ze studií [1,2,3] potvrzují, že správně navržené opláštění, v podobě trapézových plechů i sendvičových panelů, výrazně přispívá k zachování stability ocelové rámové konstrukce při požáru. Zvýšením tuhosti systému díky opláštění, zajištěním přerozdělení namáhání z tepelně ovlivněné části konstrukce do tepelně neovlivněné, i zajištěním rovnoměrnějšího rozložení teplot v jednotlivých částech konstrukce, lze dosáhnout prodloužení doby dosažení kritických teplot konstrukce a tím zvýšení požární odolnosti. Nicméně výsledný efekt závisí na mechanických a tepelně technických vlastnostech materiálů, tloušťce opláštění a konstrukčních detailech celého systému. Návrhové postupy pro určité typy opláštění jsou výsledkem evropského výzkumného projektu STABFI [1]. Projekt STAFBI prezentuje výsledky experimentálního a numerického výzkumu chování spojů sendvičových panelů při zvýšených teplotách a navrhuje analytické metody pro odhad jejich únosnosti a tuhosti v požární situaci. Bylo zjištěno, že teplota má významný negativní vliv na vlastnosti těchto spojů a že materiál jádra hraje klíčovou roli v jejich degradaci. Navržené analytické postupy, založené na stávajících evropských normách pro ocelové konstrukce, poskytují nástroje pro začlenění stabilizačního účinku sendvičových panelů do požární analýzy budov. V rámci [1] bylo provedeno 32 experimentů s různými typy sendvičových panelů (s jádry z PIR a minerální vlny) o tloušťkách 100 až 230 mm a s různými tloušťkami nosné konstrukce (8 a 10 mm). Spoje byly zkoušeny ve smyku při běžné teplotě a zvýšených teplotách až do 600 °C. Byla měřena zatěžovací síla a posun spojovacího prostředku. Z naměřených dat byly vytvořeny křivky závislosti zatížení na posunu pro všechny zkoušené vzorky. Křivky sloužily k určení únosnosti a počáteční tuhosti spojů. Celkový průběh zkoušek a mechanismy porušení vzorků byl vizuálně sledován. Byly zaznamenány režimy porušení, mezi které patřilo zejména

otlačení vnitřní strany panelu kolem otvoru pro šroub, ale také lokální deformace panelu a ojediněle i deformace šroubu či delaminace jádra od plechu. Převážná většina vzorků selhala v důsledku otlačení vnitřní strany panelu v blízkosti otvoru pro šroub.

Tyto poznatky jsou cenným vodítkem při navrhování a posuzování požární bezpečnosti ocelových hal, přičemž každý konkrétní případ může vyžadovat specifický přístup zohledňující místní podmínky a provozní nároky.

POPIS OBJEKTU A POŽÁRNÍHO SCÉNÁŘE

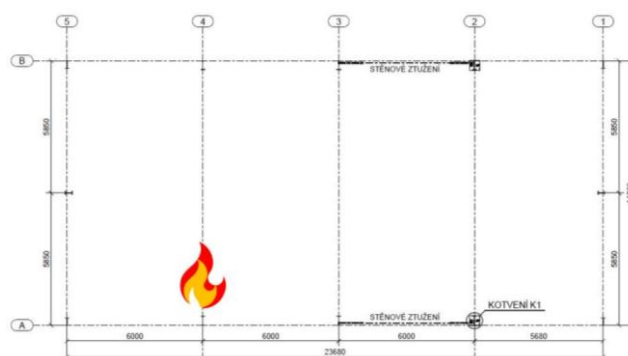
Předmětem studie je typická skladovací hala s ocelovou rámovou konstrukcí. Geometrie haly je definována půdorysnými rozměry 23,68 m × 11,70 m a výškou hřebene 6,68 m. (obr. 1). V obvodovém plášti bude manipulační otvor o rozměrech 2 m × 3 m. Nosná konstrukce je navržena z oceli třídy S235JR a S355J0, přičemž pro spojovací prvky jsou použity šrouby jakosti 8.8. Opláštění objektu je tvořeno trapézovým plechem kdy se rozhoduje mezi TR40/160/0.75 a TR100/275/0.88. Halový objekt bude vystaven v lokalitě Jeseník za účelem provedení experimentu.



Obr. 1 Axonometrie ocelové haly

Fig. 1 Axonometry of a steel hall

Pro účely analýzy a navazující plánovaného experimentu byl navržen požární scénář lokálního požáru. Zdroj hoření je situován na podlaze přímo pod jedním z hlavních rámu (vazba č.4, viz obr.2), konkrétně ve vzdálenosti 0,5 m od sloupu.



Obr. 2 Půdorys ocelové haly

Fig. 2 Ground plan of a steel hall

Tato poloha byla zvolena s ohledem na maximalizaci sálavého přenosu tepla na kritické prvky nosného rámu (sloup a navazující příčel). Plocha zdroje požáru je aproximována na cca 7 m². Jako palivo byly zvoleny smrkové hranoly o průřezu 5 cm × 5 cm a délce 1 m, skládané do hranice, o celkovém počtu 1330 latí v 19 vrstvách, přičemž v jedné vrstvě bude 70 latí. Specifická výhřevnost

tohoto paliva je uvažována dle normových hodnot 17,5 MJ/kg. Celková hmotnost palivového zatížení je stanovena v rozmezí 1200–1500 kg. Vstupní hodnoty pro simulaci požárního scénáře jsou uvedeny na obr. 3.

$Q_{f,i,k}$	26250 MJ	$q_{f,k,loc}$	3750 MJ/m ²
počet hranic	1 ks	$Q_{f,k,loc}$	26250 MJ
$A_{regál}$	7 m ²	$q_{f,d,loc}$	3000 MJ/m ²
A_f	277.06 m ²	$Q_{f,d,loc}$	21000 MJ
$q_{f,i,k}$	94.75 MJ/m ²	Q_{max}	8.75 MW
m	0.8	t_1	887.4 s
δ_1	1	t_2	1384.196 s
δ_2	1	t_3	1440 s
δ_n	1	$\langle t_1, t_2 \rangle$	887.4 s
RHR_f	1250 kW/m ²	$\langle t_2, t_3 \rangle$	2271.6 s
t_a	300 s	$\langle t_3, t_4 \rangle$	3711.6 s

(A)



(B)

Obr. 3 (A) Vstupní hodnoty pro graf HRR; (B) Vstupní graf HRR pro simulaci

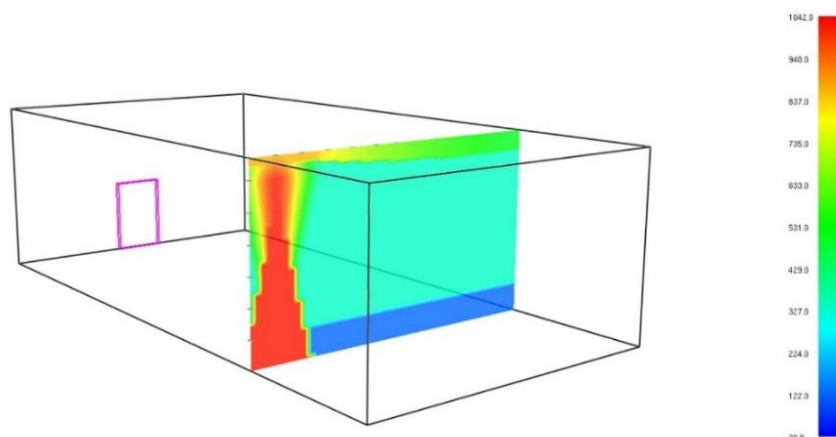
Fig. 3 (A) Input values for HRR graph; (B) Input HRR Graph for simulation

METODIKA NUMERICKÉHO MODELOVÁNÍ A ANALÝZY

Pro predikci vývoje požáru a teplotního pole v okolí konstrukce je využit zónový model programu CFAST v.7 [4]. Tento model umožňuje simulovat šíření tepla a zplodin hoření v uzavřeném prostoru rozděleném do zón (typicky horní vrstva horkých plynů a spodní vrstva chladnějšího vzduchu). Klíčovým aspektem modelování v tomto případě je přesné zohlednění sálavého přenosu tepla ze zdroje požáru a z vrstvy horkých plynů na ocelové prvky konstrukce, zejména sloup a příčel v bezprostřední blízkosti požáru.

V rámci modelu jsou sledovány a analyzovány teplota plynů v horní vrstvě pod stropem haly, teplotní profily v kritických řezech konstrukce, konkrétně v blízkosti požáru (cca 2 m od stěny) a v ose požáru a teploty na povrchu a sloupu a příčle. Pro monitoring teploty konstrukce jsou v modelu simulovány deskové snímače teploty umístěné po výšce sloupu a do poloviny délky příčle dotčeného rámu. Maximální dosažená teplota horní vrstvy v ose požáru je dle zónového modelu 1042 °C (obr. 4), nejvyšší teplota na sloupu je 596 °C naměřená deskovým snímačem ve výšce 1 m a na příčli 345 °C v ose požáru. Simulace byla provedena na 3600 s.

Výsledky získané zónovým modelem v programu CFAST budou následně ověřovány a porovnávány s výsledky získanými pomocí analytických výpočtových modelů, což umožní vzájemnou validaci přístupů a zvýší spolehlivost predikcí.



Obr. 4 Zónový model haly v CFAST v.7

Fig. 4 Zone model of the hall in CFAST v.7

PLÁNOVANÝ EXPERIMENT

Nedílnou součástí projektu je realizace velkorozměrové požární zkoušky. Tato zkouška bude provedena na skutečné konstrukci vystavené v Jeseníku za podmínek odpovídajících definovanému požárnímu scénáři. Cílem zkoušky je nejen experimentálně ověřit predikce numerických a analytických modelů, ale především pozorovat skutečné chování ocelové rámové konstrukce s opláštěním z trapézového plechu při lokálním požáru, včetně mechanismů přenosu zatížení a potenciálního vlivu deformací na celkovou stabilitu. Během zkoušky bude monitorováno teplotní pole v okolí konstrukce a zaznamenávána deformace a případné porušení prvků.

ZÁVĚR

Představený výzkumný projekt si klade za cíl prohloubit znalosti o chování ocelových rámových konstrukcí s lehkým opláštěním při reálných požárech. Kombinací numerického modelování pomocí CFAST, analytických metod a plánované velkorozměrové požární zkoušky bude možné získat ucelený obraz o teplotní a mechanické odezvě konstrukce a zejména o významu příspěvku trapézového plechu k její stabilitě. Očekávané výsledky přinesou cenná data pro kalibraci a validaci simulačních modelů, umožní zpřesnit inženýrské přístupy k posuzování požární bezpečnosti ocelových hal a povedou k efektivnějšímu a bezpečnějšímu návrhu těchto konstrukcí.

