

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb



OVĚŘENÍ NORMOVÝCH POŽADAVKŮ NA ZŘIZOVÁNÍ POŽÁRNÍCH UCPÁVEK VE STĚNĚ

VERIFICATION OF STANDARD REQUIREMENTS FOR FIRE-STOPPING
IN WALL

Diplomová práce

Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Integrovaná bezpečnost staveb
Vedoucí práce: Ing. arch. Petr Hejtmánek

Bc. Kristián Filsak

Praha 2018



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Filsak Jméno: Kristian Osobní číslo: 409825

Zadávací katedra: K125¹²⁴ - Katedra konstrukcí pozemních staveb

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Integrovaná bezpečnost staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Ověření normových požadavků na zřizování požárních ucpávek ve stěně

Název diplomové práce anglicky: Verification of Standard Requirements for Fire-stopping in Wall

Pokyny pro vypracování:

Rešerše požadavků na zřizování požárních ucpávek při prostupu plastového potrubí požárnědělící konstrukcí. Ověření funkčnosti požárních ucpávek umístěných v nestandardní konstrukci při velkorozměrové požární zkoušce. Příprava a realizace velkorozměrové požární zkoušky.

Seznam doporučené literatury:

TOMAN, Stanislav. Protipožární ochrana potrubních prostupů. Vytápění větrání instalace [online]. 2004, 2003(5) [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/2037-protipozarni-ochrana-potrubnich-prostupu>

SĘDLAK, Bartłomiej, Paweł SULIK, Daniel IZYDORCZYK a Marek LUKOMSKI. Fire-stop Wraps and Collars with Intumescent Materials – Performance Comparison. Procedia Engineering [online]. 2017, 172, 961-968 [cit. 2017-04-20]. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.02.113. ISSN 18777058. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705817306197>

CHOI, K. K. Fire stops for plastic pipe. Fire Technology [online]. 1987, 23(4), 267-279 [cit. 2017-04-20]. DOI: 10.1007/BF01040584. ISSN 0015-2684. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/BF01040584>
normy řady ČSN 73 08xx

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. arch. Bc. Petr Hejtmánek

Datum zadání diplomové práce: 2.10.2017

Termín odevzdání diplomové práce: 7.1.2018

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Kristian Filsak

Název diplomové práce: Ověření normových požadavků na zřizování požárních ucpávek ve stěně

Základní část: KPS - požární bezpečnost staveb podíl: 100 %

Formulace úkolů:

Rešerše požadavků na zřizování požárních ucpávek při prostupu plastového potrubí požárnědělící konstrukcí.

Ověření funkčnosti požárních ucpávek umístěných v nestandardní konstrukci při velkorozměrové požární zkoušce.

Příprava a realizace velkorozměrové požární zkoušky.

Podpis vedoucího DP:  Datum: 4.10.2017

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta: _____ Datum: _____

3. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta: _____ Datum: _____

4. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta: _____ Datum: _____

Poznámka: Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci (vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1.stranou zadání již ve 2.týdnu semestru)



Prohlášení

Prohlašuji, že na této diplomové práci jsem pracoval samostatně pod odborným vedením Ing. Arch. Petra Hejtmánka a informace jsem čerpal z uvedené literatury.

Nemám námitek proti použití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 7. ledna 2018

.....
Bc. Kristián Filsak



Poděkování

Rád bych poděkoval lidem, kteří mi s touto prací nejvíce pomohli. Zejména svým rodičům, poskytují mi skvělé podmínky ke studiu, a hlavně morální podporu. Dále bych chtěl poděkovat svým spolužákům a kamarádům, kteří neváhali a pomohli, když bylo třeba. Zvláštní poděkování patří Ing. Arch. Petru Hejtmánkovi za skvělý přístup a přínosné konzultace po celou dobu trvání této práce, Ing. Petru Bohuslavovi z firmy J.SEIDL & spol., s. r. o. za poskytnutou konzultaci a darování požárních ucpávek a v neposlední řadě středisku UCEEB na jehož pozemcích se uskutečnil velkorozměrový požární experiment.



Abstrakt

Diplomová práce se zabývá požárními ucpávkami pro prostupy plastových potrubí skrze požárně dělící konstrukce. Je zde stručně popsán vývoj požárních ucpávek pro tento typ potrubí a oproti tomu dnešní stav z oblasti požární bezpečnosti, jak z hlediska používaných utěšňovacích řešení, tak z hlediska české legislativy. Nakonec je v diplomové práci popsána výstavba slaměného objektu pro velkorozměrový požární experiment pod názvem Slamáček, jehož příprava je součástí této práce. Stejný objekt je také namodelován pomocí software FDS za použití výpočetního modelu CFD. Výsledky obou měření jsou v závěru práce porovnávány.

Klíčová slova

Požárně bezpečnostní řešení, požární odolnost, požární ucpávka, požární manžeta, požární wrap, celistvost, izolace

Abstract

The diploma thesis deals with fire seals for the penetration of plastic pipes through fire-dividing structures. There is a brief description of the development of fire seals for this type of piping and, on the other hand, the current state of the field of fire safety, both in terms of sealing solutions used and in terms of Czech legislation. Finally, the diploma thesis describes the construction of a straw building for a large-scale fire experiment under the name Slamáček, whose preparation is part of this work. The same object is also modeled using the FDS software using the CFD computational model. Results of both measurements are compared at the end of the thesis.

Key words

Fire safety solution, fire resistance, fire stop, fire stop collar, fire stop wrap, fire integrity, fire insulation



OBSAH

Abstrakt	VI
OBSAH	VII
Seznam použitých symbolů a zkratk	IX
1. Úvod	10
1.1 Motivace	10
1.2 Cíle diplomové práce	11
2. Požární ucpávky plastových potrubí	12
2.1 Obecný princip (PBŘ a požární ucpávky)	12
2.2 Požární ucpávky v minulosti.....	14
2.2.1 Mechanické požární ucpávky	15
2.2.2 Chemické požární ucpávky.....	16
2.3 Požární ucpávky dnes	18
2.3.1 Testování požárních ucpávek.....	19
3. Legislativní požadavky	21
3.1 ČSN 73 0810 – Společná ustanovení.....	21
3.1.1 ČSN 73 0810:1996.....	21
3.1.2 ČSN 73 0810:2005.....	22
3.1.3 ČSN 73 0810:2009.....	23
3.1.4 ČSN 73 0810:2016 – současnost	24
3.2 ČSN 73 0802 + ČSN 73 0804.....	25
3.3 ČSN EN 13501-2+A1	26
3.3.1 Kritérium celistvosti (E)	27
3.3.2 Kritérium izolace (I)	27
3.4 ČSN EN 1366-3	27
3.4.1 Poloha A	28
3.4.2 Poloha E.....	28
4. Porovnání nárůstů teplot v závislosti na použité požární ucpávce	29
5. Velkorozměrový požární experiment	32
5.1 Příprava experimentu.....	33
5.2 Průběh a výsledky experimentu.....	36
5.3 Shrnutí výsledků experimentu	42
5.3.1 Porušení mezního stavu izolace (I).....	44
6. Výpočetní model experimentálního slaměného objektu	45
6.1 Zjednodušený model – varianta s ucpávkou	45
6.2 Zjednodušený model – varianta bez ucpávky	48
6.3 Model místnosti	50
6.4 Kompletní model slaměného objektu Slamáček.....	51
7. Závěr	59



Příloha 1 – Tabulka konfigurací prostupů zkoušených prvků	61
Příloha 2 – Průběhy teplot na neexponované straně zkoušených prvků.....	62
Příloha 3 – Podrobný protokol o průběhu požárního experimentu	64
Příloha 4 – Rozmístění a označení pro termočlánky a prostupy	71
Příloha 5 – Průběhy teplot na jednotlivých prostupech	72
Příloha 6 – Zjednodušený model s ucpávkou	75
Příloha 7 – Zjednodušený model bez ucpávky	79
Příloha 8 – Výsek slaměného objektu Slamáček	83
Příloha 9 – Komplettní výpočetní model	90
Příloha 10 - Fotodokumentace průběhu výstavby Slamáčku.....	104
Seznam obrázků	107
Seznam tabulek	110
Literatura.....	111



Seznam použitých symbolů a zkratek

Symboly

°C	Stupeň Celsia
kW/m ²	Kilowatt na metr čtvereční
m	Metr
mm	Milimetr
mm ²	Milimetr čtverečný
R, E, I, W	Mezní stavy požární odolnosti
Dmax	Maximální průměr
h	Požární výška objektu

Zkratky

ČSN / ČSN EN	Česká technická norma / převzatá evropská technická norma
Z1, Z2, Z3	Označení změny technické normy
FDS	Fire dynamics simulator (software)
CFD	Computational fluid dynamics
PAVUS, a.s.	Firma zabývající se posuzováním shody stavebních výrobků a hořlavých kapalin, prováděním zkoušek pro stanovení a ověřování požární odolnosti.
CSI, a.s.	Centrum stavebního inženýrství (požárně technická laboratoř)
TZÚS, s.p.	Technický a zkušební ústav stavební Praha
TZB	Technické zařízení budov
PVC / PVC-U	Poly-vinyl-chlorid / poly-vinyl-chlorid neměkčený
PE / PE-HD	Polyethylen / polyethylen s vysokou hustotou
ABS	Akrylonitril-butadien-styren
SDK	Sádrokarton
DP1, DP2	Druh konstrukčního systému z požárního hlediska
A1, A2	Třídy reakce na oheň
DN	Jmenovitá světlost potrubí
OSB	Dřevoštěpková deska



1. Úvod

1.1 Motivace

Těsnění kabelů a potrubí v požárně dělicích stěnách se navrhuje a provádí ve spoustě variant. Tuto problematiku upravuje naše legislativa zejména pomocí ČSN 73 0802 [12], ČSN 73 0804 [15] a v neposlední řadě ČSN 73 0810 [8, 9, 10, 11]. V červenci roku 2016 vyšla pod záštitou Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ) nová norma ČSN 73 0810 [11]. V této verzi normy bylo upraveno řešení prostupů kabelových či potrubních rozvodů skrze požárně dělicí stěny a požadavky na řešení prostupů požárně dělicími stěnami se výrazně zpřísnily. Tento stav je sice na straně bezpečnosti, ale vzhledem k požadovaným revizním systémovým ucpávkám se jedná o docela výraznou komplikaci při realizaci a následně při provozu stavby.

Komplikace je dvojitá. Zaprvé, je nutné do soukromého bytového prostoru zajistit vstup reviznímu technikovi, který musí požární ucpávky zkontrolovat, a zadruhé, je nezbytné k těmto ucpávkám zajistit přístup. V nejhorším případě tedy vyvstane i nezbytnost demontáže konstrukce, která brání v přístupu k prostupu stěnou. Vzhledem k trendu, který se v dnešní době v domácnostech projevuje, je to dosti nepravděpodobné, jelikož běžným typem sanitární techniky je podomítková splachovací nádržka. Budeme předpokládat, že odpadní potrubí od zmiňovaného kusu sanitární techniky bude procházet požárně dělicí stěnou a že na něm je umístěna systémová požární ucpávka. Pokud bychom měli dostát naší povinnosti v podobě pravidelných revizí a nechat prověřovat funkčnost požárního těsnění, bylo by zapotřebí během každé kontroly demontovat konstrukci skrývající odpadní potrubí, a odhalit tak zmiňovanou ucpávku.

Vzhledem k výše zmíněným požadavkům je problematika zřizování požárních ucpávek častým a nezřídka rozporuplným tématem v odborných kruzích. Ve své diplomové práci by proto autor rád ověřil vliv prostupu na šíření požáru skrz požárně dělicí konstrukci (a tudíž i nutnost instalace požární ucpávky). Jak bylo zmíněno výše, požadavky se vydáním novely ČSN 73 0810 [11] razantně zpřísnily, a přestože se jedná o počín, který nejspíše zvyšuje možnou požární ochranu budovy, činí tak na úkor bezproblémového užívání objektu.



1.2 Cíle diplomové práce

Cílem diplomové práce je vnést trochu světla do historie požárních ucpávek pro plastová potrubí a do současného stavu ucpávek pro tento typ potrubí. Jako další cíl si tato práce klade seznámit čtenáře se stavem technických norem, které se tématu práce přímo dotýkají. V druhé části diplomové práce bude věnován prostor pro ověření autorovy teorie o možnosti ucpávání pouze některých prostupů skrze požárně dělící konstrukce, pokud se nachází v nižších polohách, respektive do přibližně jedné třetiny výšky místnosti. Tato autorova teze bude ověřována pomocí velkorozměrového požárního experimentu slaměného objektu, jehož příprava byla součástí této práce, a dále bude ověřována modelováním totožné stavby ve výpočetním software FDS. Výstupy z tohoto programu budou následně porovnány s daty získanými během velkorozměrového požárního experimentu.