PODĚKOVÁNÍ

Výzkum je podpořen projektem SGS25/120/OHK1/3T/11 projektem CZ.01.01.01/01/22_022/0000910 Ocelová hala 4.0 pro trvale udržitelný rozvoj průmyslové výstavby.

LITERATURA

- [1] GARIFULLIN, Marsel, Ashkan SHOUSHARIAN MOFRAD, Kamila CÁBOVÁ, František WALD, Hartmut PASTERNAK a Kristo MELA. Translational stiffness and resistance of sandwich panel connections at elevated temperature. *Engineering Structures* [online]. 2022, 252, 113604. ISSN 01410296. Dostupné z: doi: 10.1016/j.engstruct.2021.113604.
- [2] LU, W., P. MAKELAINEN a J. OUTINEN. Finite Element Modeling of Single Lap Shear Screw Connection in Steel Sheeting in Fire. *The Open Construction and Building Technology Journal* [online]. 2008, 2(1), 257–261. ISSN 18748368. Dostupné z: doi:10.2174/1874836800802010257
- [3] PYL, Lincy, Luc SCHUEREMANS, Willem DIERCKX a Iveta GEORGIEVA. Fire safety analysis of a 3D frame structure based on a full-scale fire test. *Thin-Walled Structures* [online]. 2012, 61, 204–212. ISSN 02638231. Dostupné z: doi:10.1016/j.tws.2012.03.023
- [4] PEACOCK, Richard D., Paul A. RENEKE a Glenn P. FORNEY. CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 7) Volume 2: User's Guide [online]. NIST TN 1889v2. B.m.: National Institute of Standards and Technology. 2015 [vid. 2025-04-22]. Dostupné z: doi:10.6028/NIST.TN.1889v2

CHOVÁNÍ SKLENĚNÝCH KONSTRUKCÍ ZA ZVÝŠENÝCH TEPLŮT**BEHAVIOR OF GLASS STRUCTURES AT ELEVATED TEMPERATURES****Bc. Kateřina Pulcová****Abstract**

The fire behaviour of load-bearing glass structures exposed to high temperatures has not yet been comprehensively investigated. The present research addresses the change in the mechanical properties of glass under high temperatures, including delamination, deformation and the development of thermal gradients, based on calibrated two-dimensional thermal simulation model. The input data used in the model were experimentally determined using a Linseis LFA500 device. The next phase of research will validate the model through fire tests to improve design recommendations for structures with enhanced fire resistance.

Key words: laminated glass; fire resistance; thermal analysis; numerical model; interlayer behaviour

ÚVOD

Sklo se stává nejen estetickým, ale i nosným konstrukčním prvkem moderní architektury. Přestože za běžných podmínek vykazuje vysokou tuhost a chemickou odolnost, při požáru jeho mechanické vlastnosti klesají, což vede ke snížení únosnosti a možnému kolapsu konstrukce. Současné normy sklo jako nosný materiál nezohledňují, což komplikuje posouzení jeho skutečné požární odolnosti. Nedostatek výzkumů, zejména v oblasti chování vrstveného skla s různými mezivrstvami (jako je např. PVB, SG, EVA) za vysokých teplot, zdůrazňuje potřebu hlubšího experimentálního výzkumu podpořeného numerickými simulacemi, jak ukazují například studie Ch. Bedon a kol [1].

SKLO A JEHO VLASTNOSTI ZA BĚŽNÝCH TEPLŮT

Sklo je amorfni anorganický materiál, jehož výroba sahá až do starověku. V současnosti se pro stavební účely vyrábí ploché sklo především metodou float (plavením), která zajišťuje vysokou rovinnost a homogenní tloušťku. Z hlediska chemického složení je nejběžnější sodno-vápenato-křemičité sklo. Sklo používané ve stavebnictví se často dále upravuje, nejčastěji používané typy skla jsou [2]:

- Plavené sklo – základní typ čirého skla s rovnými plochami a rovnoměrnou tloušťkou, vyráběné na hladině roztaveného cínu [2];
- tepelně tvrzené sklo (ESG) – sklo s vyšší pevností a odolností vůči tepelnému šoku;
- tepelně zpevněné sklo (TVG) – kompromis mezi běžným a tvrzeným sklem [2];
- vrstvené sklo (laminované, VSG) – vzniká spojením dvou a více skel pomocí mezivrstvy, je využíváno v nosných i bezpečnostních konstrukcích [2];
- izolační dvojskla a trojskla – skla s uzavřenou vzduchotěsnou mezerou k zlepšení tepelně technických vlastností [2].

Mezivrstvy

Mezivrstvy hrají zásadní roli ve vrstveném skle, neboť ovlivňují chování konstrukce při zatížení. K nejčastěji používaným materiálům patří:

- PVB (polyvinyl butyral) - polymerní materiál s dobrými optickými a mechanickými vlastnostmi, avšak s relativně nízkou tepelnou odolností (měkne při 60–80 °C) [2];
- SG (ionoplast): - disponuje vysokou tuhostí a pevností, což ho činí vhodným pro nosné aplikace [2];
- EVA (ethylenvinylacetát) - stabilnější při vyšších teplotách, méně náchylný ke změnám způsobeným vlhkostí [2];

- Gelové vrstvy – využívané hlavně v požárně odolném skle, kde jejich schopnost expandovat a tvořit tepelnou bariéru zlepšuje požární odolnost, nevhodné na konstrukční prvky [3].

Jednotlivé typy mezivrstev se liší tepelnou stabilitou, viskozitou a schopností zamezit prostupu sálavého tepla. Intumescentní vrstvy navíc zpění, čímž vytvoří opticky neprůhlednou bariéru, která je významná zejména v únikových cestách [3].

MECHANICKÉ A FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI

Za běžných podmínek (cca 20 °C) vykazuje sklo jedinečný soubor vlastností, které jsou klíčové pro jeho využití jako nosného konstrukčního materiálu:

Mechanické vlastnosti:

- **Modul pružnosti (E):** Sklo má vysokou tuhost s hodnotami v rozmezí 70–90 GPa [4].
- **Pevnost v tahu:** Typické hodnoty se pohybují mezi 20 a 100 MPa. Tato vlastnost je výrazně ovlivněna přítomností defektů na povrchu materiálu, a proto se sklo tepelně nebo chemicky upravuje, čímž se zvyšuje tahová pevnost [4].
- **Pevnost v tlaku:** Ve srovnání s tahem je odolnost proti tlaku výrazně vyšší, pohybující se okolo 400–900 MPa, což umožňuje sklu odolávat zatížení tlakem [4].

Fyzikální vlastnosti:

- **Teplotní roztažnost:** Součinitel teplotní roztažnosti skla je přibližně $9 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$. Tato nízká hodnota je zásadní z hlediska konstrukcí, protože i malé teplotní změny mohou vést k nárůstu napětí, která se v případě skla nepřerozdělí zplastizováním [4].
- **Tepelná vodivost:** Za běžných podmínek se tepelná vodivost pohybuje kolem 1 W/mK. Tato hodnota indikuje, že sklo má částečně izolační vlastnosti, čehož lze využít v moderních obálkách budov [4].
- **Měrná tepelná kapacita:** U skla vykazuje podobné hodnoty, jako u jiných materiálů, konkrétně u skla má hodnotu přibližně 720 J/kg K. Tato hodnota hraje významnou roli při analýze tepelné odezvy konstrukčních prvků při požáru [4].

Sklo se porušuje křehkým lomem, který nastává náhle bez předchozího varování, což vyžaduje precizní konstrukční návrh při extrémních teplotách či nárazovém zatížení. Velkou pozornost je třeba věnovat zejména návrhu konstrukčních detailů, kde mohou vznikat lokální špičky napětí [3, 5].

SKLO ZA ZVÝŠENÉ TEPLITY

Chování skla při zvýšených teplotách je klíčové pro posouzení požární odolnosti konstrukcí. Za teplot nad 300 °C dochází k postupné degradaci jeho mechanických a fyzikálních vlastností [6]. Mezi nejvýznamnější změny patří:

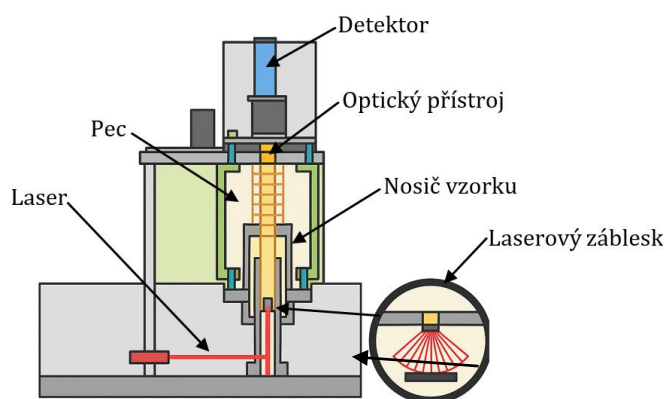
- pokles modulu pružnosti – při teplotách nad 500 °C může dojít k poklesu až o 90 %, což významně ovlivňuje tuhost a stabilitu konstrukcí [6];
- zvýšení teplotní roztažnosti – způsobuje vznik tahových napětí, která mohou vést ke křehkému lomu [6];
- pokles pevnosti – s rostoucí teplotou klesá mez pevnosti, přičemž kritické hodnoty bývají dosaženy před bodem měknutí (~550 °C) [6];
- měknutí skla - sklo jako amorfní materiál při zvýšených teplotách postupně ztrácí tuhost a přechází do plastického stavu, přičemž nemá přesně definovaný bod tání [6].

U vrstveného skla se významně uplatňuje typ mezivrstvy. PVB měkne již při 60–80 °C, zatímco SG si zachovává dostatečnou tuhost i při teplotách do 120 °C, což ovlivňuje únosnost konstrukčních prvků z vrstveného skla [6].

ZJIŠTĚNÍ FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ SKLA PŘI VYSOKÝCH TEPLOTÁCH

Pro vytvoření numerického modelu bylo nutné stanovit vstupní materiálové charakteristiky skla. K tomu byl využit přístroj Linseis LFA500 (obr. 1). Měření probíhalo v rozsahu 100–600 °C na vzorku skla kruhového tvaru o průměru $\varnothing$ 8,28 mm a tloušťce 2,26 mm s grafitovým nástřikem (obr. 2A). Následně byl vzorek umístěn na podstavec (obr. 2B) a vložen do přístroje, kde byl ohřát laserem na požadovanou teplotu.

Pro přesnost bylo měření provedeno ve vakuu, aby se eliminovala konvekce, a detektor byl stabilizován chlazením kapalným dusíkem. Naměřená tepelná vodivost (λ) se v rozmezí teplot 100–600 °C zvýšila z cca 1,1 W/mK na 2,0 W/mK, zatímco měrná tepelná kapacita (c_p) narostla z přibližně 1,0 J/gK na 1,75 J/gK. Prudší růst obou veličin byl pozorován nad 400 °C, pravděpodobně vlivem strukturálních změn. Průběh sledovaných veličin se s rostoucí teplotou mění, což je znázorněno na obr. 3.



Obr. 1 Přístroj Linseis LFA 500

Fig. 1 The Linseis LFA 500 device



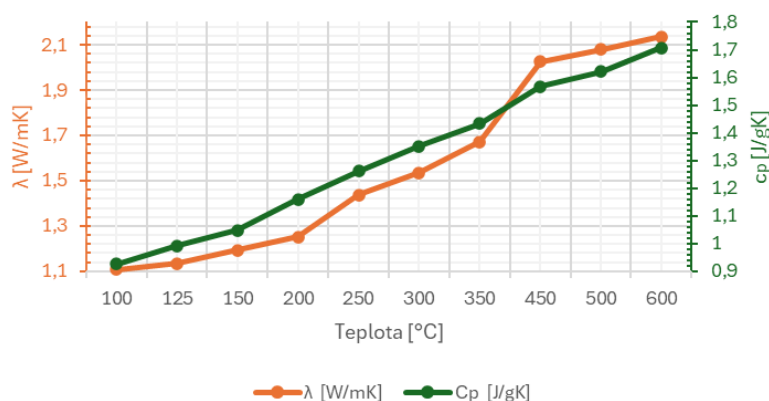
(A)



(B)

Obr. 2 (A) Grafitová vrstva na vzorku; (B) Vzorek před vložením do přístroje

Fig. 2 (A) Graphite layer on the sample; (B) The sample before being put into the device



Obr. 3 Výsledné hodnoty λ a c_p v závislosti na teplotě

Fig.3 Resulting values of λ and c_p depending on the temperature

MODELOVÁNÍ SKLENĚNÉHO NOSNÍKU

Předběžný numerický model popisuje vedení tepla v nosném prvku z vrstveného skla. Materiálové vlastnosti závislé na teplotě jsou převzaty z výše popsanych experimentů. Model zohledňuje:

- teplotně závislé λ a c_p (z experimentu),
- rozhraní sklo–mezivrstva–sklo,
- asymetrické zatížení a okrajové podmínky [1, 7]

Simulace umožňuje predikci teplotního pole ve vrstveném skle. Dosavadní validace z literatury prokázala shodu s naměřenými teplotami. Dosavadní studie zaměřené na modelování skleněných nosníků zjistily, že případné selhání za zvýšených teplot může být ovlivněno např. mikrotrhlinami a výrobními vadami [8, 9]. V rámci diplomové práce bude model porovnán s reálnými požárními zkouškami.

Závěr

Článek shrnuje poznatky o chování skla při požáru a prezentuje výsledky měření tepelných vlastností. Naměřené hodnoty jsou využity v numerickém modelu, který umožňuje simulovat rozložení teplot konstrukcí z vrstveného skla. V další fázi bude model validován požárními testy s cílem přispět k metodice návrhu skla s požární odolností.

LITERATURA

- [1] BEDON, Chiara a Christian LOUÏER. Thermo-mechanical numerical analyses in support of fire endurance assessment of ordinary soda-lime structural glass elements. *Journal of Structural Fire Engineering* [online]. 2023, **14**(4), 522–546. ISSN 2040-2317. Dostupné z: doi:10.1108/JSFE-01-2023-0003
- [2] PROF. ING. ELIÁŠOVÁ, Martina, CSc. Nosné konstrukce ze skla. In: . prezentace. Praha. 2025.
- [3] BEDON, Chiara, Michel ARRIGONI, Filipe SANTOS a Lucia FIGULI. Advancements in Design and Analysis of Protective Structures. *Advances in Civil Engineering* [online]. 2018, **2018**(1), 7024982. ISSN 1687-8094. Dostupné z: doi:10.1155/2018/7024982
- [4] FANDERLIK, Ivan. *Vlastnosti skel*. první. B.m.: Informatorium, 1996. ISBN 80-85427-91-5.
- [5] KOUDIJS, Johan a Csilla CSÖKE. Fire resistance without fire resistant glazing. *MATEC Web of Conferences* [online]. 2013, **9**, 02001. ISSN 2261-236X. Dostupné z: doi:10.1051/mateconf/20130902001
- [6] KOZŁOWSKI, Marcin a Chiara BEDON. Sensitivity to Input Parameters of Failure Detection Methods for Out-of-Plane Loaded Glass Panels in Fire. *Fire* [online]. 2021, **4**(1), 5. ISSN 2571-6255. Dostupné z: doi:10.3390/fire4010005
- [7] Villari, V. A new generation of fire resistant glazing. In: Glass Performance Days Proceedings, 2007.
- [8] Rutledge, S. Heat transfer and fire-rated glazing. *Glass Magazine*, February 2006.
- [9] Mockel, M. Fire resistance of point-fixed glass systems. In: Glass Performance Days Proceedings, 2007

ANALÝZA VLIVU OCHRANNÉ VRSTVY NA POŽÁRNÍ ODOLNOSTI ŽELEZOBETONOVÝCH PRVKŮ ZESÍLENÝCH INOVATIVNÍM SYSTÉMEM UHLÍKOVÝCH LAMEL

ANALYSIS OF THE EFFECT OF THE PROTECTIVE LAYER ON THE FIRE RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS STRENGTHENED WITH THE SYSTEM OF AN INNOVATIVE CARBON FIBER PLATES

Bc. Ondřej Kučava

Abstract

Nowadays, there is an increasing demand for enhancing the load-bearing capacity or reconstructing existing structures. This article presents the reasons why structures need to be strengthened, as well as specific methods for doing so. It focuses on the use of carbon fiber plates systems. This method is widely used, but it faces a significant issue: high temperatures. The carbon plate itself has zero fire resistance, and the adhesives used for its application are highly sensitive to the effects of elevated temperatures. This issue is solved by applying additional fire protection. Various types of fire protection are described here, and one specific solution is selected for further detailed discussion. A list of Czech manufacturers of fire protection systems is also provided. Finally, a parametric study is presented, focusing on the relationship between the temperature of the carbon fiber plate adhesive beneath the protective layer and the thickness of the protective layer when exposed to fires of varying durations.

Key words: *Temperature of glass transition; Carbon-fiber reinforced polymer; Fire protection; Experiments; Heat resistant plaster.*

ÚVOD

Už několik desítek let je beton nejpoužívanějším stavebním materiálem a jeho spotřeba stále narůstá. Beton má sám o sobě velmi dobré mechanické vlastnosti v tlaku, ale v tahu už tomu tak není. Z tohoto důvodu je do betonu přidávána ocelová výztuž, která přebírá tahové namáhání.

Mnoho původních staveb i novostaveb využívá nosných konstrukcí ze železobetonu, či prostého betonu. Působením času, vlivem prostředí a dalšími vlivy dochází k degradaci staveb a tyto objekty musí být opraveny, či rekonstruovány.

V dnešní době se stává stále běžnějším a využívanějším způsobem zesilování konstrukcí pomocí kompozitních materiálů. Vlákný vyztužovaný polymerní materiál jsou kompozity skládající se ze dvou hlavních komponentů, vysokopevnostních vláken a pojiva, tj. matrice. Vlákná ve FRP (z angl. Fiber reinforced polymer) materiálech jsou hlavním nositelem pevnostních vlastností a vykazují velmi vysokou pevnost a tuhost při namáhání tahem. FRP materiály se obvykle skládají z několika milionů těchto velmi tenkých vláken. Polymerní matrice chrání vlákna před poškozením a zajišťuje polohu jednotlivých vláken a také roznáší působící namáhání na všechna vlákna rozmístěná v tomto kompozitu. Na obr. 1 je možné vidět příklad zesílení konstrukce.



Obr. 1 Příklad zesílení konstrukce [1]

*Fig. 1 An example of structural reinforcement [1]***UHLÍKOVÉ LAMELY**

Uhlíkové lamely se používají jako dodatečná externě lepená tahová výztuž. Tvoří je jednosměrná uhlíková vlákna. Vlákná jsou spojená speciální syntetickou za tepla tuhnoucí pryskyřicí. Mezi důvody, proč zesilujeme konstrukce, patří např. zhoršení technického stavu konstrukce, změna účelu užívání stavby, zvýšení zatížení atd.

Existuje mnoho metod, jak uhlíkové lamely aplikovat na zesilované konstrukce. Mezi nejčastější patří metoda NSM (z angl. Near surface mounted) a metoda EBR (z angl. Externally bonded reinforcement). Při správném provedení metod můžeme dosáhnout efektivního spojení lamely a betonu, což zapříčiní nárůst únosnosti a stability konstrukce. Metoda NSM vkládá uhlíkovou výztuž do předem vyfrézovaných drážek v betonu, zatímco metoda EBR lepí uhlíkovou výztuž na povrch konstrukce a tím pádem není do zesilované konstrukce nějak zasahováno. [2]

POŽÁRNÍ ODOLNOST UHLÍKOVÝCH LAMEL

Uhlíkové lamely samy o sobě vykazují nulovou požární odolnost, což je v porovnání s jinými materiály činí citlivé na kritické teploty kolem 200-300 °C, při kterých ztrácí schopnost fungovat. Uhlíkové lamely jsou zároveň i hořlavými materiály a může tedy vznikat riziko vzplanutí samotné lamely.

Nejkritičtější místem celého systému je ale stále pojivová matrice, konkrétně epoxidová pryskyřice, která se při vystavení požáru taví. Ta postupně ztrácí schopnost adheze k materiálu a uhlíková lamela se začíná odlepovat – přestává spolupůsobit s konstrukcí a přenášet působící zatížení.

Důležitým termínem v rámci tepelných odolností je teplota sklovatění matrice, značená jako T_g . Při této teplotě dochází ke sklovatění matrice a ta postupně ztrácí přilnavost až dojde k odlepení lamely. Tato teplota je různá pro různé druhy lepidel. Epoxidové pryskyřice dosahují nejvyšších kritických teplot sklovatění pryskyřice.

K omezení dosažení teploty sklovatění lepidel se používají ochranné vrstvy (materiály), které omezují šíření tepla a ohřev lepidel na kritickou teplotu.