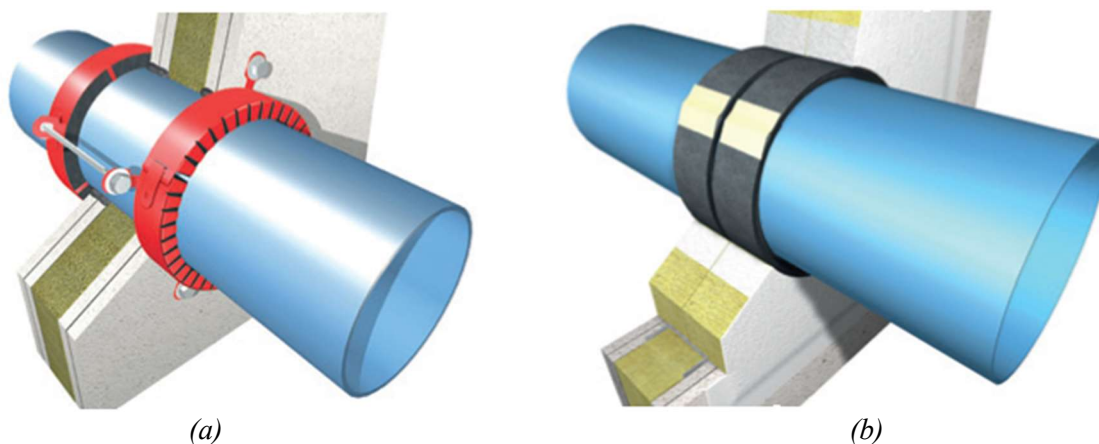


Požárně dělící konstrukce jsou takové konstrukce, které musí prokazatelně vykazovat požadovanou požární odolnost vůči případnému požáru, který v budově hrozí a z toho důvodu je pro výrobky, které se pro realizaci těchto konstrukcí používají, vyžadováno deklarování těchto schopností certifikovaným subjektem (střediskem či laboratoří, jako je např. PAVUS a.s., CSI a.s. či TZÚS s.p.). Obecně lze tedy o požárně dělících konstrukcích tvrdit, že jsou to konstrukce, které zamezují šíření případného požáru mimo hranice požárního úseku do druhého. Musí zamezit šíření požáru, odolat po požadovanou dobu jeho účinkům, a tím poskytnout potřebný čas k evakuaci osob. Za tyto konstrukce lze považovat požární stěny či příčky, požární strop či podhled a v neposlední řadě také uzávěry otvorů (dveře, revizní dvířka, okna...). [2]

Lze tedy shrnout, že k úspěšnému návrhu požárně bezpečnostního řešení stavby je potřeba zajistit především zdraví a životy před požárem prchajících osob (popř. zvířat) a v určité míře také hmotný majetek. Toho dosáhneme tím, že návrhem schopnosti budovy odolávat požáru:

- a) zabráníme šíření požáru z požárního úseku, kde požár vznikl, do druhého požárního úseku či na sousední budovu prošlehávajícími plameny skrz okna či střechu,
- b) umožníme evakuaci osob (či zvířat) a majetku, z požárem zachvácené budovy do prostorů kde nehrozí nebezpečí požáru či na volné prostranství,
- c) umožníme jednotkám hasičského záchranného sboru účinně zasáhnout a zdolátvat požár.

Z tohoto výčtu (a jeho pořadí) vyplývá, že především musíme zabránit šíření požáru z požárního úseku, kde požár vznikl, do požárního úseku druhého, což může být problematické v případech, kdy požárně dělící konstrukce obsahuje tzv. prostupy, což jsou zejména procházející rozvody TZB (jako je plyn, vody, vzduchotechnické rozvody...). [2]



obr. 2 Nejužívanější typy požárních ucpávek pro plastové potrubí [4]:
(a) požární ucpávka typu „manžeta“; (b) požární ucpávka typu „wrap“



Prostupy požárně dělícími konstrukcemi jsou slabými místy v návrhu každého požárně bezpečnostního řešení. Pokud totiž během požáru dojde k poškození prostupujícího média (dnes většinou trubka na bázi PVC či PE, v odůvodněných případech kovové, litinové či kameninové potrubí, v případě vzduchotechniky se jedná o nerezové trouby) a průniku plamene dovnitř, může se tímto způsobem plamen snadno a víceméně bez překážek rozšířit do dalších požárních úseků. [2]

Nemusí však vždy jít pouze o porušení média prostupujícího požárně dělící stěnou, ale v případě nesprávně provedené úpravy na vnější straně potrubí v prostupu, může docházet také k šíření kouře a zplodin hoření skrze netěsnosti, což bývá nejčastější příčinou úmrtí osob při požárech, protože tímto způsobem dochází ke smrti osob i v oblastech, kudy se požár vůbec nešíří. [2]

Z důvodu ochrany prostupujících potrubí skrze požárně dělící stěny se na zmiňované rozvody instalují tzv. požární ucpávky, které chrání před rozšířením plamene do dalších požárních úseků. Požární ucpávky mají mnoho variant, mezi nejvíce využívané však patří dva typy, a to požární ucpávka typu „manžeta“ (obr. 2a) a požární ucpávka typu „wrap“ (obr. 2b). V případě ucpávky typu „manžeta“ se jedná o prvek tvořený obalem z nerezového materiálu nebo galvanizované oceli a tento obal je následně vyplněn uhlíkatým intumescentním materiálem, který plní hlavní izolační funkci v případě požáru. V případě ucpávky typu „wrap“ se jedná o protipožární zpěňující (intumescentní) pás, který se umísťuje dovnitř pevné stěny. Oba typy budou blíže popsány v kapitole 2.3. [2]

2.2 Požární ucpávky v minulosti

Již v minulosti se lidé zabývali tím, jak nejlépe chránit zdraví a životy osob nebo svůj majetek před požárem. Vzhledem k tomu, jak se postupně začalo rozšiřovat používání plastových trubních rozvodů, začali si také uvědomovat, že z tohoto směru hrozí nebezpečí a snažili se přijít na to, jak tuto hrozbu eliminovat.

Stejná ochrana jako pro kovové rozvody¹ nepřicházela v úvahu s uvážením rozdílných vlastností materiálů používaných pro plastové trubky (PVC, PE, ABS...), jelikož naprostá většina těchto používaných materiálů ještě před dosažením teploty vznícení měkne i taje. Tím dojde k narušení struktury plastového rozvodu a prostupu požárně dělící stěnou a dochází ke skutečnosti, které má správný návrh požární bezpečnosti budovy zabránit – k rozšíření požáru do

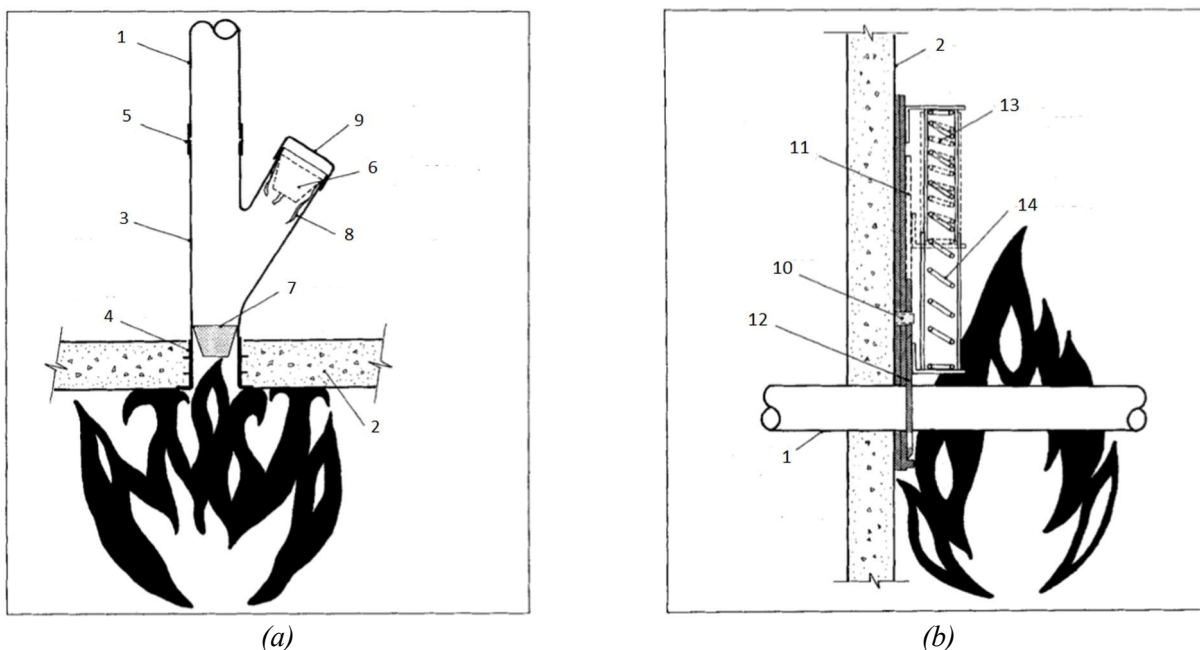
¹ Sleeving – kaučukový povlak pro kovová potrubí, kterým se tyto rozvody chrání



okolích požárních úseků skrze zmiňovaný prostup. Proč se tedy neubírat touto cestou a nevyužít této, pro termoplastické materiály potrubních rozvodů charakteristické, vlastnosti? [5]

2.2.1 Mechanické požární ucpávky

Jak již napovídá název samotný, mechanické požární ucpávky využívají mechanických prostředků k uzavření prostupu skrze požárně dělící stěnu v případě požáru. Mechanismů může být hned několikero druhů, ať už řízený gravitační silou nebo poháněný stlačenou pružinou. V obou případech je zařízení požární ucpávky vybaveno tavnými pojistkami, které celý mechanismus uvedou do chodu po dosažení teploty pro jejich roztavení potřebné. [5]



obr. 3 Příklad mechanické ucpávky při prostupu plastového potrubí požárně dělící konstrukcí [5]:
(a) požární ucpávka při prostupu stropem na principu olovené zátka; (b) požární ucpávka při prostupu stěnou na principu „gilotina“

1-plastové potrubí, 2-požárně dělící konstrukce, 3-litinová odbočka, 4-plastová spojka, 5-pružná spojka, 6-litinová zátka (počáteční pozice), 7-litinová zátka (pozice po uvolnění), 8-termoplastický „postroj“ (tavný), 9-kontrolní zátka, 10-tavná pojistka, 11-gilotinové ostří (otevřená pozice), 12-gilotinové ostří (uzavřená pozice), 13-pružina (stlačená), 14-pružina (uvolněná)

Jako případ gravitací řízené požární ucpávky může sloužit, v souvislosti s prostupem požárním stropem, litinová zátka. Jak lze vidět na obrázku č. 3a, při prostupu požárním stropem je plastová trubka nahrazena slepou litinovou rozdvojkou, jejíž odbočující větev je uzavřena. V této slepé odbočce je ve své pozici umístěna litinová zátka, která je upevněna pomocí termoplastického „postroje“, který při určitém zvýšení teploty taje. Po změknutí a roztavení postroje

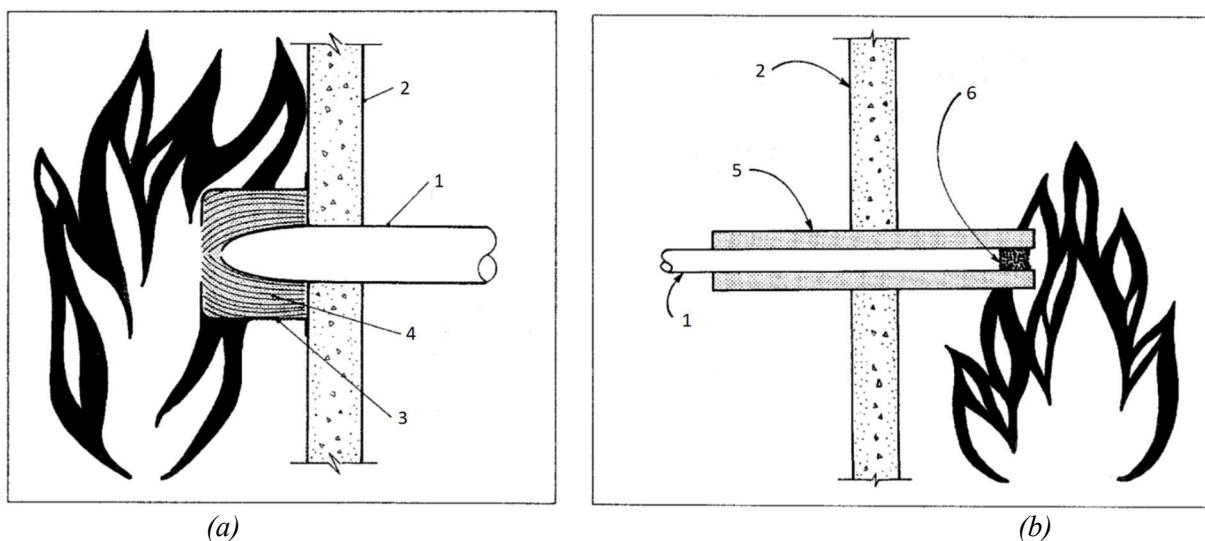


litinová zátka vyklouzne a ze slepé odbočky propadne pomocí gravitačních sil do stoupající části potrubí, kde tento prostor uzavře. [5]

Co se týká druhého zmíněného druhu mechanické požární ucpávky, zařízení poháněné stlačenou pružinou, je nasnadě představit si požární ucpávku na principu gilotiny. Na obrázku č. 3b znázorněný mechanismus funguje na obdobném principu jako výše zmíněná požární ucpávka s litinovou zátkou. Jedná se o kovovou konstrukci s gilotinovým ostřím na stlačené pružině. Toto ostří je na svém místě drženo tavnou pojistkou, která pokud roztaje uvolní ostří, a to následně přetne již změkčené plastové postupující potrubí, čímž dojde k uzavření prostupu. Je nasnadě, že toto řešení lze oproti řešení s litinovou zátkou aplikovat jak na prostup stropem, tak i stěnou. V případě prostupu stěnou je však nezbytné tuto ucpávku osadit na každou stranu požárně dělící stěny, vzhledem k tomu, že riziko vzniku požáru je stejné na obou stranách. [5]