Třída reakce na oheň uhlíkového vlákna: **A1**

Třída reakce na oheň epoxidu: **E-F**

Třída reakce na oheň uhlíkové lamely: **E-F**

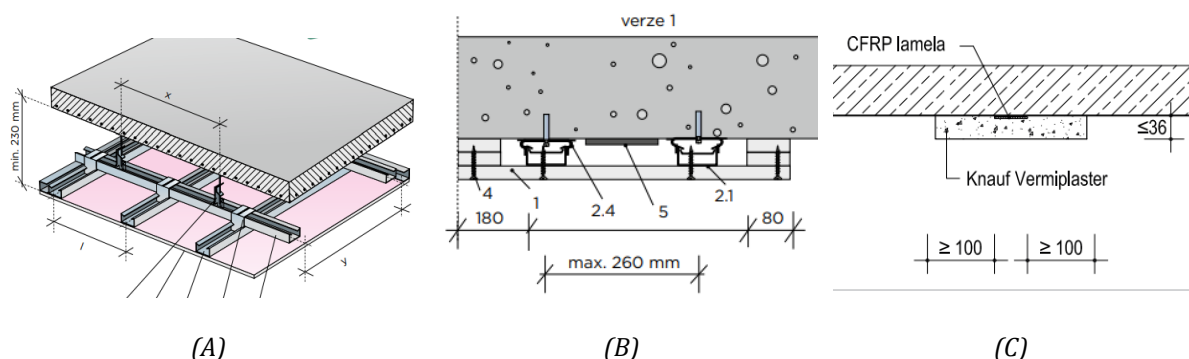
ZPŮSOB OCHRANY LAMEL

Existuje několik způsobů, jak lamely chránit před účinky vysokých teplot. K nejběžnějším způsobům ochrany patří protipožární podhled, obklady a povrchové úpravy. Do povrchových úprav pak řadíme omítky, nástřiky a nátěry.

Nejběžnějším a nejčastěji používaným způsobem ochrany uhlíkových lamel jsou požární podhledy, viz Obr. 2, které zajišťují požární odolnost celé konstrukce. Tato metoda spočívá v tom, že v celé šířce stropu se provede svěšená konstrukce se záklopem ze sádrokartonových desek. Kromě toho, že toto řešení je relativně nákladné, dochází i k přetížení nosné konstrukce, ke které je podhled přichycen a k snížení světlé výšky prostoru.

Jednou z dalších nejčastěji používaných metod ochrany uhlíkových lamel jsou protipožární obklady, viz Obr. 2. Obklady se vyrábějí z celé řady materiálů, mezi nejpoužívanější patří sádrovláknité desky, kalcium-silikátové desky, minerální desky s kovovými vložkami atd. Obklady se používají v různých tloušťkách podle požadované požární odolnosti a kritické teploty lepidla. Značnou výhodou obkladů je fakt, že minimálně ovlivňují světlou výšku prostoru.

Poslední méně používanou metodou ochrany uhlíkových lamel jsou povrchové úpravy, konkrétně se jedná o omítky, nástřiky a nátěry, viz obr. 2. Tyto požární ochrany se musí nanášet po jednotlivých vrstvách, kdy počet vrstev je závislý na požadované požární odolnosti. To je jedna z nevýhod těchto ochran, jelikož čím více vrstev, tím je delší doba instalace.



Obr. 2 (A) Lamela chráněna podhledem [4], (B) Lamela chráněna obkladem [5], (C) Lamela chráněna omítkou [4]

Fig. 2 (A) Carbon plate protected by plasterboard ceiling [4], (B) Carbon plate protected by cladding [5], (C) Carbon plate protected by plaster [4]

VÝROBCI POŽÁRNÍCH OCHRAN V ČR

Dnes je na trhu mnoho výrobců protipožárních ochran, jejichž produkty zajišťují navýšení požární odolnosti konstrukcí. Bohužel ne každý výrobek je vhodný pro všechny druhy materiálu a většina výrobků je navržena pouze pro konstrukce nezesílené uhlíkovou lamelou.

Každý výrobce má pro různé kritické teploty jiné požadavky na tloušťku ochranné vrstvy. Zároveň má velký vliv na tloušťku ochranné vrstvy i typ materiálu, ze kterého je ochranný prvek vyroben. Každý materiál má jiné tepelné technické vlastnosti, které se nakonec promítnou v požadované tloušťce ochranné vrstvy.

V tab. 1 je uveden výčet českých výrobců protipožárních ochran s deklarovanými PO, teplotami sklovatění a tloušťkami ochranných vrstev.

Tab. 1 Čeští výrobci požárních ochran

Tab. 1 Czech manufactures of fire protection systems

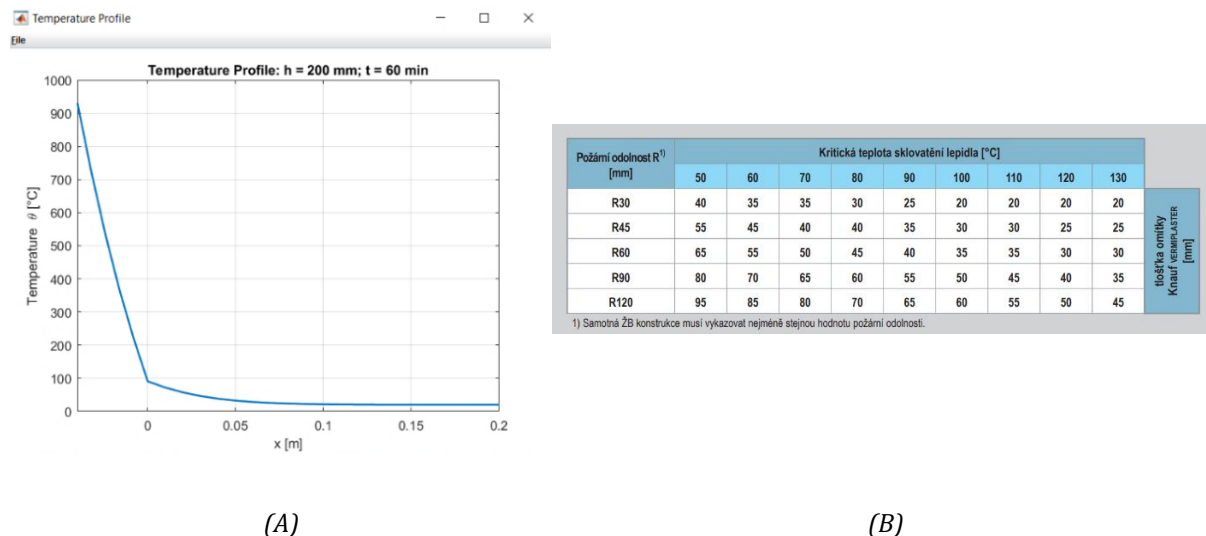
Materiál	Typ	Výrobce	PO [min]	Teplota sklovatění lepidla [°C]	Tloušťka [mm]	Tloušťka pro max. PO a teplotu [mm]
Sádrokarton	Podhled	Knauf	15-120	X	12,5-50	50
Sádrovlákno	Obklad	Rigips	30-180	50-130	15-135	75
Minerální vlákno	Obklad	J. Seidl & spol.	30-120	50-90	40-180	140
Vermikulit	Obklad	Grena	30-120	50-130	50-80	80
Cementová-penné	Obklad	Promat	30-180	50-120	25-100	70
Vermikulit	Omítka	Knauf	30-120	50-130	20-95	45

ANALÝZA OCHRANNÉ OMÍTKY

V rámci semestrální práce byl vybrán jeden způsob ochrany uhlíkových lamel a ten podrobněji zkoumán. Zároveň byla provedena parametrická studie závislosti teploty lepidla lamely pod ochranou vrstvou na tloušťce ochranné vrstvy při vystavení různým délkám požáru.

Pro začátek byla použita již existující tabulka tloušťek omítek v závislosti na teplotní odolnosti lepidla od výrobce Knauf, viz obr. 3. Tyto tloušťky omítek byly zadávány do výpočetního programu přestupu tepla konstrukcí TempAnalysis. [3] Pro každou tloušťku omítky a délku požáru byly změřeny teploty v oblasti lamely. Na obr. 3 je uveden příklad teplotního profilu pro tloušťku omítky 40 mm a délku požáru 60 minut.

Poté se přistoupilo k analýze dalších tloušťek, které už výrobcem nebyly certifikovány.



Obr. 3 (A) Příklad teplotního profilu, (B) Tabulka tloušťek omítek Knauf Vermiplaster [4]

Fig. 3 (A) Example of a temperature profile, (B) Thickness table of Knauf Vermiplaster coatings[4]

ZÁVĚR

Dosavadní výsledky a rozpracovanost jsou v bodě, kdy je daná problematika náležitě zmapována. Byly stanoveny způsoby ochrany uhlíkových lamel, kdy následně byla jedna z těchto metod podrobně řešena. Byl stanoven model a postup řešení pro určování jednotlivých teplotních odolností lepidel. Konečným řešením by pak mělo být zpracování spočtených dat a vytvoření nové rozšířené tabulky s ohledem na různě teplotně odolná lepidla a tloušťky ochranné vrstvy, konkrétně omítky.

LITERATURA

- [1] NIMSOVÁ, Bamp, Stado special construction | speciální stavební práce. *Stado special construction / speciální stavební práce* [online]. [vid. 2025-05-12]. Dostupné z: <http://www.stado.cz/statika-carbo-system>
- [2] CFRP Strengthening of RC Structures using the NSM Technique [online]. [vid. 2025-04-13]. Dostupné z: <https://www.rhinocarbonfiber.com/cfrp-strengthening-of-rc-structures-using-the-nsm-technique>
- [3] Radek Štefan [online]. [vid. 2025-05-18]. Dostupné z: <https://people.fsv.cvut.cz/~stefarad/software/ta/ta.cz.html>
- [4] protipožární katalog Knauf 4277-pozarni-katalog-knauf-2019.pdf [online]. [vid. 2025-05-12]. Dostupné z: https://www.knauf-centrum.cz/fotky13441/navody/pro_tipo%C5%BE%C3%A11ipo%C5%BE%C3%A11rn%C3%AD%20katalog%20Knauf%204277-pozarni-katalog-knauf-2019.pdf
- [5] 1453c734-e12d-46fd-84b7-777bdbef27e0.pdf [online]. [vid. 2025-05-12]. Dostupné z: <https://api.pro-fikalkulator.rigips.cz/documentation-access/1453c734-e12d-46fd-84b7-777bdbef27e0>

EXPERIMENTÁLNÍ A NUMERICKÁ ANALÝZA RŮZNÝCH DRUHŮ BETONŮ TUNELOVÝCH OSTĚNÍ VYSTAVENÝCH POŽÁRU

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL ANALYSIS OF DIFFERENT TYPES OF TUNNEL LINING CONCRETES EXPOSED TO FIRE

Anna Lisová

Abstract

This research focuses on the issue of fire safety in tunnel structures, specifically examining the behaviour of concrete linings when exposed to high temperatures. The aim of the study is to experimentally assess the effectiveness of various concrete mixtures containing polypropylene fibers and using air entrainment to prevent critical phenomenon during tunnel fires that poses a serious threat to structural integrity and safety. A large-scale fire test was conducted to observe material degradation processes and changes in mechanical properties under high temperatures. The findings provide valuable insights into the performance of modified concrete mixtures and contribute to the optimization of design methodologies and the development of new recommendations for fire-resistant tunnel structures.

Key words: Air entrainment; concrete mix design; concrete specification; fire resistance; large-scale fire test; material degradation; moisture; polypropylene fibers; spalling; tunnel linings.

ÚVOD

Bezpečnost podzemních staveb, a zejména tunelových konstrukcí, se v posledních desetiletích stala jedním z klíčových aspektů moderní dopravní infrastruktury. S rostoucím počtem tunelů a intenzitou provozu vzrůstá i důraz na jejich provozní spolehlivost a odolnost vůči extrémním událostem, mezi které patří i požáry. Požáry v tunelech představují z hlediska statiky a bezpečnosti uživatelů vysoce rizikovou událost, která může vést nejen k výraznému poškození konstrukce, ale i k jejímu selhání a ztrátách na životech. Vysoké teploty působící na betonové ostění způsobují změny fyzikálně-mechanických vlastností materiálu, urychlují jeho degradaci a mohou vést k jevu známému jako odštěpování (spalling), jenž je závažným problémem z pohledu celkové integrity konstrukce. Problematika odštěpování je u tunelových staveb velkým tématem, proto si tato práce klade za úkol rozšířit poznání této problematiky a přispět k dalšímu průzkumu pomocí velkorozměrové požární zkoušky.

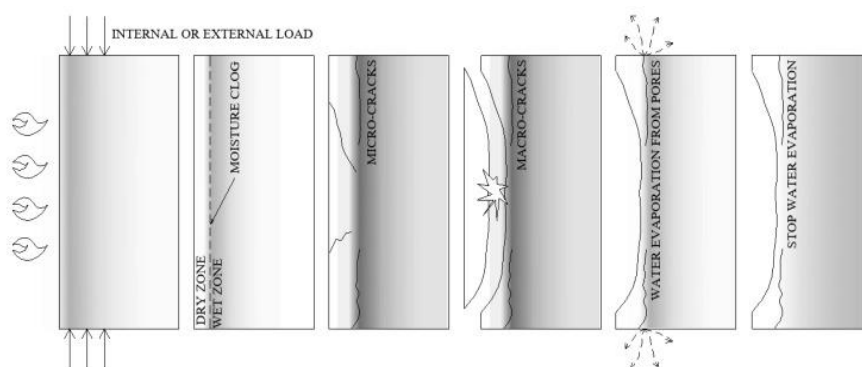
ODŠTĚPOVÁNÍ BETONU

K explozivnímu odštěpování dochází, když je beton náhle vystaven rychlému zahřívání (obr. 1). Voda uvnitř betonu se rychle mění na páru, která se snaží expandovat na povrch a ven z konstrukce. Pokud pára nemá možnost uniknout, vzniká v materiálu extrémní tlak, který může vést k odštěpování

a odpadávání betonových vrstev často i v hlubších partiích. V této zóně se zvyšuje pórový tlak vodní páry, která působí tlakem na vnitřní strukturu materiálu. Když tento tlak překročí pevnost betonu v tahu, dochází k odštěpování.

Odštěpování lze předcházet několika způsoby, které jsou v rámci této práce zkoumány. Použitím polypropylenových vláken, která při vysokých teplotách (170-175°C) tavením vytvářejí další unikové cesty pro páru. Dále lze tomuto jevu předcházet pomocí optimalizace vlhkostního součinitele betonu, jelikož vysoký obsah počáteční vody zvyšuje riziko odštěpování. Správným návrhem složení směsi např. snížení hutnosti pomocí provzdušnění nebo například použití správného kame-niva.

Na základě přechozího zkoumání [1] můžeme popsat různé druhy odštěpování. Rozlišujeme odštěpování kameniva (A), povrchové odštěpování (B), explozivní odštěpování (C), odštěpování rohů konstrukce (D) a odštěpování vlivem chladnutí konstrukce (E). Jednotlivé typy můžeme vidět na obr. 2.



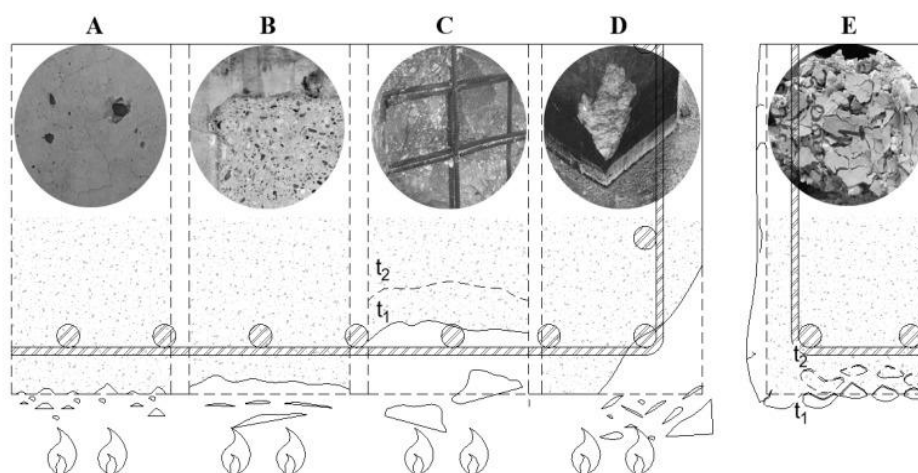
Obr. 1 Průběh odštěpování [10]

Fig. 1 Progress of spalling [10]

VLIV SLOŽENÍ BETONU NA ODŠTĚPOVÁNÍ

Beton je kompozitní materiál, jehož výsledné vlastnosti závisí na přesném poměru a kvalitě jednotlivých složek. Norma [2] stanovuje základní požadavky na složení betonu a popisuje jednotlivé složky, ze kterých se beton připravuje. Beton podle této normy se skládá z pěti základních složek: cementu, kameniva, vody, příměsí a přísad. Použití těchto složek je dále specifikováno v předpisech, jako například doporučené množství přidávání polypropylenových vláken dle ČSN EN 1992 1-2 [3].

Jedním z přístupů ke zvýšení požární odolnosti betonu je úprava jeho složení prostřednictvím příměsí, především polypropylenových vláken, a optimalizací například pomocí provzdušnění. Polypropylenová vlákna vytváří při působení tepla tavením mikro kanálky [4], které umožňují únik vodní páry a snižují riziko explozivního odštěpování. Provzdušněné betony pak díky svému vnitřnímu pórovitému systému mohou rovněž napomáhat vnitřnímu tlakovému vyrovnání.



Obr. 2 Druhy odštěpování betonu [10]

Fig. 2 Types of concrete spalling [10]

VELKOROZMĚROVÁ POŽÁRNÍ ZKOUŠKA

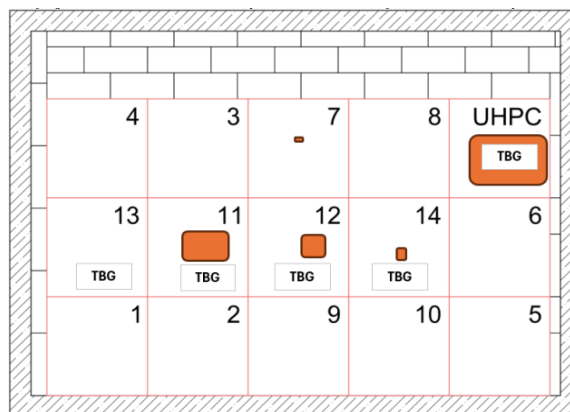
Příprava a průběh

Cílem experimentu bylo ověřit chování vybraných specifikovaných betonových směsí vyrobených v různých betonárnách. Směsi byly specifikovány pomocí parametrů požadovaných dle ČSN EN 206+A2, mezi které patřila pevnostní třída a třída prostředí jako povinné parametry. Dále byly přesně zadány požadavky na množství polypropylenových (PP) vláken a míra provzdušnění betonu. Ostatní parametry, jako například typ kameniva, množství cementu, druhy a množství přísad (např. plastifikátorů), byly ponechány na uvážení jednotlivých betonáren. Míra odštěpení a chování jednotlivých směsí bude analyzována na základě zadaných parametrů i zbytku přísad, které byly zvoleny nezávisle betonárnou.



Obr. 3 Zkušební rám po otevření pece

Fig. 3 Test frame after furnace opening



Obr. 4 Rozmístění panelů při požární zkoušce

Fig. 4 Setup for fire test [11]

Hlavní část experimentu byla požární zkouška panelů (obr. 3) a testování mechanických vlastností doprovodných vzorků jak při běžné, tak i při zvýšené teplotě. Celkem bylo testováno 15 panelů o rozměru 950x950x150mm a 45 doprovodných vzorků, které byly umístěny do stěnové pece. Ve zkušební peci byla nasimulována uhlovodíková teplotní křivka dle ČSN EN 1991-1-2. Tento typ teplotního zatížení byl zvolen se záměrem, co nejlépe nasimulovat požár vznikající v tunelech. Tento typ požáru je charakteristický velmi rychlým náběhem vysokých teplot a extrémní intenzitou. Maximální dosažitelná teplota uhlovodíkové křivky činí přibližně 1100 °C.

Vyhodnocení

Vzhledem k velkému objemu vzorků uvnitř pece a velkému množství zkoušených panelů nebyla v prvotní fázi zahřívání dosažena rychlost nárůstu teplot, jak předepisuje uhlovodíková teplotní křivka. Beton umístěný ve zkušební peci a jeho vysoká tepelná kapacita zapříčinila odebírání velkého množství tepelné energie. Po zahřátí betonových vzorků se teplota v peci začala zvedat k požadovaným teplotám a po 60 minutách dosáhla uhlovodíkové křivky na maximální teplotu 1150 °C.

Požární zkouška potvrdila výskyt několika druhů odštěpení, které jsou vidět na Obr. 1. Největší výskyt odštěpení byl pozorován na panelech 11 a 12, které byly porušeny povrchovým odštěpením. Tyto panely nebyly vyztuženy polypropylenovými vlákny ani nebyly provzdušněny žádnými přísadami. Panel 11 měl oproti panelu 12 vyšší pevnost a to C30/45. Porušení u ostatních vzorků bylo způsobeno především odštěpením kameniva, které bobtnalo a způsobovalo porušení povrchu. Schématické zobrazení odštěpení viz obr. 4. V rámci vyhodnocení zkoušky byly všechny panely po zkoušce zváženy, byla provedena Schmidtova tvrdostní zkouška. Odštěpení na panelech bylo dále detailně změřeno, označeny všechny trhliny a byla zaměřena hloubka odštěpení. Doprovodná tělesa, která vydržela pohromadě byla převezena na fakultu. Na těchto vzorcích se zkoušela reziduální pevnost v tlaku.