2.2.2 Chemické požární ucpávky

Vedle mechanických ucpávek se však rozvíjely i ucpávky na jiném principu, a to ucpávky chemické, které spoléhaly na chemickou reakci, která u použitých intumescentních materiálů vznikne při vystavení vysokým teplotám za požáru. Běžně dostupným typem tohoto druhu ucpávky byla ucpávka typu „požární manžeta“ tvořena plechovým, či litinovým obalem, který byl vyplněn zmíněným materiálem. Při překročení určité teploty začínal intumescentní materiál nabývat na objemu, expandovat ve formě uhlíkaté struktury a svým rozpínáním „přestříhl“ a uzavřel prostup požárně dělící konstrukcí (obr. 4a). Toto bude blíže popsáno v kapitole 2.3.



obr. 4 Příklad chemické požární ucpávky při prostupu plastového potrubí požárně dělící konstrukcí [5]:

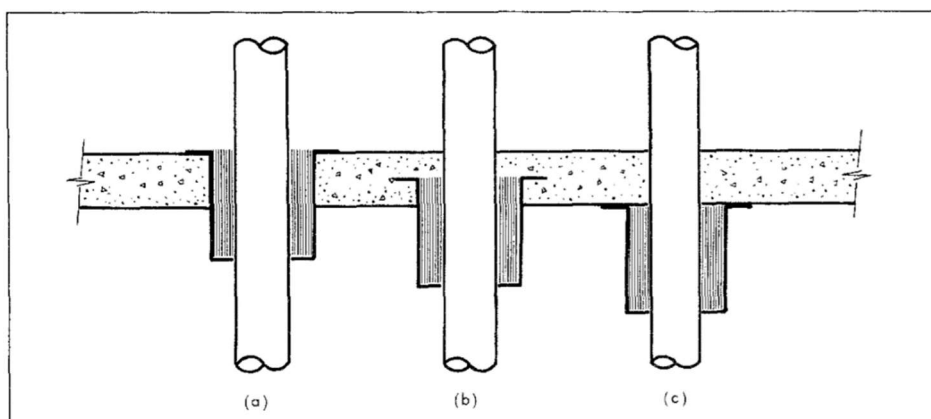
(a) požární ucpávka typu „manžeta“; (b) ochranný rukávec pro PVC trubku

1-plastové potrubí, 2-požárně dělící konstrukce, 3-kovová manžeta, 4-intumescentní materiál, 5-izolační rukávec, 6-uhlíkatá zátka



Pro určité trubní materiály (jako např. PVC), které při požáru vykazují jisté vlastnosti, jako je například uhelnatění a bobtnání, se experimentovalo s „ochranným rukávem“ (obr. 4b) tvořeným z lepeného vermikulitu, tvarovaného do dvou poloválcových sekcí, kvůli snadnějšímu obalení trubky na vzdálenost 1 m na každou stranu od požárně dělicí konstrukce. Tento rukávec byl navržen k ochraně zuhelnatěného zbytku PVC trubky, který se vytvořil během požáru a záměrem bylo tímto rukávem prodloužit dobu, po kterou byla tato zuhelnatělá zátka konzistentní. [5]

Vzhledem k tomu, že jsou během požáru požární ucpávky neustále vystavovány ohni, hrozí, že si oheň a horké plyny vzniklou uhlíkatou zátkou prorazí cestu a požár se skrz instalaci bude šířit. Všeobecně se proto věřilo, že proces termální degradace lze zpomalit tím, že bude ucpávka částečně zapuštěna do prostupované konstrukce a tím bude „odstíněn“ nejhorší a největší vliv požáru na ucpávku. Na obrázku č. 5 lze vidět tři možnosti osazení chemické požární ucpávky typu manžeta, přičemž podle tehdy platného mínění se očekávalo, že první dvě možnosti (obr. 5a a 5b), tedy varianty se zapuštěním manžety, budou lépe odolávat požáru než poslední varianta (obr. 5c), kdy je manžeta osazena na plastovém potrubí a zároveň na povrchu prostupované požárně dělicí konstrukce. [5]



obr. 5 Tři varianty osazení požární ucpávky typu „manžeta“ [5]:
(a) osazení na opačné straně; (b) částečně zapuštěná; (c) osazení na povrchu

Jak už to ovšem bývá zvykem, ve většině případů je klad následován zápořem a toto řešení není výjimkou. Zapuštění manžety do konstrukce sice může přinést větší odolnost vůči tepelné degradaci uhlíkaté zátky v manžetě, avšak také se tím může docílit prodloužení času potřebného do doby, kdy se požární ucpávka uzavře, vzhledem k omezení přístupu předávaného tepla do ucpávky. [5]



2.3 Požární ucpávky dnes

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.1, v dnešní době patří mezi nejrozšířenější požární ucpávky pro plastové trubní rozvody ucpávka typu „manžeta“ (obr. 2a) a ucpávka typu „wrap“ (obr. 2b). Každá z těchto dvou ucpávek má odlišné provedení a jiný způsob realizace (umístění, osazení, kotvení a další), ale obě fungují na stejném principu – na chemické reakci výplňového materiálu („intumescentní“, neboli zpěňující materiál). Tento materiál bývá vyráběn ve formě pásek, které jsou buď integrovanou součástí systému ucpávky, nebo jako ucpávka slouží samostatně. Jeho tloušťka, délka a počet vrstev v obtočení závisí na použité trubce, zejména:

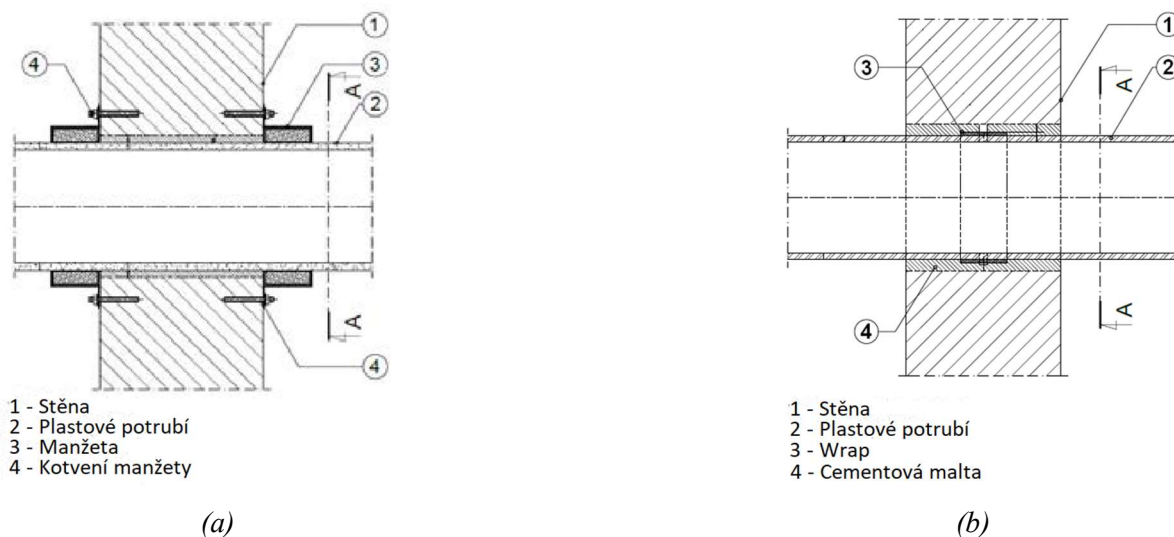
- a) na jejím průměru,
- b) na tloušťce stěny,
- c) a také na požadované požární odolnosti. [6]

Požární manžeta bývá zpravidla osazována na potrubí a kotvena pomocí kotevních šroubů do konstrukce požární stěny na obě strany prostupujícího média (jak vidno na obr. 6a), protože v případě stěny je riziko vzniku požáru na obou stranách konstrukce, nebo v případě prostupu stropní konstrukcí pouze na spodní stranu. Princip požární manžety je následující: pásek z uhlíkatého intumescentního materiálu, který požární manžeta obsahuje, reaguje na zvýšené teploty. Pokud během požáru dojde v požárním úseku, kde se nachází ošetřený prostup požárně dělící konstrukcí k vystavení ucpávky zvýšeným teplotám, dojde k řetězové reakci, kdy intumescentní materiál v manžetě začne nabývat na svém objemu (materiál začíná expandovat kolem 140 °C, ale záleží na výrobci – jsou i takové výrobky, které mají spouštěcí teploty okolo 200 °C). Při této expanzi objemu slouží ocelový obal jako pevná zábrana, který nedovoluje intumescentnímu protipožárnímu laminátu expandovat mimo prostor prostupu konstrukcí stěny, ale naopak ho nutí expandovat přímo do prostupujícího média. Vzhledem k tomu, že teplota v místnosti dosáhne takových teplot, kdy začne protipožární laminát nabývat na objemu, je prostupující trubka poškozena teplotou a v takovém stavu ji ocelovým obalem usměrněný zpěňující grafitový laminát přeruší a vzniklý otvor následně vyplní jako zátkou. Jelikož se jedná o ohniodolný materiál, nemá se požár přes tuto „zátku“ jak dostat dál, pokud je zajištěna její integrita. [6]

Princip požární ucpávky typu „wrap“ je velmi podobný. Jedná se jenom o pás intumescentního materiálu, který nemá žádný obal a má zcela rozdílnou instalaci. Jako samostatný pás se instaluje namotáním a nalepením přímo na prostupující trubku (obr. 6b) tak, aby byl zcela zapuštěný do konstrukce požárně dělící stěny na obou stranách (nohou být i případy



jen s jedním páskem namísto dvou), následně je zbývající prostor zaplněn protipožárními materiály. Při vzniklém požáru funguje tento pás naprosto stejným způsobem jako u manžety, kdy funkci kovového obalu v tomto případě přebírá samotná konstrukce stěny², která zabraňuje expandování laminátu kamkoliv jinam než do prostupujícího média. Jeho expanzí dojde k „odstrižení“ trubky stejným způsobem jako u požární manžety. [6]



obr. 6 Příklad kotvení/osazení požárních ucpávek [6]:

(a) požární ucpávka typu „manžeta“; (b) požární ucpávka typu „wrap“

2.3.1 Testování požárních ucpávek

Jako každý výrobek určený pro ochranu před požárem musí být i požární ucpávky nejdříve otestovány akreditovaným testovacím subjektem. V rámci zkoušení požárních ucpávek pro prostupy stropem se testuje odolnost na náraz plamene ze spodní strany desky, v případě prostupu stěnou se požární ucpávky zkouší zahřátím na jedné straně stěny nebo na obou stranách. Také je důležité určit vhodné počáteční podmínky zkoušky v závislosti na tom, co zrovna chceme zkoušet, a také na používané ucpávce. V případě, kdy jsou testovány požární ucpávky pro plastová potrubí, záleží u rozsahu jejich použití, krom na parametrech intumescentního materiálu, který ucpávky obsahují, také na průměru použité trubky, tloušťce její stěny a na tom, jak je ošetřený její konec. Pro klasifikaci je proto definováno několik způsobů, jak je možné ve zkušební peci vzorek prostupu sestavit (tab. 1) a na obrázku č. 7 lze vidět umístění termočlánků při zkoušce. Jak vidno, termočlánky se umísťují na povrchy, kde nás zajímá nárůst teploty, tedy na prostupující médium a prostupovanou konstrukci.

² Musí se jednat o pevnou stabilní stěnu. V případě dutinové stěny (např. SDK) nelze zaručit stejnou funkčnost jako v případě ucpávky ve formě manžety.

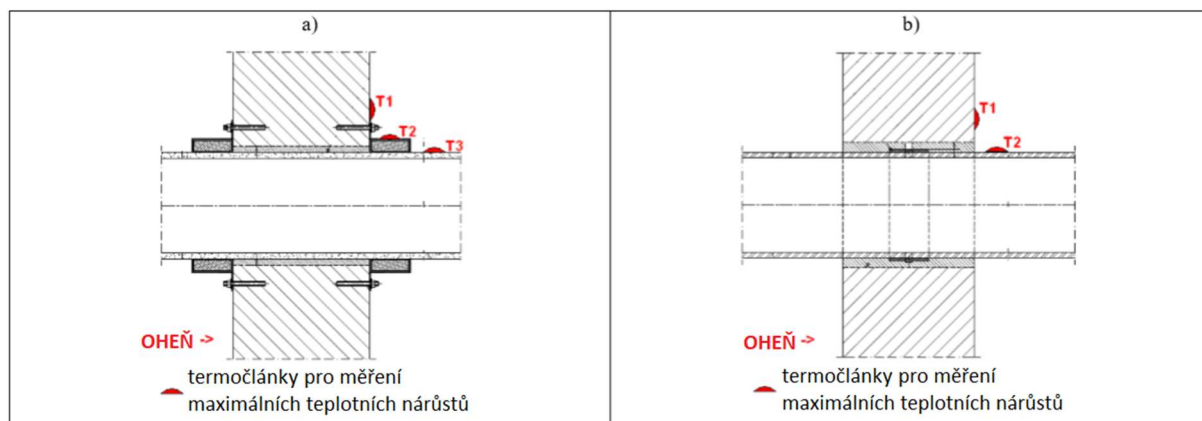


V případě, že z konstrukce vystupuje ještě další izolační prvek, umísťuje se termočlánek na povrch každého takového vystupujícího prvku. Během prováděného měření (viz kapitola 4) byly termočláanky na obrázku 7a umístěny na konstrukci požárně dělící stěny, na vlastní požární ucpávku ve formě manžety a prostupující médium, na obrázku 7b pouze na konstrukci stěny a plastovou trubku. [6]

Těmito požárními zkouškami se prostupy instalací skrze stěny/stropy (požárně dělící konstrukce) zjišťují dvě hlavní kritéria:

- kritérium celistvosti (E)
- kritérium izolace (I)

a na základě výsledků zkoušek se určuje hodnota požární odolnosti daného požárního těsnění (tab. 2). [6]



(a)

(b)

obr. 7 Příklad umístění termočláanky na prostupu [6]:

(a) s požární ucpávkou typu „manžeta“; (b) s požární ucpávkou typu „wrap“

tab. 1 Uspořádání konců potrubí dle ČSN EN 1366-3 [14]

Zkušební podmínky	Uspořádání konců potrubí	
	Uvnitř pece	Vně pece
U/U	nezavíčkované	nezavíčkované
C/U	zavíčkované	nezavíčkované
U/C	nezavíčkované	zavíčkované
C/C	zavíčkované	zavíčkované

tab. 2 Třídy požární odolnosti pro těsnění prostupů [13]

E	15	-	30	45	60	90	120	180	240
EI	15	20	30	45	60	90	120	180	240

Pozn.: S ohledem na požární odolnost těsnění prostupu, by se také měl brát zřetel na ukončení potrubí, které bylo použito během zkoušky. Výsledná požární odolnost těsnění prostupu by tedy měla být zapsána, např. EI 90 C/U.



3. Legislativní požadavky

Jak bylo zmíněno v kapitole 1.1, upravuje problematiku řešení prostupů instalací skrze požárně dělící stěny legislativa České republiky hned několika technickými normami řady ČSN a také i řady ČSN EN. Tato kapitola se zabývá (skrže své podkapitoly) požadavky na těsnění prostupů rozvodů a instalací skrze stěny s požární odolností.

3.1 ČSN 73 0810 – Společná ustanovení

Vzhledem k tomu, že poslední vydání této normy se stalo hlavním hybným prvkem pro tuto práci, je zde věnován prostor tomu, jak se požadavky na těsnění a ošetřování instalací vyvíjelo v průběhu let a vývoje požární bezpečnosti staveb.

3.1.1 ČSN 73 0810:1996

Toto první vydání má odlišný název, oproti dnes zažitému „Společná ustanovení“, který zněl „Požadavky na požární odolnost stavebních konstrukcí“, a zabývalo se především uvedením do souvislostí evropských a českých technických norem, kdy podle norem českých byla požární odolnost konstrukcí určována pouze časovým údajem, zatímco oproti tomu podle norem evropských se dosažená požární odolnost určuje na základě dosaženého mezního stavu. K tomuto rozdílu také přispíval interpretační dokument č. 2³. Dochází zde k zavádění tzv. mezních stavů, které musí konstrukce splnit, aby byla splněna podmínka patřičné požární odolnosti. [8]

Těsnění prostupů kabelů a potrubí upravuje článek 6.2 se svými podčlásky, které říkají následující: Aby nedocházelo k šíření plamene po površích rozvodů trubek (a kabelů), které procházejí požárně dělícími stěnami, musí tyto prostupy mít patřičnou požární odolnost, tedy musí splnit mezní stavy celistvosti a mezní stavy izolace (viz kap. 2.3.1), a zároveň musí být řádně utěsněny. Zároveň je kladen důraz na to, že tato podmínka platí pouze pro dotěšňování a ne pro dozdivání otvorů v požárně dělících stěnách, které slouží pro rozvody potrubí. [8]

Pokud však došlo ke skutečnosti, kdy nebylo možné, například z důvodu velmi špatné přístupnosti, provést a zajistit patřičné dotěšnění řešených prostupů instalací skrze požárně dělící stěny, bylo povoleno přikročit k takovému řešení, kdy mohl být použit ochranný plášť se samočinným hasicím zařízením jako adekvátní náhrada. Toto platilo za podmínky, že:

³ Dokument, který uvádí podrobněji požadavky požární bezpečnosti na stavební objekty, obsažené ve směrnici rady EU č. 89/106/EHS.



„Samočinné hasicí zařízení musí mít takovou účinnost, aby hustota tepelného toku ve vzdálenosti 1 m od pomyslné roviny dělicí konstrukce nepřesáhla hodnotu 15 kW/m^2 nebo ve vzdálenosti 1,2 m hustotu 12 kW/m^2 .“ [8]

V květnu roku 2004 vyšla k této verzi ČSN 73 0810 změna 1, avšak nijak neupravovala těsnění prostupů rozvodů potrubí.

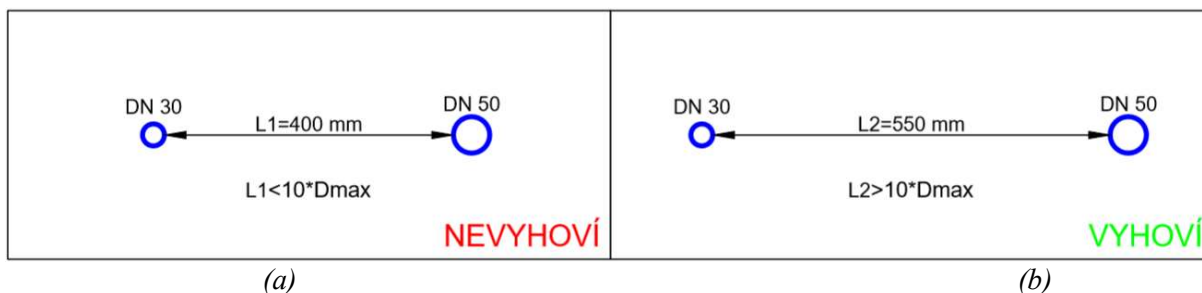
3.1.2 ČSN 73 0810:2005

Druhým vydáním tohoto dokumentu došlo ke zpřesnění (či pokud chyběly také doplnění) požadavků na požární odolnost stavebních konstrukcí z hlediska požární bezpečnosti staveb dle Směrnice Rady ES č. 89/106/EHS. Oproti předchozímu vydání se také tyto požadavky uvádějí do souladu s převzatými evropskými normami řady ČSN EN, jmenovitě ČSN EN 13501-1 až -5 (ČSN EN 13501-4 a -5 v době vydání této novely byly ve fázi přípravy). [9]

Prostupy kabelů či potrubí musely být dle této normy utěsněny takovým způsobem, který zajišťuje zamezení šíření plamene skrze ně. Tato těsnění se hodnotila dle ČSN EN 13501-2:2004 a to pro:

- požární odolnost EI, nebo
- požární odolnost E, pokud potrubí prostupuje požárně dělicí konstrukcí s klasifikací EW

V případě hodnocení požární odolnosti EI hrála roli světlá průřezová plocha daného potrubí. Vzhledem k tématu této práce je důležitý především údaj $8\,000 \text{ mm}^2$ světlého průřezu pro kanalizační potrubí, které je vyrobené z materiálů s certifikovanou třídou reakce na oheň B až F (s konečným uspořádáním U/U nebo C/U). Pokud však potrubí prostupuje do shromažďovacího prostoru, zdravotnického zařízení (LZ 2) nebo jsou v budovách o minimálním počtu 20 podlaží, je nutné tyto prostupy těsnit dle již zmiňované ČSN EN 13501-2:2004 i při překročení hodnoty světlé průřezové plochy potrubí $4\,000 \text{ mm}^2$. [9]



obr. 8 Příklad limitní vzdálenosti při prostupu dvou potrubí vedle sebe dle ČSN 73 0810:
(a) nutnost těsnění dle ČSN EN 13501-2:2004; (b) netřeba těsnit dle ČSN EN 13501-2:2004



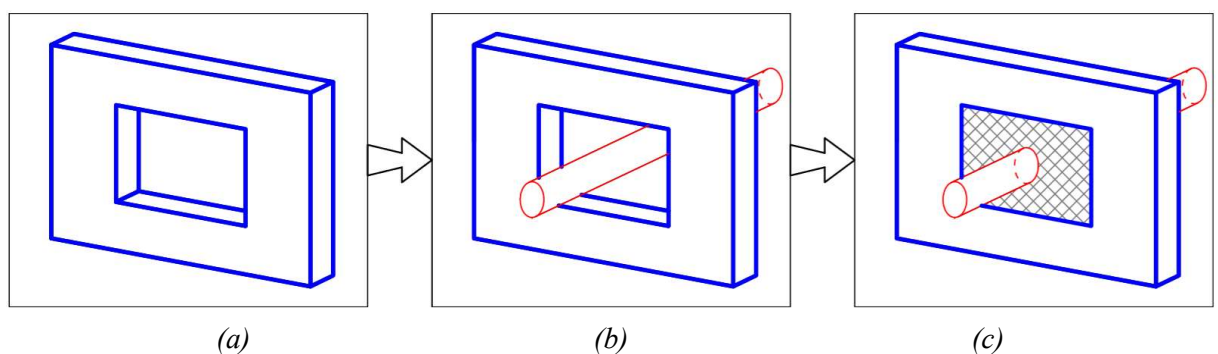
Další požadavek na těsnění prostupu potrubí skrz požárně dělící stěnu dle ČSN EN 13501-2:2004 je kladen na situaci, kdy skrze stěnu prostupuje potrubí ve větším počtu než jednou. Pokud skrze stěnu vedou například dva prostupy umístěné vedle sebe a mají mezi sebou menší rozestup, než je desetinásobek průměru potrubí, utěšňují se tyto prostupy dle výše několikrát zmíněné normy řady ČSN EN. Tento případ můžeme vidět na obrázku č. 8a, kdy vzdálenost mezi oběma prostupy je 400 mm, tedy menší než 10x průměr potrubí a v tomto případě tedy vyvstává nutnost těsnění dle výše zmíněné ČSN EN normy. Oproti tomu na vedlejším obrázku č. 8b vzdálenost přesahuje onu požadovanou hodnotu, a není tedy nutné v tomto případě těsnit stejně jako případ předchozí. [9]

Pokud byl během výstavby vynechán otvor umožňující vedení instalačních sítí, tzv. montážní otvor, musel být tento otvor pro realizaci rozvodů potrubí následně dozděn tak, aby byla zajištěna požadovaná požární odolnost a také celistvost konstrukce až k vnějšímu povrchu prostupujícího potrubí, bylo třeba zajistit utěsnění dle ČSN EN 13501-2. [9]

Možnost záměny těsnění prostupu potrubí za např. ochranné SHZ zůstala za stejných podmínek od poslední verze normy nezměněna. [9]

3.1.3 ČSN 73 0810:2009

Toto další, již třetí vydání (název již změněn na ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení) zohledňovalo jako verze předchozí vývoj a zapracovávání převzatých evropských norem, u nás zavedených jako ČSN EN 13501-X. Co se na tomto vydání však projevilo nejvíce, byly dosavadní zkušenosti s uplatňováním ČSN 73 0810 v praxi. [10]



obr. 9 Ukázka dozdění montážního otvoru:

(a) stěna s montážním otvorem; (b) stěna s prostupujícím potrubím; (c) dozdění až k povrchu potrubí

Znění této normy ukládalo povinnost zajistit v případě prostupu rozvodů požárně dělící stěnou odpovídající požární odolnost prostupované konstrukce. Takovéto prostupy musí být dotaženy až k povrchu prostupujícího média ve stejném duchu jako zbytek konstrukce, tato



„dotahovaná“ část tedy musí být ve stejné skladbě a tloušťce jako je prostupovaná požárně dělící stěna. V určitých případech norma umožňovala tuto část provést v jiné skladbě, a to v případě kdy touto záměnou nedocházelo ke zmenšení požární odolnosti konstrukce jako celku a také pokud nedošlo ke změně konstrukce, tedy například z konstrukce druhu DP1 na DP2. [10]

V případě vynechání volného montážního otvoru během realizace stavby bylo nutné dozdít či dobetonovat (nebo jinak zaplnit výrobky s třídou reakce na oheň A1 – A2) otvor v celé tloušťce konstrukce až k povrchu potrubí (viz obr. č. 9). Pokud by však skladba prostupované požárně dělící stěny nevyhovovala pro těsnění prostupu, muselo být přikročeno, bez ohledu na rozměry a materiál prostupujícího rozvodu, k těsnění pomocí manžet, tmelů a dalších výrobků zajišťujících potřebnou požární odolnost (za dostačující se v tomto případě považovalo řešení s požární odolností do 90 minut). Ostatní požadavky jsou oproti poslednímu znění normy nezměněné. [10]

3.1.4 ČSN 73 0810:2016 – současnost

V červenci roku 2016 došlo k vydání doposud nejnovějšího znění této normy. Zpracován v ní byl (jako v předešlých verzích) vývoj evropských norem, které se zabývají klasifikací stavebních výrobků dle požární odolnosti, všechny změny předchozí verze normy z roku 2009 (změny Z1, Z2 a Z3) a v neposlední řadě také zkušenosti získané v průběhu let. Z hlediska této práce je však nejdůležitější, že byly stanoveny další požadavky získané zkušenostmi v průběhu let, které upravují požární bezpečnost těsnění prostupů potrubí skrze požárně dělící konstrukce. [11]