ZÁVĚR

Na základě získaných poznatků lze konstatovat, že problematika složení betonových směsí a vliv jednotlivých složek, zejména kameniva, na požární odolnost betonu má podstatný vliv. Problematika odštěpování je široce probíraná tematika a v současné době se ví, že ji ovlivňuje několik faktorů. Zaměřením se na jednotlivé faktory by se dalo vyvinout natolik dokonalou směs, aby při požárech nevykazovala žádné známky odštěpování. Dosáhnout takového stavu je odvážné a cílevědomé řešení, ale určitě není nedosažitelné. Poznatky z provedeného experimentu mohou přispět k vývoji lepších, bezpečnějších a odolnějších betonových směsí. Výsledky této práce budou dále navazovat na mou diplomovou práci, ve které se budu věnovat numerické vizualizaci odštěpených panelů pomocí programu SVDult [5] a numerickému modelování odštěpení pomocí programu HygroThermAnalysis [6].

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé semestrální práce Radku Štefanovi a celému týmu z Katedry betonových konstrukcí za cenné rady, pomoc s experimentem a ochotu, kterou mi během semestru věnovali. Bez jejich pomoci a vstřícnosti by tato práce v této podobě nemohla vzniknout. Především děkuji za jejich čas, který do toho investovali.

LITERATURA

- [1] Izabela Hager, Katarzyna Mróz, Causes and Mechanism of Concrete Spalling under High Temperature Caused by Fire, Kraków, Poland: Cement Wapno Beton, 2017.
- [2] ČSN EN 206 – Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, Praha: Český normalizační institut, 2021.
- [3] ČSN EN 1992-1-2 Eurokód 2 ed. 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1- 2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru, Praha: Český normalizační institut, 2024.
- [4] Felipe Alves Amancio, Maria Fabíola de Carvalho Rafael, „Behavior of concrete reinforced with polypropylene fiber exposed to high temperatures,“ Procedia Structural Integrity, pp. 91-98, ISSN 2452-3216 2018.
- [5] Štefan Radek, Marek Foglar, SVDult - Software pro vizualizaci dat z ultrazvukového měření betonových vzorků, Praha: ČVUT, 2015.
- [6] Radek Štefan, Michal Beneš, HygroThermAnalysis, Praha: ČVUT, 2010.
- [7] Rijaniaina Nirry Razafinjato, Anne-Lise Beaucour, Ronan L. Hebert, Béatrice Ledesert, Raphaël Bodet, Albert Noumowe, „High temperature behaviour of a wide petrographic range of siliceous and calcareous aggregates for concretes,“ Construction and Building Materials, pp. 261-273, 1 Říjen 2016.
- [8] Michálková, Kateřina, Analýza chování betonu pro tunelová ostění za vysokých teplot, Praha: ČVUT FSv, 2025.
- [9] L. D'Aloia, F. Robert, „Improving the behavior of concrete exposed to fire by using an air entraining agent (AEA): Assessment of spalling,“ EDP Sciences, pp. 02007-p.2-02007-p.8, 2013.
- [10] Izabela Hager, Katarzyna Mróz, Role of Polypropylene Fibres in Concrete Spalling Risk Mitigation in Fire and Test Methods of Fibres, Basel: Faculty of Civil Engineering, Cracow University of Technology, 2019.
- [11] Roman Chylík, Předběžný souhrn požárních zkoušek materiálů betonového tunelového ostění konané ve zkušebně Afire, Praha: ČVUT, 2025.

VÝVOJ SOFTWAREVÝCH NÁSTROJŮ PRO POSUZOVÁNÍ POŽÁRNÍ ODOLNOSTI BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

DEVELOPMENT OF SOFTWARE TOOLS FOR ASSESSING THE FIRE RESISTANCE OF CONCRETE STRUCTURES

Bc. Lucie Vejvoda

Abstract

The fire resistance of building structures is a key parameter in ensuring the safety of buildings in the event of a fire. This article summarizes the basic principles of assessing the fire resistance of concrete structures according to the current standard ČSN EN 1992-1-2 and outlines the changes associated with the transition to its new edition, which will come into effect in October 2027. The article also presents a web application being developed for the automated assessment of fire resistance of structural elements. The web application is based on algorithmic calculations in accordance with the new standard, aiming to improve the accuracy, efficiency, and accessibility of the assessment process. Thanks to the use of modern web technologies (HTML, CSS, JavaScript), the tool will be freely accessible in a web browser without the need for installation.

Key words: fire resistance assessment of structures; concrete structures; tabulated fire resistance; eurocode; web application

ÚVOD

Požární odolnost stavebních konstrukcí je jedním ze základních parametrů zajišťujících bezpečnost budov při vzniku požáru. V případě mimořádné události je nezbytné, aby nosné konstrukce byly schopny po určitou dobu odolávat působení vysokých teplot, aniž by došlo k jejich selhání. Tím se zajišťuje čas pro evakuaci osob, zásah záchranných složek a omezení materiálních škod.

U betonových konstrukcí se skutečná požární odolnost stanovuje podle ČSN EN 1992-1-2 [1, 2]. Při navrhování je nezbytné, aby skutečně dosažená požární odolnost konstrukčního prvku byla vyšší nebo alespoň rovna požadované hodnotě dle souboru norem pro požární bezpečnost staveb ČSN 73 08xx.

V říjnu 2027 vstoupí v platnost nové znění výše uvedeného eurokódu [1], které přináší do posouzení požární odolnosti betonových konstrukcí řadu změn. Vzhledem k těmto změnám už nadále nebude možné využívat dostupné pomůcky, mezi které patří například publikace *Hodnoty požární odolnosti stavebních konstrukcí podle Eurokódů* [3].

V rámci mé semestrální práce a následně diplomové práce je proto vytvářena webová aplikace, která bude navržena v souladu s novým zněním eurokódu a bude sloužit jako moderní výpočetní pomůcka pro posuzování požární odolnosti betonových konstrukčních prvků.

Hlavní motivací pro tvorbu tohoto nástroje bylo eliminovat možné chyby, které mohou při ručním tabulkovém posouzení vznikat, a především zrychlit a zefektivnit celý proces navrhování.

Podoba a funkčnost této aplikace je podrobněji popsána v následujících částech článku.

POŽÁRNÍ ODOLNOST

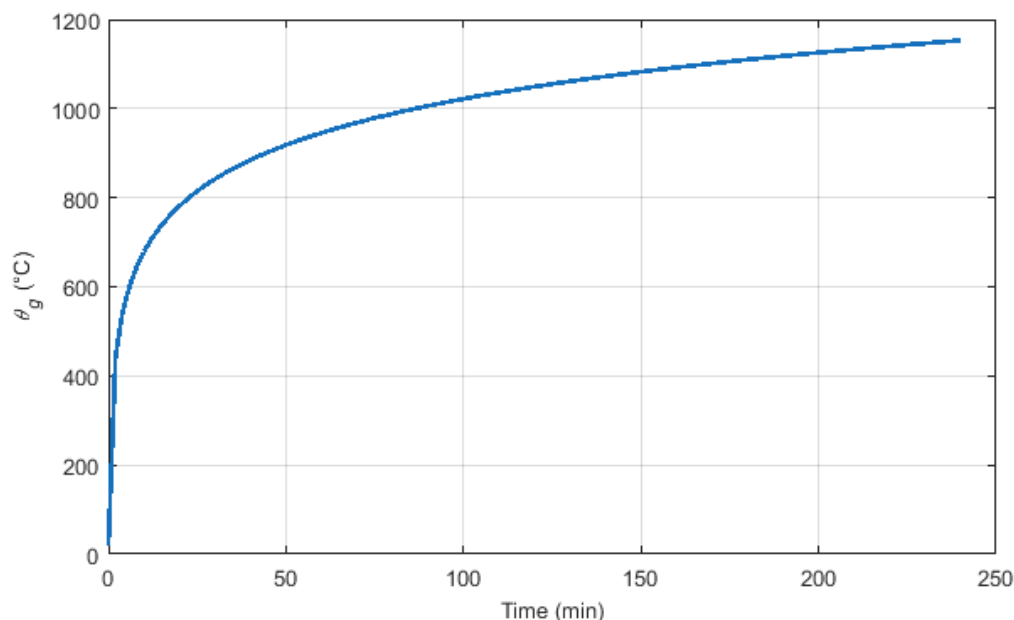
Požární odolnost se definuje jako doba, po kterou konstrukční prvek odolává účinkům požáru, přičemž plní své požadované funkce. Nejčastěji se posuzuje schopnost prvku zachovat nosnost (R – resistance), celistvost (E – integrity) a izolační schopnost (I – insulation).

Tyto parametry se vyjadřují v minutách (např. R60, REI120) a stanovují se podle standardizovaného teplotního průběhu požáru, tedy průběhu požáru dle normové teplotní křivky ISO 834 [1] (viz Obr. 1), která simuluje vývoj teploty během požáru za předpokladu plně rozvinutého požáru v uzavřeném prostoru. Vlivem vysokých teplot dochází ke změnám fyzikálních a mechanických vlastností materiálů, což může ovlivnit únosnost a stabilitu konstrukce.

Podle ČSN EN 1992-1-2 [1, 2], vztah 3.4 je normová teplotní křivka popsána rovnicí:

$$\theta_g = 20 + 345 \times (8 \times t + 1) \quad (1)$$

Kde θ_g je teplota plynu v požárním úseku [$^{\circ}\text{C}$] a t je čas [min].



Obr. 1 Průběh normové teplotní křivky (ISO 834) [4]

Fig. 1 Course of the standard temperature-time curve (ISO 834) [4]

Požadavky na požární odolnost jsou dány legislativou a normami a liší se např. podle typu objektu, jeho využití a požární výšky. Pro posuzování požární odolnosti betonových konstrukcí se uplatňuje norma ČSN EN 1992-1-2, která je součástí souboru evropských konstrukčních předpisů známých jako Eurokódy. Podle této normy lze požární odolnost betonových prvků stanovit třemi způsoby: tabulkovými metodami, zjednodušenými výpočtovými metodami a zpřesněnými výpočtovými metodami. Tato práce se zaměřuje výhradně na posuzování pomocí tabulkových metod.

Podle normy ČSN EN 1992-1-2 se požární odolnost betonových konstrukcí stanovuje tabulkovými metodami pro následující typy konstrukčních prvků: sloupce, desky, tažené prvky, nosníky a stěny. U sloupů norma uvádí metodu A, metodu B a dále metodu pro štíhlé sloupce, která je popsána v příloze C – Vzpěr sloupů při požární situaci. U desek se tabulkové posouzení liší podle konstrukčního uspořádání, hodnotíme tedy prostě podepřené plné desky, spojitě plné desky, lokálně podepřené desky nebo žebrové desky. Nosníky jsou podle normy posuzovány jako prostě podepřené nebo spojitě a stěny jsou posuzovány dle toho, zda jsou nosné či nenosné.