Základní požadavky na dotahování prostupovaných konstrukcí až k vnějším povrchům prostupujících sítí zůstaly zachovány, nově se však provádí těsnění dle dvou hlavních kritérií:

- a) osazením/instalací systémové požární ucpávky, samozřejmě v souladu s ČSN EN 13501-2:2010, nebo
- b) pokud neposuzujeme prostupy vedoucí do chráněných únikových cest, dotažením/dotěsněním/dozděním prostupované konstrukce v celé své tloušťce pomocí materiálů s certifikovanou třídou reakcí na oheň A1 či A2. [11]

Dle bodu b) se postupuje pouze v určitých případech, kdy se může jednat o prostup maximálně tří kusů potrubí z nehořlavých materiálů s třídou reakcí na oheň A1 nebo A2, musí být trvale zavodněné ať již vodou či jinou kapalinou, která však nesmí být hořlavá, a maximální vnější průměr jedné trubky nesmí přesáhnout 30 mm. Navíc, pokud by byl prostup osazen dodatečnou izolací, tak ta musí být z materiálů se stejnou třídou reakce na oheň a musí přesahovat



minimálně 500 mm na každou stranu prostupované konstrukce. Nebo, v druhém případě, kdy se může postupovat dle bodu b), se jedná o prostup jednoho kabelu o maximálním vnějším průměru 20 mm. Tento kabel musí být veden samostatně a bez chráničky a může být veden zděnou, betonovou či dokonce SDK konstrukcí. Zde také platí již známá podmínka o dotažení konstrukce ve stejné skladbě až k prostupujícímu médiu, v tomto případě kabelu elektroinstalace. Pokud však nastane případ, kdy je pro kabel realizován prostup o větším průměru, než je kabel, postupuje se podle bodu a), tedy je potřeba tento kabel opatřit systémovou požární ucpávkou. [11]

Podle bodu a) se prostupy hodnotí jako EI, pokud se nachází ve stěně ohodnocené jako REI, či jako E, pokud jsou ve stěně ohodnocené jako REW. [11]

S možností zaměnění normou požadovaných řešení prostupů v situacích, kdy je prostup velmi špatně přístupný, norma počítá i nadále, již však nemluví přímo o možnosti instalace ochranného stabilního hasicího zařízení, ale o alternativním řešení, které však musí povolit autorizovaná osoba.⁴ [11]

3.2 ČSN 73 0802 + ČSN 73 0804

Co se týká řešení prostupů, odkazuje tato technická norma na ČSN 73 0810 [11], ale i přesto má několik vlastních požadavků, které chce splnit.

Prostupovat požárně dělící stěnou smí potrubí rozváděcí nehořlavé látky buď s průřezovou plochou do 40 000 mm² bez toho, aniž by byl brán ohled na hořlavost materiálu trubek, nebo s průřezovou plochou nad 40 000 mm² z výrobků s třídou reakce na oheň A1 nebo A2. Navíc pokud toto druhé řešení obsahuje i instalaci případné izolace, musí přesahovat alespoň o 1 000 mm na každou stranu prostupované požárně dělící konstrukce. Pro průřezy nad 40 000 mm² z hořlavých materiálů je zákaz jejich vedení volně v požárním úseku a musí se zabudovávat do instalačních šachet, nebo musí být obestavěny konstrukcemi druhu DP1. Oproti tomu potrubí z materiálů nehořlavých může být vedeno skrz požární úsek volně. [12]

V případě nehořlavých látek musí být u prostupu s průřezovou plochou do 750 mm², ve skupinách obytných budov OB1 a OB2 s požární výškou $h \leq 22,5$ m, trubky z materiálů s třídou reakce na oheň A2 nebo B a musí být spolehlivě zamezeno jakémukoliv úniku této látky, ať už

⁴ Nejedná se o autorizovanou osobu ve smyslu autorizovaného inženýra, ale ve smyslu certifikované laboratoře.



kapaliny či plynu. Potrubí s průřezovou plochou do 15 000 mm² může být provedeno bez jakýchkoliv dalších opatření a potrubí s průřezovou plochou mezi 15 000 mm² a 35 000 mm² musí být v místě kde prostupuje skrze požárně dělicí konstrukci osazený uzávěr, který se v závislosti na vzrůstající teplotě sám uzavře (trubky s průřezovou plochou do 35 000 mm² musí být z materiálů s třídou reakce na oheň A1). [12]

Co se týká potrubí s průřezovou plochou nad 35 000 mm² nesmí být vedeny volně, ale musí být zabudovány do šachet, jejichž konstrukce jsou klasifikovány jako EI či REI 90 DP1 (případně uzávěry otvorů musí být EI 45 DP1). Navíc musí být potrubí osazeno ventilem s obdobnou funkcí jako v případě potrubí pro nehořlavé látky, tedy se samočinným uzavřením při překročení teploty 80 °C. [12]

V případě technické normy ČSN 73 0804 [15] se jedná o téměř totožné požadavky jako u ČSN 73 0802. Z toho důvodu je norma ČSN 73 0804 pouze přidružená k této kapitole.

3.3 ČSN EN 13501-2+A1

Celý název této normy zní „ČSN EN 13501-2+A1 Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – část 2: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti kromě vzduchotechnických zařízení“ a pro tuto práci je důležité především, že upravuje klasifikaci těsnění prostupů. [13]

Aby mohl být prostup nějakým způsobem klasifikován, je nutné nejprve provést řadu zkoušek, které nám sdělí potřebné informace pro tento úkon. A jelikož pouze jedna zkouška nemůže být relevantním podkladem pro klasifikaci, je nutné provést zkoušek několik a na jejich základě se rozhodnout, jak bude daný typ prostupu zatřízen. Potřebný počet zkoušek je ovlivněn několika faktory, a to zejména tím, jak bude instalace, u které se počítá, že bude prostupem (včetně těsnění) procházet, ve výsledku využita a rozmístěním a rozsahem podpěrných konstrukcí, které podpírají zkušební vzorek v peci. [13]

Norma dále definuje pojmy, jako je „kritérium celistvosti“ a „kritérium izolace“, definuje možné třídy požární odolnosti až do 240 minut (ale pro Českou republiku se nevyžaduje požární odolnost vyšší než 180 minut) a také udává čtyři možné typy uspořádání konců potrubí během zkoušky v peci. [13]



3.3.1 Kritérium celistvosti (E)

Celistvost je definována jako vlastnost posuzovaného prvku odolávat požáru, kterému je vystaven pouze z jedné strany. Plamen si při zjišťování tohoto parametru nesmí dostat na druhou stranu zkoušeného prvku (nevystavenou požáru). Dle ČSN EN 13501-2+A1 se celistvost stanovuje pomocí bavlněného polštářku, měřiče mezer nebo vizuálně, kdy se hodnotí trvalé hoření plamene na odvrácené straně. Ke ztrátě celistvosti dochází v případě, že do 30 sekund od přiložení vzplane bavlněný polštářek, pokud se vytvoří dostatečně veliké mezery na to, aby jimi mohl projít měřič mezer nebo pokud se na straně prvku nevystavené požáru objeví nepřetržitě hořící plamen po dobu více než 10 sekund. Dále norma uvádí, že pokud je prvek zkoušen pro obě kritéria, tedy pro kritérium celistvosti (E) a (I), hodnota celistvosti se určuje na základě toho, ke kterému ze tří výše zmiňovaných porušení dojde nejdříve. Pokud je prvek zkoušen pouze pro hodnotu celistvosti (E), hodnotí se toto kritérium na základě nepřetržitého plamene či vzniku mezer a opět záleží na tom, ke které skutečnosti dojde nejdříve. [13]

3.3.2 Kritérium izolace (I)

Kritérium izolace je založeno na tom, o kolik vzroste teplota na straně prvku nevystavené požáru. „*Úroveň vlastností, použitá pro stanovení kritéria izolace, je vzrůst maximální teploty v jakémkoliv místě omezená na 180 °C nad počáteční průměrnou teplotu.*“ Při posuzování kritéria izolace pro požárně dělící konstrukce se k této podmínce stanovuje ještě podmínka na průměrný vzrůst teploty o 140 °C – průměrná teplota se v případě zkoušení těsnění prostupů nehodnotí. [13]

3.4 ČSN EN 1366-3

Cílem této normy je úprava a specifikace postupů při zkoušení systémových těsnění prostupujících instalací skrze požárně dělící konstrukce. Popisuje možné aplikace těchto systémů a zároveň se zabývá hodnocením možností jejich těsnění. Zabývá se především potrubními a kabelovými prostupy, ale pro potřeby této práce jsou důležité především ty potrubní.

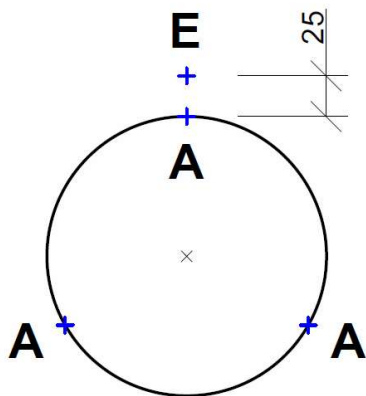
Mimo jiné je v této normě řešeno rozmístění termoelektrických článků během zkoušení prostupujících instalací tak, aby byla zkouška podle evropských standardů. Tyto možnosti umístění termočlánků jsou v normě označovány jako „Polohy“ a je jich hned několik. Ale pro potřeby této práce byly nezbytné pouze dvě polohy a ty jsou následující. [14]

3.4.1 Poloha A

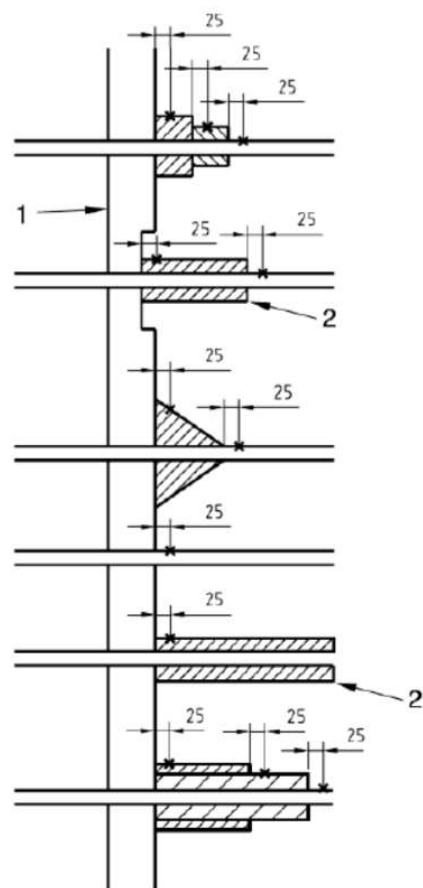
Termočlánek v poloze A se osazuje na povrch prostupující instalace na neexponované straně, tedy na odvrácené straně od požáru prostupované konstrukce. Přesně se termočlánek umísťuje 25 mm od místa, kde prostupující médium (v našem případě plastová trubka) vyčnívá z fasády, či jakékoliv izolační hmoty, která danou trubku chrání. Pro potřeby zkoušky dle normy ČSN 1366-3 postačí jeden termoelektrický článek na 500 mm obvodu prostupujícího potrubí (viz obr. č. 10). [14]

3.4.2 Poloha E

Termočlánek v této „poloze“ se umísťuje, oproti poloze A, na povrchu konstrukce, skrze kterou rozvod prochází. Umísťuje se ve stejné vzdálenosti jako termočlánek v poloze A, tedy 25 mm, avšak jeho umístění je na povrchu prostupované konstrukce ve zmiňované vzdálenosti od prostupujícího média (viz obr. č. 10). [14]



obr. 10 Rozmístění termočláneků dle poloh A a E



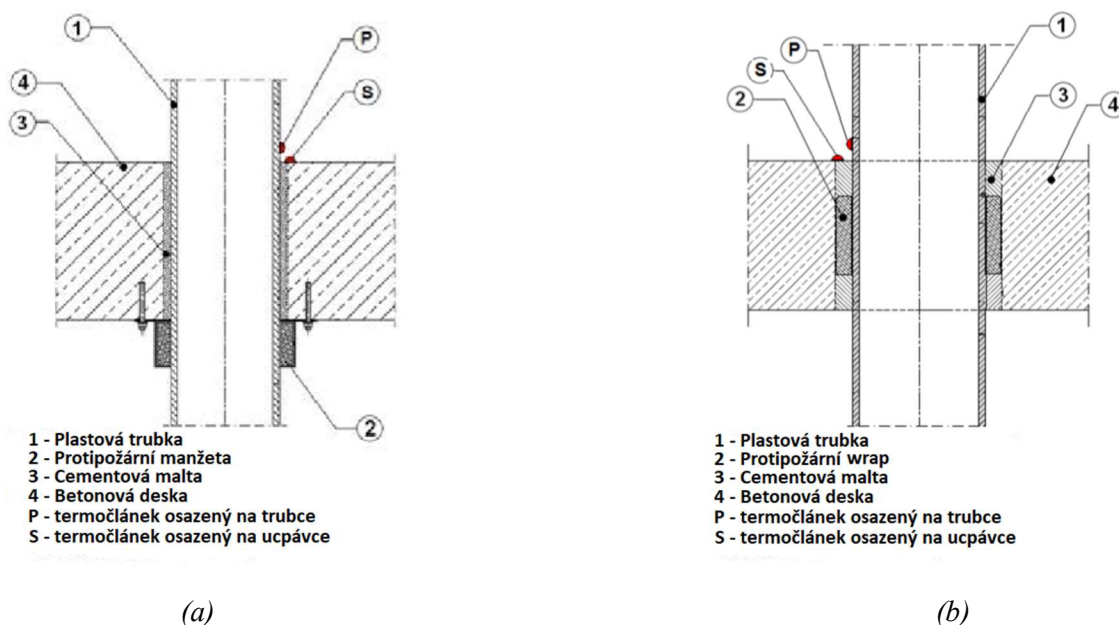
obr. 11 Rozmístění termočláneků na neexponované straně [14]:
1-exponovaná strana; 2-neexponovaná strana



4. Porovnání nárůstů teplot v závislosti na použité požární ucpávce

Aby bylo zjištěno, která sestava a kombinace komponent je v případě montáže požární ucpávky na plastové rozvody nejvhodnější, bylo provedeno měření, které mělo přinést do dané problematiky více osvěty.