Stávající norma ČSN EN 1992-1-2:2006 [2] bude zrušena k datu 30. 3. 2028. Nahrazena bude novým zněním ČSN EN 1992-1-2 ed.2:2024 [1], které nabude účinnosti dne 1. 10. 2027. Nová edice přináší aktualizaci pravidel navrhování betonových konstrukcí z hlediska požární odolnosti na základě nových poznatků a vývoje v oboru. V praxi byla dosud hojně využívána publikace *Hodnoty požární odolnosti stavebních konstrukcí podle Eurokódů* [3], která sloužila jako pomůcka pro navrhování podle stávající normy. Po zavedení nové edice již tato publikace nebude aktuální.

VÝPOČETNÍ NÁSTROJ PRO POSUZOVÁNÍ BETONOVÝCH PRVKŮ ZA POŽÁRU

Součástí této práce je návrh a vývoj webové aplikace, která umožní automatizované posouzení požární odolnosti betonových konstrukčních prvků podle normy ČSN EN 1992-1-2 ed. 2. Hlavními výhodami použití výpočetního softwaru oproti ručnímu tabulkovému posuzování je především snížení chybovosti a zrychlení celého procesu posouzení. Při ručním vyhodnocování může snadno

dojít k nepřesnostem nebo přehlédnutí některých parametrů, což se použitím algoritmizovaného výpočtu významně eliminuje.

Webová aplikace je navržena jako bezplatná a volně dostupná, bez nutnosti instalace jakéhokoli softwaru do počítače, jelikož bude dostupná prostřednictvím běžného internetového prohlížeče.

Princip fungování aplikace je následující: uživatel nejprve zvolí typ posuzovaného prvku (např. stěna, sloup, nosník či deska). Dále zadá požadované vstupní údaje, jako jsou rozměry průřezu posuzovaného prvku, výška prvku, osová vzdálenost výztuže a další nezbytné parametry. Na základě těchto údajů aplikace pomocí výpočetních algoritmů automaticky určí požární odolnost prvku dle požadavků normy.

U některých konstrukčních prvků budou dostupné dvě varianty posouzení – zjednodušená, která bude požadovat méně vstupních údajů a poskytne konzervativní výsledek, a dále podrobná, která bude přesnější, avšak vyžaduje zadání více vstupních parametrů.

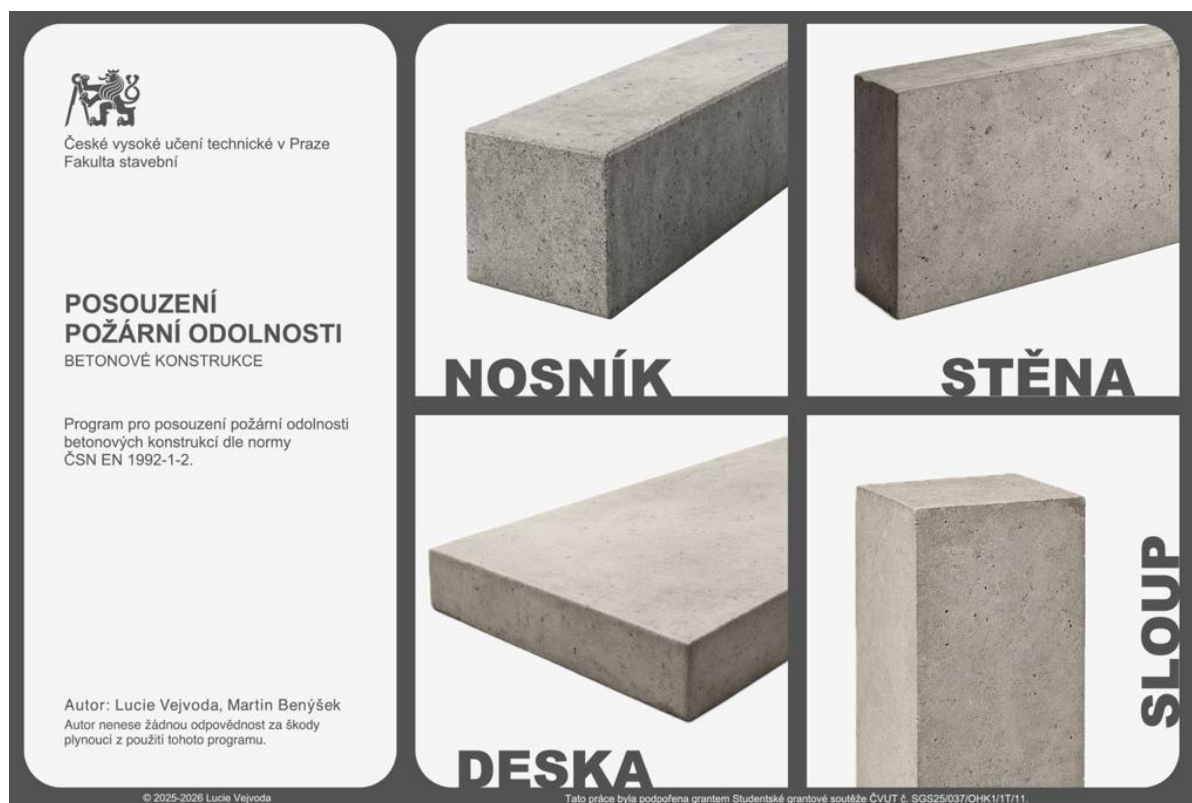
Pro samotnou implementaci byla zvolena kombinace webových technologií HTML, CSS a JavaScript, které společně umožňují vytvořit aplikaci přístupnou napříč zařízeními bez nutnosti instalace.

HTML (HyperText Markup Language) je využito k definování základní struktury stránky, tedy formulářů pro zadávání vstupních údajů i rozvržení obsahu.

CSS (Cascading Style Sheets) slouží ke grafickému stylování aplikace – zajišťuje přehledné a uživatelsky přívětivé rozhraní.

JavaScript tvoří klíčovou část funkčnosti – zpracovává vstupní údaje, provádí výpočetní algoritmy podle eurokódu a zajišťuje interaktivitu.

Na obrázku 2 je znázorněna úvodní stránka aplikace, kde uživatel vybírá typ konstrukčního prvku pro posouzení. Rozvržení bylo navrženo s důrazem na přehlednost a intuitivní ovládání.



Obr. 2 Ukázka hlavní stránky webové aplikace

Fig. 2 Web application – main interface preview

ZÁVĚR

Požární odolnost je zásadním aspektem bezpečnosti betonových konstrukcí, přičemž její správné posouzení může v krizových situacích rozhodnout o ochraně života a majetku. Nová edice normy ČSN EN 1992-1-2 přináší aktualizovaná pravidla navrhování, která reflektují současné technické poznatky a zpřesňují přístup k návrhu betonových prvků z hlediska požární bezpečnosti.

Součástí semestrální práce je nejen popis problematiky tabulkového posouzení požární odolnosti betonových konstrukcí, ale také souhrn rozdílů mezi dosavadním zněním normy ČSN EN 1992-1-2 [2] a jejím novým vydáním [1]. V návaznosti na tyto změny vzniká webová aplikace vycházející z nového znění Eurokódu. Jejím cílem je především snížit riziko chyb, které mohou vznikat při manuálním vyhodnocování dle tabulek, a zároveň zjednodušit a zefektivnit celý proces posuzování požární odolnosti. Díky přehlednému uživatelskému rozhraní, rychlému zpracování vstupních údajů a volné dostupnosti bez nutnosti instalace má aplikace potenciál stát se užitečnou pomůckou v oblasti požární bezpečnosti staveb.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS25/037/OHK1/1T/11.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 1992-1-2 ed.2:2024 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru
- [2] ČSN EN 1992-1-2:2006 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru
- [3] Zoufal, R. a kolektiv: Hodnoty požární odolnosti stavebních konstrukcí podle Eurokódů. Pavus, a.s., Praha 2009
- [4] BENÝŠEK, Martin a ŠTEFAN, Radek. FMC – Fire Model Calculator [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2018 [cit. 2025-05-17]. Dostupné z: <https://people.fsv.cvut.cz/~stefarad/software/fmc/fmc.cz.html>

ŘEŠENÍ SSHZ SPRINKLEROVÉHO TYPU V ADMINISTRATIVNÍ BUDOVĚ

SOLUTION OF FIXED FIREFIGHTING SPRINKLER SYSTEM IN OFFICE BUILDING

Bc. Jaroslav Majer

Abstract

The subject of this article is an automatic sprinkler fixed fire extinguishing system in administrative building. Article introduces the system itself and its components and demonstrates a solved example with the issue of sprinklers, focused on the comparison and possible application in the Czech Republic of a new type of sprinkler head, the so-called residential sprinkler.

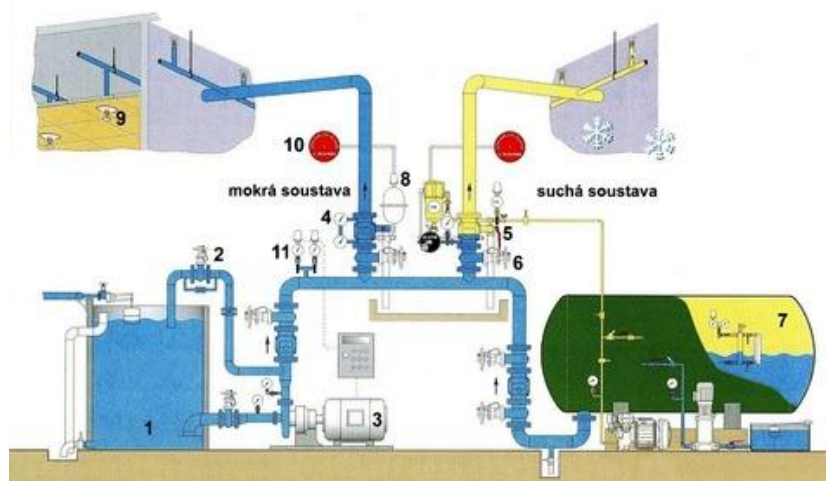
Key words: Fire sprinkler systems; office buildings; NFPA; ČSN; Residential sprinkler

ÚVOD

S narůstajícím technologickým pokrokem v lidské společnosti se přirozeně zvyšují i požadavky na náročnost budovy a jejich bezpečnost. V rámci požární ochrany a prevence představuje stabilní hasicí zařízení v dnešní době jediné zařízení, které je schopno efektivně uhasit požár v jeho počátku nebo usměrňovat jeho intenzitu či ochlazovat okolí požáru. Z tohoto důvodu je i zvyšující tlak zejména od pojišťoven na samotnou instalaci těchto systémů, a tedy snižování případného rizika rozvinutí požáru.