Pro požární zkoušku bylo vybráno 16 možných druhů situací prostupu plastového potrubí skrze požárně dělicí strop, z toho bylo 8 kusů zkoušených trubek z materiálu PVC-U a dalších 8 kusů z materiálu PE-HD, kdy polovina všech požárních ucpávek byla tvořena protipožárními manžetami a druhá polovina oproti tomu protipožárními wrapy, rovnoměrně rozdělené mezi oba druhy materiálů. Tabulku č. 5 s rozdělením najdete v Příloze 1.



obr. 12 Ukázka umístění termočláneků během požárních zkoušek na plastovém potrubí [6]:

(a) s požární ucpávkou typu „manžeta“; (b) s požární ucpávkou typu „wrap“

Jak již bylo popsáno v předchozích kapitolách, požární ucpávky typu manžeta se při prostupu potrubí požárním stropem umísťují pouze na spodní stranu, vzhledem k tomu, že největší nebezpečí hrozí od působení plamene a vzestupu horkých plynů ze spodní strany stropu. Z toho důvodu byly ucpávky (manžety) v řešeném testu různých metod ochrany plastového potrubí osazeny na spodní straně betonové desky, která simulovala stropní desku. Oproti tomu byly protipožární wrapy osazeny na plastové potrubí do středu prostupované stropní konstrukce. Dále byla na prostupu osazena čidla měřící nárůsty teplot na neexponované straně pro-



stupu, s odvoláním na ČSN EN 1366-3 [14]. Vzhledem k tomu, že tato norma upravuje podmínky pro zkoušky v požárních pecích, také udává JAK, KAM a KOLIK termočlánků osadit, popř. v jakých vzdálenostech. V případě popisovaného testu pro potrubí minimálního průměru (DN 32) byly osazeny na neexponované straně prostupu termočlánky dva. Jeden termočlánek pro prostupující plastovou trubku a druhý ve vzdálenosti 25 mm od prostupující instalace. V případě plastového potrubí s maximálním průměrem (DN 200) bylo množství termočlánků zdvojnásobeno, s opětovným odvoláním na zmiňovanou normu ČSN EN 1366-3, která udává, že jeden termočlánek se v tomto případě osazuje na 500 mm obvodu prostupujícího média. Umístění termočlánků také lze vidět na obrázku č. 12. [6]

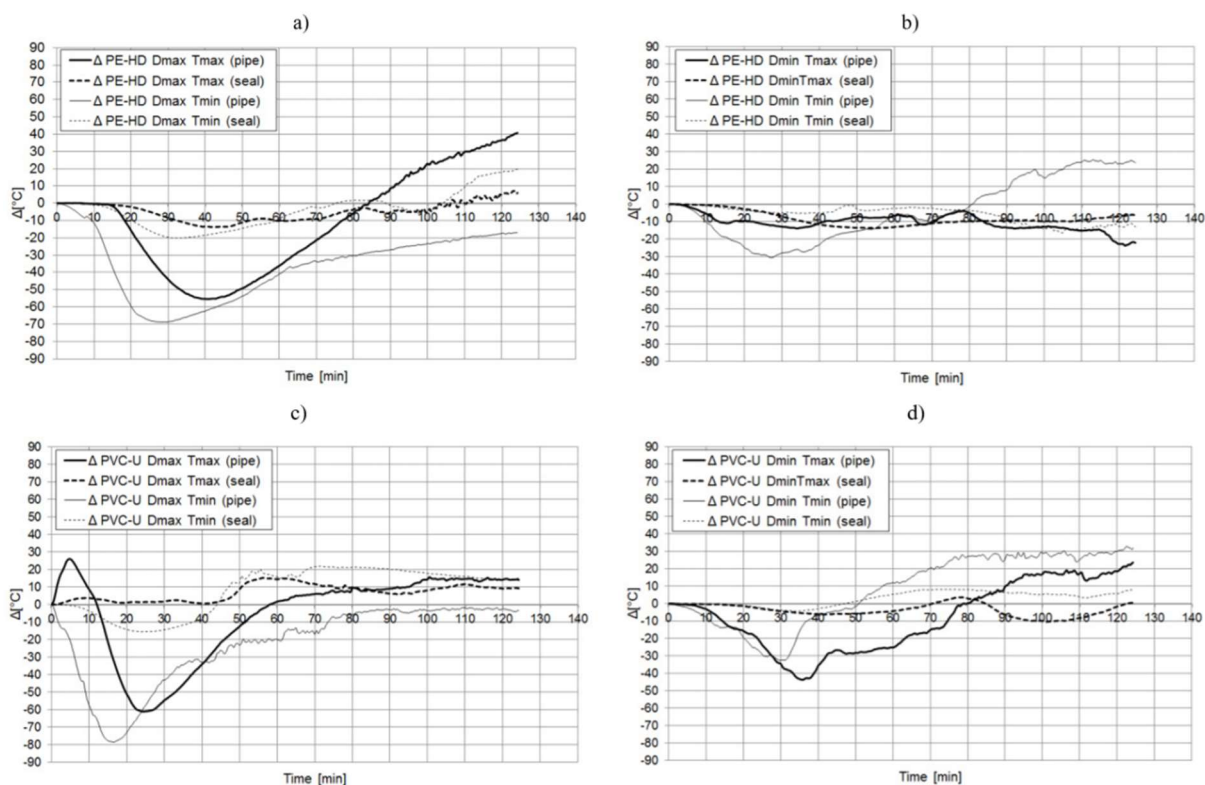
Po správném umístění termočlánků již následovalo zkoušení samotné, tedy se přikročilo k měření nárůstu teplot na neexponované straně, kdy výsledky těchto měření lze vidět na obrázcích 38 a 39 v příloze 2. Z jednotlivých grafů lze vyčíst, že teploty na trubkách, které byly chráněny požárními ucpávkami typu manžeta, byly výrazně menší než teploty na trubkách chráněných protipožárními wrapy. Tento jev vysvětluje skutečnost, že intumescentní pásek, který tvoří protipožární wrap, je díky svému zakrytí v konstrukci víceméně odstíněn od nejhorších účinků požáru v jeho rané fázi, zatímco izolace ve formě zpěnitelného grafitového materiálu obsaženém v manžetě je vystavena účinkům požáru již od samého začátku, a tak teplota potřebná k započetí chemické reakce je u manžety dosažena mnohem dříve, než je tomu u protipožárního wrapu, který je po stranách zakryt cementovou maltou. [6]

Zatímco tedy v počátečních fázích požáru protipožární manžety již uzavřely průřez plastového potrubí, zůstávaly teploty u ucpávek ve formě wrapů stále nedostatečné k započetí požadované reakce. K té dochází v pozdější fázi hoření, kdy teploty vzrostly už i v prostředku stropní konstrukce na potřebnou úroveň, a došlo tedy k uzavření průřezu i u protipožárních wrapů. Z grafů lze toto vyčíst díky poklesu teplot, který zachytily termočlánky umístěné na trubkách chráněných wrapy, a je to způsobeno skutečností popsanou výše, uzavřením profilu napětím wrapů do formy grafitové zátky. [6]

V posledních fázích požáru však můžeme sledovat z našeho hlediska zajímavý jev, a to zvyšování teplot naměřených na plastových trubkách, které jsou chráněny ucpávkami typu manžeta. Zatímco u trubek, které chrání protipožární wrapy, teplota stále klesá. Tento jev je způsoben skutečností, kdy u intumescentního materiálu obsaženém v manžetách začíná docházet k jeho odhořívání a k tomu dochází na základě přímého vystavení požáru po celou jeho dobu již od iniciační fáze. Zatímco u protipožárních wrapů, u kterých došlo u intumescentního



materiálu k aktivaci chemické reakce závislé na teplotě v mnohem pozdějším čase, nedošlo prozatím k dosažení tak velikých teplot potřebných k odhořívání vzniklé uhlíkaté zátky, a proto má teplota naměřená termočlánky na prostupující trubce stále klesající charakter. K popisovanému fenoménu dochází ve většině případů těchto zkoušek, ale ne ve všech. Tyto popisované skutečnosti lze pozorovat i na obrázku č. 13, kde jsou znázorněny rozdíly mezi grafy na obrázcích 38 a 39 (viz Příloha 2). [6]



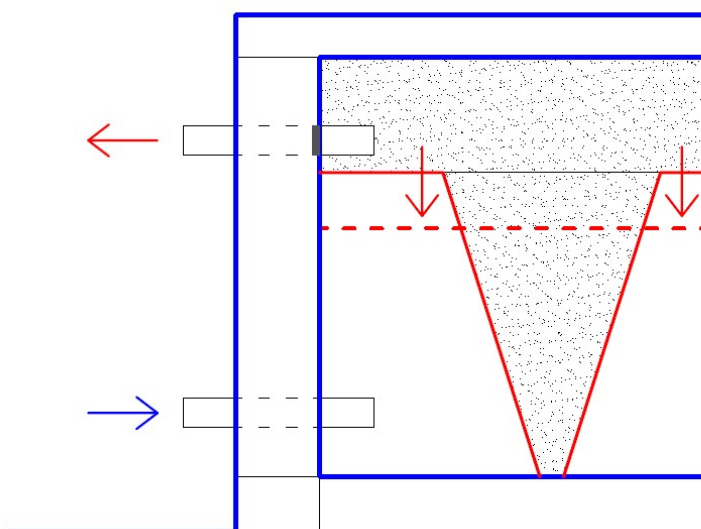
obr. 13 Rozdíly v naměřených hodnotách průměrných teplotních nárůstů na neexponované straně prostupu plastové trubky stropní konstrukcí, chráněném manžetou a wrapem [6]:

(a) PE-HD trubku o maximálním průměru s maximální a minimální tloušťkou její stěny; (b) PE-HD trubku o minimálním průměru s maximální a minimální tloušťkou její stěny; (c) PVC-U trubkou o maximálním průměru s maximální a minimální tloušťkou její stěny; (d) PVC-U trubkou o minimálním průměru s maximální a minimální tloušťkou její stěny



5. Velkorozměrový požární experiment

Vzhledem k tomu, že se tato práce zabývá požárními ucpávkami pro plastová potrubí, je nutné vzít v úvahu novelizaci technické normy ČSN 73 0810, která radikálně změnila podmínky pro utěšňování a chránění prostupů požárně dělicími konstrukcemi. Podle této nově vydané normy je totiž nutné ošetřovat systémovými ucpávkami téměř každý prostup vedoucí skrze konstrukci s požárně dělicí funkcí (více viz kapitola 3.1.4). Avšak s ohledem na rozměry prostupujícího média, jeho umístění a materiál ze kterého je vyrobeno vyvstává otázka, zda je opravdu nezbytné „ucpávat“ téměř vše. V této normě není zohledněno výškové umístění rozvodu, které by mohlo mít na ochranu před případným požárem vliv, navíc také není rozlišováno mezi hořlavým, tedy v našem případě plastovým, a nehořlavým potrubím. Tyto výše popsané důvody daly vzniknout otázkám, na které se autor rozhodl pokusit odpovědět, a to s pomocí chystaného požárního experimentu. V této kapitole byl tedy ponechán prostor pro nastínění autorovy teorie.



obr. 14 Schématický řez slaměným objektem postaveným v rámci experimentu

Základní kámen této myšlenky spočívá v rozdílu hustot plynů během požáru, nebo-li v tzv. „sloupci kouřových plynů“ a v tvorbě podstropní kouřové vrstvy. Tento sloupec kouřových plynů vzniká během požáru nad hořícím zdrojem požáru, kdy horké plyny stoupající ze spalovaného zdroje mají menší hustotu než okolní studený vzduch, a tedy tím pádem se díky vztlakovým silám pohybují směrem vzhůru od požáru. Tento jev také doprovázen dalším jevem, a to tvorbou již zmíněné kouřové vrstvy, což jsou pod stropem kumulované zplodiny hoření. Postupem času během požáru kouřová vrstva roste v závislosti na objemu přepravených horkých plynů, předmětným „sloupcem kouřových plynů“.

[16]



S ohledem na výše popsané vyplývá, v rámci autorovy teze, že pro prostupy umístěné v nižších polohách není zcela nezbytné jejich protipožární zabezpečování požárními ucpávkami (z důvodu kumulace vysokých teplot v horních částech místnosti). Nedojde tedy k tak velké tepelné expozici prostupu u podlahy, a tudíž po dobu požadované požární odolnosti nemusí dojít k překročení mezních stavů E a I. Jako první by měly být ovlivněny požární ucpávky na prostupech v horních částech místnosti, zatímco se kouřová vrstva bude zvětšovat a bude se rozšiřovat směrem dolů a spodní otvory budou sloužit pro přívod čerstvého vzduchu. Tyto prostupy budou spíše ochlazovány, a tím spíše dojde ke spuštění jejich ucpávek v mnohem pozdějších fázích požáru. Popsaná situace je znázorněna na obrázku č. 14. [16]

5.1 Příprava experimentu

V rámci spolupráce několika kateder ČVUT Fakulty stavební, jmenovitě Katedry konstrukcí pozemních staveb, Katedry ocelových a dřevěných konstrukcí a Katedry technologie staveb, bylo přikročeno k přípravě velkorozměrového požárního experimentu. Od tohoto experimentu bylo očekáváno, že přinese odpovědi na několik otázek ohledně požární bezpečnosti, včetně odpovědi, zda je myšlenka autora práce postavena na správných základech.

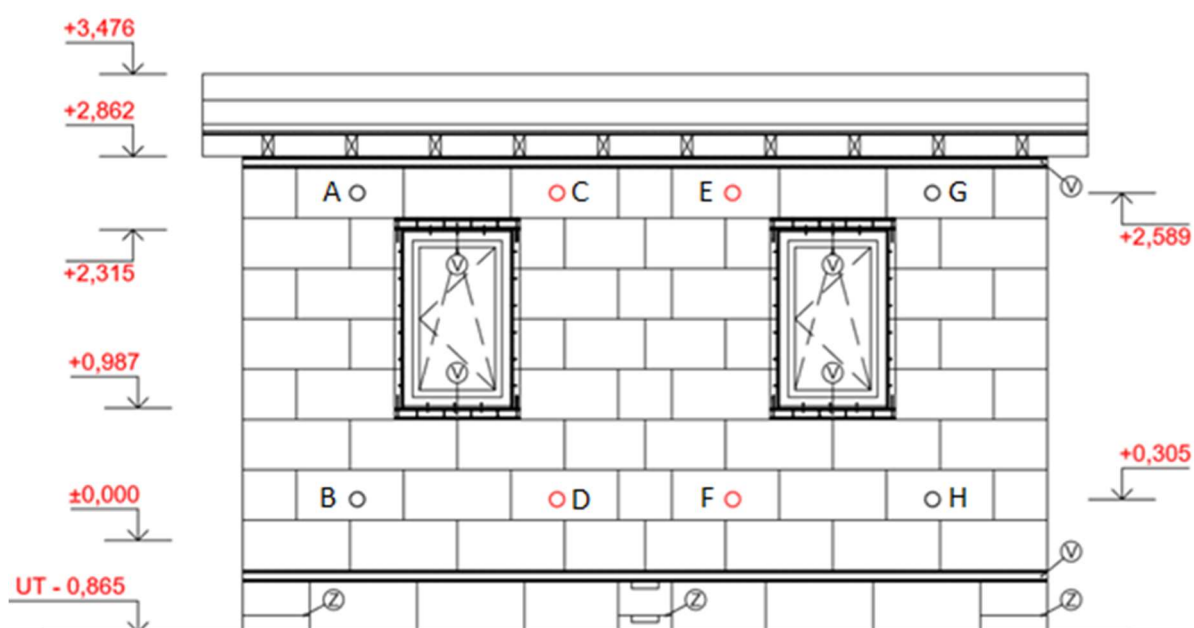
Jedná se o stavbu menšího slaměného objektu o jednom nadzemním podlaží a dvou místnostech, přičemž obě místnosti mají samostatný vchod a jsou průchozí. Volbou tohoto stavebního materiálu se naskytla možnost experimentálního zjišťování chování požárních ucpávek n nestandardní konstrukci a tato možnost jako taková nemohla být přehlížena.

Tento objekt je založen na 13 základových patkách, které jsou tvořeny ztraceným bedněním, respektive prolévacími tvárnici. Na tyto základové patky byl následovně umístěn montovaný dřevěný věnec zhotovený z latí a řezaných OSB desek, jenž měl za úkol nést samotnou konstrukci slaměného domu a aby bylo zajištěno alespoň minimální „provázání“ slaměných balíků s věncem, byly do věnce osazeny kusy betonářské výztuže, přibližně 500 mm dlouhé, na které byly následně osazovány zmiňované balíky. Každá následující řada balíků byla provázána s řadou předchozí totožným způsobem, čímž bylo docíleno minimální potřebné tuhosti pro vztyčení celé konstrukce (ještě před vlastní konstrukcí slaměných stěn byly na spodní dřevěný věnec osazeny dřevěné „kaslíky“ sloužící jako zárubně pro budoucí dveřní otvory a během výstavby stěn byly do jedné z delších stěn objektu - jižní stěna - osazeny „kaslíky“ pro budoucí instalaci okenních výplní). Výsledná slaměná konstrukce byla tvořena osmi řadami slaměných balíků a po jejím vztyčení byl na její vršek osazen druhý dřevěný věnec, totožný s věncem spodním. Tyto dva věnce, tvořící jakýsi sandwich, byly následně staženy ocelovými



pásky, což mělo za následek ztužení celé konstrukce a rozdělení váhy celé konstrukce mezi oba věnce (spodní věnec byl tímto odlehčen).

Konstrukce střechy byla prováděna po cca měsíci od vztyčení hlavní nosné konstrukce slaměného objektu. Střecha byla navržena jako pultová, kdy na horní věnec byly ukotveny dřevěné trámký a ty byly následně opatřeny záklopem z OSB desek. Mezi trámký bylo použito dvou druhů tepelné izolace (skelné a čedičové), pro každou místnost jiné. Toto bylo předmětem další diplomové práce. Po zaklopení trámek OSB deskami byl pomocí dalších trámek a latí zajištěn navržený spád střešní konstrukce a ve finální fázi konstrukce střechy bylo přistoupeno k jejímu pobytí asfaltovou lepenkou.



obr. 15 Pohled na experimentální slaměný objekt „Slamáček“, jižní strana s umístěnými prostupy, červené prostupy s ucpávkami, černé prostupy bez ucpávek

Co se týká konstrukcí omítek, kolegové z katedry technologie staveb se rozhodli pro kombinaci hliněné omítky s omítkou vápennou, a proto byl objekt rozdělen na několik úseků, ve kterých byla omítka nanášena v různých složeních, v různých tloušťkách a různými pracovními postupy – v každé místnosti byla omítka s jinou tloušťkou. Z jejich strany šlo o výzkum, kdy zjišťovali pracnost a časovou náročnost zhotovování omítek. Vnější fasáda slaměného objektu byla rozdělena na dvě části, kdy jedna část byla omítnuta hliněnou omítkou a druhá část byla omítnuta vápennou omítkou. Omítky byly nanášeny ve třech fázích. V první fázi byl objekt opatřen vyrovnávací vrstvou omítky, jejíž účel byl vyrovnat největší nerovnosti způsobené různými rozdíly v rozměrech slaměných balíků a také zlepšit přilnavost druhé vrstvy omítky. Ve



druhé fázi byly nanášeny hrubé omítky, čímž bylo docíleno téměř vyrovnání podkladu. A ve třetí fázi došlo na pohledové omítky, které daly objektu výsledné vzezření.

Vzhledem k zaměření této diplomové práce bylo do jižní stěny během výstavby stěnové konstrukce (stěna s okny) osazeno několik prostupujících plastových trubek, jmenovitě se jedná o trubku PVC KGEM DN 110 s tloušťkou stěny 3,2 mm. Jak bylo zmíněno výše, v obou místnostech byly provedeny omítky s rozdílnou tloušťkou, proto bylo přikročeno k tomu, že pro každou místnost byl zvolen stejný počet trubek umístěných zrcadlově. Do každé místnosti byly nainstalovány čtyři prostupy, dva v horní části a dva v dolní části místnosti. Tyto prostupy mají simulovat běžné rozvody odpadní kanalizace od toalety, které se nacházejí v každé obytné budově. Spodní prostupy mohou simulovat odvod přímo od WC, kdežto prostupy horní mohou být vnímány jako rozvody, které vznikly odskočením svislého svodu kanalizačního potrubí. Na obrázku č. 15 si lze povšimnout jejich rozmístění, také je z obrázku patrné, že prostupy blíže středu slaměného objektu (umístěné u středové stěny) jsou opatřeny požárními ucpávkami – červeně zvýrazněné prostupy. Jako požární ucpávka byl zvolen protipožární wrap „Protecta Pipe Wrap“, který byl pro potřeby požárního experimentu darován firmou J. Seidl & spol., s. r. o, a spouštěcí teplota při které dochází k nabývání objemu tohoto wrapu, se pohybuje kolem 140 °C. V závislosti na materiálu prostupujícího média, prostupované konstrukce a tloušťky konstrukce bylo následně zvoleno množství wrapu na jednu trubku. Ve výsledku byl použit intumescentní pásek o rozměrech 50 x 3,6 mm, který se dvakrát omotal po obvodu trubky a tento pásek byl použit z obou stran stěnové konstrukce. Zároveň se prostor mezi wrapy a stěnou vyplnil akrylátovým tmelem „Protecta FR Acrylic“.

[17, 18]

Takto osazené wrapy byly z poloviny zapuštěny do stěnové konstrukce ze slaměných balíků a druhá polovina zůstala viditelná (viz obrázek č. 16 a 17). Toto řešení bylo zvoleno z důvodu předpokládané tloušťky omítky, kdy ve výsledku po nanesení všech tří vrstev omítek, byly veškeré wrapové požární ucpávky skryté, či jen nepatrně přesahovaly finální vrstvu.

Po dokončení všech potřebných prací na objektu bylo po době nezbytné pro vyschnutí omítek a pro dokončení experimentů ostatních účastníků projektu, do vnitřních prostor nanošeno normové požární zatížení ve formě dřevěných latí o rozměrech 60x40 mm. Tyto latě byly vyskládány ve formě hranic, pod které byly umístěny iniciační zdroje s benzinem pro následný simulovaný požár.



obr. 16 Pohled na prostup z vnější části objektu



obr. 17 Pohled na prostupy z místnosti

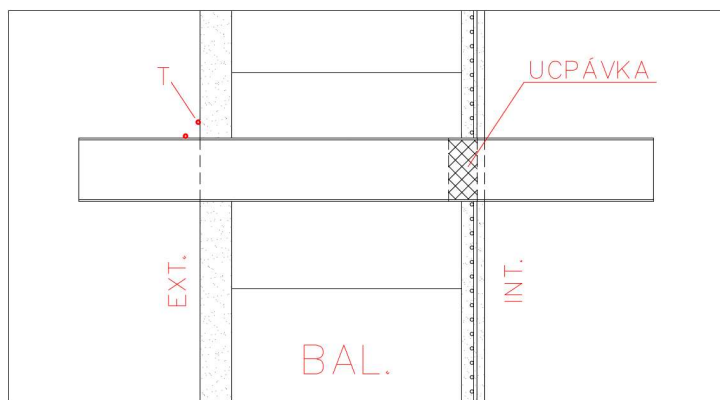
5.2 Průběh a výsledky experimentu

Dne 20. 09. 2017 bylo přikročeno k experimentu, tedy k zapálení slaměného objektu. Před samotným zapálením objektu byly na klíčová místa umístěny termočlánky, které během zkoušky snímaly změny teplot a zaznamenávaly je v požárních ústřednách. Co se týče umístění termočlánků pro plastové trubní prostupy, chráněné či nechráněné požárními ucpávkami, bylo postupováno dle ČSN EN 1366-3 [14] (požadavky této technické normy byly řešeny již v kapitole 3.4.). Dle pokynů obsažených v tomto dokumentu vyšly na každý prostup stěnou dva termočlánky, jak je patrné z kapitoly 3.4 a z obrázku č. 10 a 11. Tedy na každých 500 mm obvodu plastové trubky jeden termočlánek umístěný 25 mm od hrany prostupované konstrukce na povrchu trubky a jeden termočlánek umístěný ve vzdálenosti 25 mm od hrany prostupujícího média na povrchu těsnění prostupu. Obrázek č. 18 zobrazuje výsledné umístění termočlánků na jednom prostupu a výsledné celkové rozmístění termočlánků na všech prostupech, včetně jejich označení, je zobrazeno v příloze č. 4.

V 10 hodin a 51 minut byl požární experiment zahájen zapálením iniciačních zdrojů s benzínem. Protokol o celkovém průběhu zkoušky je přílohou č. 3 této práce. Požární zkouška trvala celkem přibližně 66 minut a ukončena byla celkovým kolapsem budovy.