Prvky systému

Obecně stabilní hasicí zařízení je velice citlivý systém, kdy každá jeho součást musí být plně funkční pro efektivitu celku. Z tohoto důvodu jsou také navrhovány, udržovány a kontrolovány pravidelně prvky systému viz obrázek 1. Mezi prvotní můžeme zatřídit vodní zdroje, které pohání a zásobují systém, nejběžněji vodou, neboť voda je netoxická látka a zároveň finančně výhodná. Nejčastějším zdrojem vody je vodní zásobní nádrž, podzemní či nadzemní, rozhodujícím faktorem je často velikost pozemku, na kterém se nachází chráněný objekt. Další součástí systému je sestava čerpadel – hlavní, záložní a doplňkové. Nelze opomenout ventilovou stanici, která má za úkol dopravovat vodu do sprinklerové soustavy. Klíčovým prvkem jsou poté samotné potrubní rozvody, které jsou často i nejslabším místem systému, z důvodu koroze či netěsností. Koncovým prvkem jsou poté sprinklerové hlavice, které zajišťují potřebnou výstřikovou charakteristiku jejíž dopadem je uhašení začínajícího požáru či chlazení okolních konstrukcí a blízkého prostředí.[1]



Obr. 1 Jednotlivé komponenty systému SSHZ

Fig. 1 Individual sprinkler system components

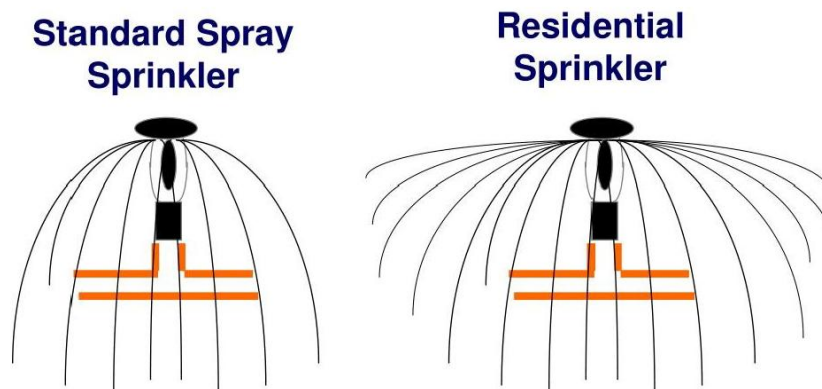
Novodobý fenomén – rezidenční sprinklery

Sprinklerový systém byl prvotně navržen pro zejména ochranu majetku, ovšem se zpřesňující statistikou požárů a úmrtí osob při nich, došlo k zjištění, že se tento počet neustále zvyšoval. Z tohoto důvodu se v USA již v minulém století zaměřili na možnou zvýšenou ochranu osob právě sprinklerovým systémem. [2]

Prvotním impulzem bylo prosazení a instalace tohoto systému do rodinných domů a objektů pro bydlení, neboť nejvíce obětí požáru je dodnes právě v těchto objektech. Aby se tento systém majitelům vyplatil, vytvořila národní asociace požární ochrany v Americe návrhové postupy dle NFPA 13D, 13R, které mají v mnoha případech úlevy a zlehčující požadavky oproti běžným sprinklerovým systémům dle NFPA 13. Ovšem určitá úroveň bezpečnosti je stále zajištěna. Mezi zlehčující požadavky, které samotný systém velice zlevňují patří například napájení systému z vodovodního řádu, zkrácená doba nutná pro dodávku vody, možné uplatnění plastového potrubí pro rozvod sprinklerů a zejména zatřídění objektu do lehké třídy nebezpečí. Třídy nebezpečí – lehká, střední, vysoká přímo ovlivňují návrhové parametry systému. Při lehké třídě nebezpečí nám vychází nejvyšší možná dovolená účinná plocha na jednu sprinklerovou hlavici. Neboli je potřebný menší počet hlavice do chráněného prostoru než například pro vysokou třídu nebezpečí, až několikanásobně. [2]

Rezidenční sprinkler má oproti běžnému sprinkleru naprosto odlišnou výstřikovou charakteristiku viz obrázek 2. Běžný sprinkler je konstruován stříšticem dolů, a to má za výsledek menší účinnou plochu. Zatímco rezidenční sprinkler má umístěný tříštic nahoru, což tvoří právě diametrálně rozdílný výstřikový proud. [4]

Klíčové je zasáhnout vodou nejen stěny místnosti, ale též ochladit prostor ve výšce očí člověka pro vyloučení překročení maximální určené teploty v daný čas znemožňující evakuaci. Dále je také sprinkler navrhován s rychlou časovou odezvou, takže oproti běžnému sprinkleru zareaguje až dvojnásobně rychleji, což může hrát rozhodující roli v úspěšné evakuaci osob. [2]



Obr. 2 Rozdílná výstřiková charakteristika u běžného sprinkleru

Fig. 2 Different spray characteristics of a conventional sprinkler

Potenciální využití v administrativních objektech

Při navrhování sprinklerového systému do administrativních objektů se v České republice postupuje dle normy ČSN EN 12845, která jasně definuje návrhové požadavky. Klíčové pro vlastnosti systému je zařazení do třídy nebezpečí, jejíž hranice jsou definovány dle požárního zatížení. Pokud se pokusíme o zařazení kanceláří, můžeme se odkázat na ČSN 73 0802 6.6.6.1, kde lze využít výpočtové požární zatížení 42 kg/m^2 a tedy kanceláře spadají do střední třídy nebezpečí. [5]

Rezidenční sprinklery byly vyvinuty pro uplatnění v objektech pro bydlení, ovšem optikou právě normy ČSN EN 12845 a požárního zatížení se dostáváme do zajímavé situace. Opět s využitím ČSN 73 0802 můžeme použít požární zatížení 40 kg/m^2 pro rodinné domy, a tedy obdobně jako kanceláře, spadají do střední třídy nebezpečí. Jednoduše řečeno při navrhování se postupuje úplně identicky. [5]

Z toho důvodu se nabízí otázka, zda při legislativních úpravách pro zavedení rezidenčních sprinklerů do českého prostředí, neopomenout i jiné než pouze objekty pro bydlení, pro které by se mohli otevřít nové možnosti při navrhování sprinklerového systému. Nemyslím, že je na místě jejich povinné prosazování například ve výškových administrativních budovách, či v otevřených kancelářských prostorech. Ovšem samotné právní zpřístupnění návrhu rezidenčního sprinkleru v administrativních budovách menšího rozsahu či lokálního návrhu i například nad rámec norem, by jistě zvýšil obecnou požární bezpečnost. V praxi by investor, který není povinen například požárně bezpečnostním řešením k návrhu sprinklerového systému, ale rozmyšlí se nad instalací systému by mohl zvolit levnější a úspornější instalaci systému rezidenčních sprinklerů oproti běžnému systému, jehož celkové náklady a náročnost by ho mohla kompletně odradit od instalace v jakémkoliv rozsahu.

Nelze si přesto myslet, že systém rezidenčních sprinklerů nějakým způsobem představuje výrazně sníženou požární bezpečnost. Svými vlastnosti je velice podobný viz tabulka 1. Největší rozdílnost představuje výstřiková charakteristika, která má za úkol chlazení stěn, kde se uvažujeme soustředěný nábytek, představující palivo pohánějící požár v místnosti. Další výhodou je nepochybně rychlejší časová odezva, která v případě ochrany osob v objektech hraje klíčovou roli. Pro představu sprinkler s běžnou časovou odezvou zareaguje na účinky požáru a je schopen aktivně hasit až například ve 2.-4. minutě. Rezidenční již ve 0,3.-2. minutě. Samozřejmě je možné navrhnout běžný sprinkler s rychlejší časovou odezvou, ovšem jeho výstřiková charakteristika se přesto v žádném případě nebude podobat tomu rezidenčnímu. [2]

Tab. 1 Porovnání vlastností sprinklerů

Tab. 1 Sprinkler feature comparison

Typ	Proměnné parametry					
	K-faktor	RTI	Flowrate	Offset	Spray angle	
Běžný 1						50
					70	
	80	50	47	0,05		
Běžný 2						50
					70	
	115	50	68	0,05		
Rezidenční						60
					90	
	99	29	58	0,2		

ZÁVĚR

Cílem tohoto článku je upozornit a otevřít diskusi ohledně rezidenčních sprinklerů a jejich uplatnění v českém prostředí. Pro jakýkoliv posun v případě jejich návrhu je nutné vyčkat na vývoj potřebné legislativy. Dále bylo cílem upozornit na jisté podobnosti v případě rozdílných provozů – objekt pro bydlení x kanceláře, což může opět otevřít otázku například lokálního uplatnění či návrhů rezidenčních sprinklerů i do administrativních objektů. Za předpokladu podobných charakterů požárů. Každý objekt je svým způsobem výjimečný a je v rukách konkrétních projektantů jaké řešení zvolí jako to nejvhodnější. Ovšem je potřebné jim nabídnout co nejširší možné spektrum případných návrhů, které dovolují finální podobu přizpůsobit na míru v rámci ekonomické efektivity při zajištění potřebné úrovně bezpečnosti.

LITERATURA

- [1] RYBÁŘ, Pavel. *Sprinklerová stabilní hasicí zařízení - I. díl*. Online. TZB info. 2016. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/pozarni-vodovod/13971-sprinklerova-zarizeni-i-dil>. [cit. 2025-03-09].
- [2] KRATOCHVÍL, Václav. *Požárně bezpečnostní zařízení ve stavbách*. II. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2021. ISBN 9788073852382.
- [3] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ, ČSN EN 12845+A1, *Stabilní hasicí zařízení – Sprinklerová zařízení - Navrhování, instalace a údržba*. II. 2020.
- [4] GROOS, Nick. *Just What Exactly is a Residential Sprinkler Anyway?* Online. 2012. Dostupné z: <https://www.slideserve.com/grayson/just-what-exactly-is-a-residential-sprinkler-anyway>. [cit. 2025-03-12].
- [5] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ, ČSN 73 0802 ed. 2, *Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty*. 2023.

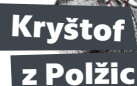
Zapálení2025
sborník 8. studentské vědecké konference Fakulty stavební ČVUT v Praze

kolektiv vedoucích předdiplomních prací:

**Pokorný Marek, Mózer Vladimír, Hejtmánek Petr, Najmanová Hana, Wald František,
Štefan Radek, Koubková Ilona, Cábová Kamila, Velebil Lukáš, Benýšek Martin, Šejna
Jakub, Sokol Zdeněk, Holan Jakub**

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

73 stran | první vydání
ISBN 978-80-01-07425-1
Květen 2025



Hydrant

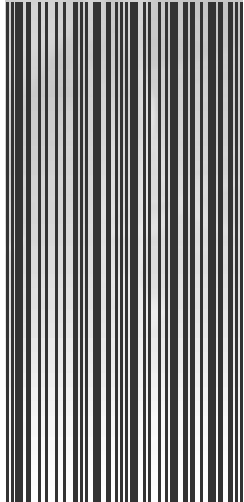
a Bezdržic

radí

**na přednáškách už
nikdy nebude nuda!**

[illegible]

ISBN 978-80-01-07425-1



Zapálení2025
sborník 8. 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: online verze

73 strany | první vydání elektronicky
ISBN: 978-80-01-07425-1
Květen 2025