Než zde budou popsány výsledky zkoušky, je třeba si připomenout hlavní předpoklad, se kterým bylo do zkoušky vstupováno. S odkazem na obrázek č. 14 bylo uvažováno s vysokým nárůstem teplot v horní části slaměného objektu, předpokládalo se tedy s uzavřením požárních ucpávek na prostupech v této části objektu (prostupy C a E – viz Příloha 4). Dále byl předpoklad nasávání čerstvého vzduchu spodními prostupy, a tedy se neočekávalo uzavření ucpávek na prostupech ve spodní části objektu (prostupy D a F), alespoň v době, která předchází tzv. Flashover efektu.



obr. 18 Schéma rozmístění termočlánků během zkoušky
T - termočlánek

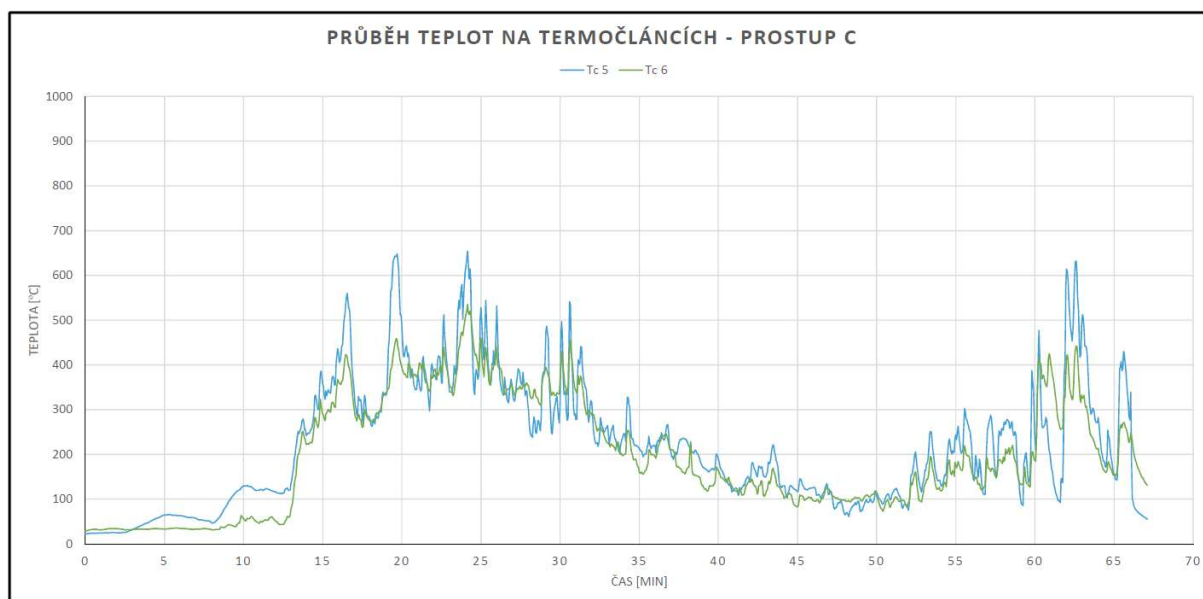
Z průběhu zkoušky a výsledků ve formě průběhů teplot na termočláncích umístěných na prostupech, vyplývá následující:

Na prostupu C měly teploty na termočláncích velmi pozvolný průběh, až od cca osmé minuty se průběhy termočlánků Tc 5 a Tc 6 začínají lišit. Teplota na termočlánci Tc 5 vystoupá na přibližných 130 °C a v podobném duchu průběh teplot pokračuje až do třinácté minuty. Teplota na Tc 6 začne výrazněji stoupat až po uběhnutí dvanácti minut od začátku experimentu a ve třinácté minutě se průběhy teplot na obou termočláncích téměř setkají a dál jsou velmi podobné. V tomto bodě se průběhy blíží k hranici spouštěcí teploty řetězové reakce intumescentního materiálu, ze kterého je wrap vyroben. Průběh teplotní křivky však naznačuje, že k celkovému uzavření prostupu požární ucpávkou nedošlo, pravděpodobně došlo pouze k částečnému zúžení profilu prostupu skrze stěnu. Tato skutečnost je patrná po porovnání průběhů teplot na prostupu C s průběhem na prostupu A (průběhy teplot na všech prostupech v příloze 5).

Teplota na termočlánci Tc 5, umístěný ve vzdálenosti 25 mm od prostupu na omítnuté stěně, dosáhne svého maxima 653,8 °C ve dvacáté čtvrté minutě, oproti tomu termočlánci Tc 6, umístěný na prostupu, ve vzdálenosti 25 mm od prostupované stěny, dosáhne 534,9 °C v totéž okamžiku. Dále již následuje pokles teplot, což indikuje odhoření podstatné části paliva zdroje požáru, a teploty na obou termočláncích klesnou až na cca 80 °C. V tuto chvíli začínají



teploty znovu stoupat a tato skutečnost je dána porušením celistvosti slaměného objektu, jeho pozvolně postupujícím kolapsem, čímž se otevírá ohni přístup k dalšímu hořlavému materiálu a požár opět nabývá na intenzitě (viz Příloha 3 – Podrobný protokol a průběhu požárního experimentu). Teploty narůstají až do cca šedesáté druhé minuty, přičemž nepřekročí maximální teploty, kterých bylo dosaženo v první polovině experimentu. Následuje náhlý pokles teplot a konec měření v šedesáté šesté minutě.



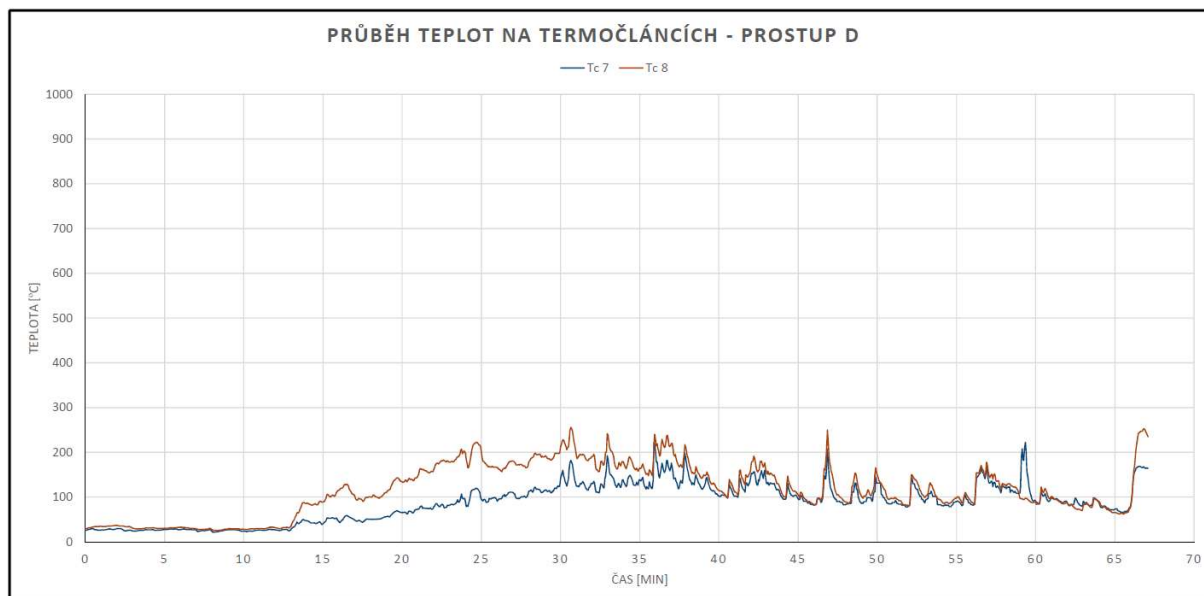
obr. 19 Průběh teplot na termočláncích na prostupu C

Oproti tomu má spodní prostup D mnohem mírnější průběh. Až do třinácté minuty požární zkoušky se teploty na obou termočláncích pohybovaly v nižších polohách kolem 30 °C a od této chvíle se průběhy teplot na termočláncích rozdělují. Křivka termočláncu Tc 7 pozvolně narůstá až do třicáté šesté minuty, kdy křivka dosáhne svého maxima a to je 222,1 °C. Průběh teploty na termočláncu Tc 8 je o něco rychlejší, kdy se tento průběh od třinácté minuty začíná odlišovat od průběhu na Tc 7, narůstá až do třicáté první minuty a zde dosáhne svého maxima 255,8 °C. Od této chvíle začíná křivka pozvolně klesat až se ve třicáté šesté minutě setká s křivkou Tc 7 a další průběhy obou křivek jsou téměř totožné. Obě křivky pozvolna klesají a s občasnými výkyvy se ustálí na cca 100 °C.

Vzhledem k aktivační teplotě ucpávky (140 °C) je nutné podotknout, že v prostupu D došlo s největší pravděpodobností k její aktivaci, což vyplývá z porovnání tohoto prostupu se sousedním nechráněným prostupem B, jehož průběhy teplot se přibližně od dvacáté sedmé minuty začínají podstatně lišit. K této skutečnosti došlo pravděpodobně v souvislosti s umístěním hranic požárního zatížení do těsné blízkosti prostupu, čímž teplota v blízkosti ucpávky zřejmě



značně přesáhla aktivační teplotu a došlo k jejímu rychlému uzavření. S odvoláním na Podrobný protokol o průběhu požárního experimentu (Příloha 3) je však nezbytné zmínit, že těmito spodními prostupy byl pozorován průnik kouře podstatnou část požárního experimentu. Z toho vyplývá, že sice došlo k aktivaci požární ucpávky, ale nedošlo k celkovému uzavření průřezu plastového potrubí



obr. 20 Průběh teplot na termočláncích na prostupu D

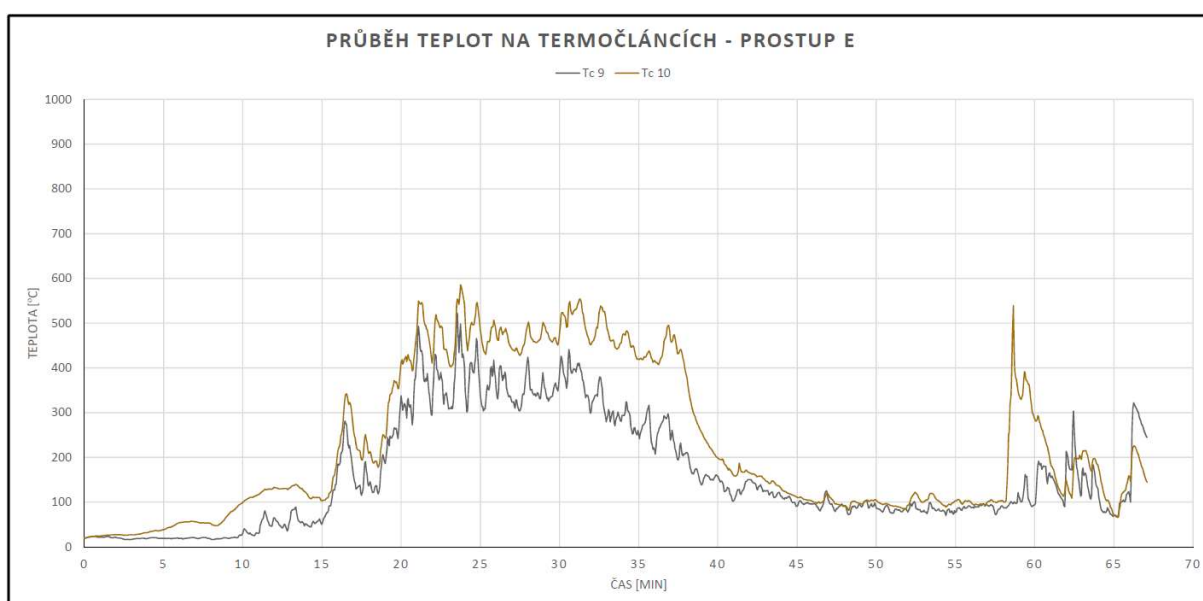
Předchozí řešené prostupy se nacházely v levé místnosti slaměného objektu, následující popsané prostupy se nachází oproti tomu v druhé polovině objektu, tedy v pravé místnosti.

Průběh teplot na termočláncích, které byly umístěny na prostupu E (Tc 9 a Tc 10), je dosti podobný průběhům na prostupu C. Do cca osmé minuty mají obě teplotní křivky spíše mírně narůstající charakter a od tohoto momentu začíná teplota stoupat rychleji. Křivka Tc 9 má náběh poněkud pomalejší, ale v šestnácté minutě vystoupá teplota na 281,1 °C. Dále tato křivka zaznamená propad během jedné minuty na 115 °C a následně začne teplota opět stoupat s občasnými výkyvy na své maximum 514,4 °C, kterého křivka dosáhne ve dvacáté čtvrté minutě. Teplotní křivka termočláncu Tc 10 má, od již zmíněné osmé minuty, rychlejší nárůst, ale po vystoupaní na přibližných 139 °C, během minuty a půl poklesne zpět na 102 °C a od tohoto momentu začne teplota opět narůstat. V šestnácté minutě experimentu průběh na tomto termočláncu zkopíruje propad křivky Tc 9, ovšem ten se zastaví na 194 °C a dále má křivka stoupající charakter s maximální dosaženou teplotou o velikosti 585,6 °C v čase dvaceti čtyř minut.



Z výše popsaných skutečností je jasné, že k aktivaci ucpávky muselo dojít, jelikož byla její iniciační teplota několikanásobně překročena. Bohužel je také nutno zkonstatovat, že nejspíš nedošlo k uzavření průřezu plastového trubního prostupu, s odvoláním na obr. č. 21 a na něm zobrazené průběhy teplot. Pokud by došlo k celkovému „vypěnění“ prostupu materiálem požární ucpávky, hodnoty teplotních křivek by nedosahovaly do takových výší.

Po celkovém poklesu teplot dochází k výkyvu v měření v padesáté osmé minutě, což je způsobeno kolabující konstrukcí experimentálního objektu, kdy se oheň dostane k dalšímu hořlavému materiálu. Po následném celkovém kolapsu nosné konstrukce v šedesáté šesté minutě je zkouška ukončena.



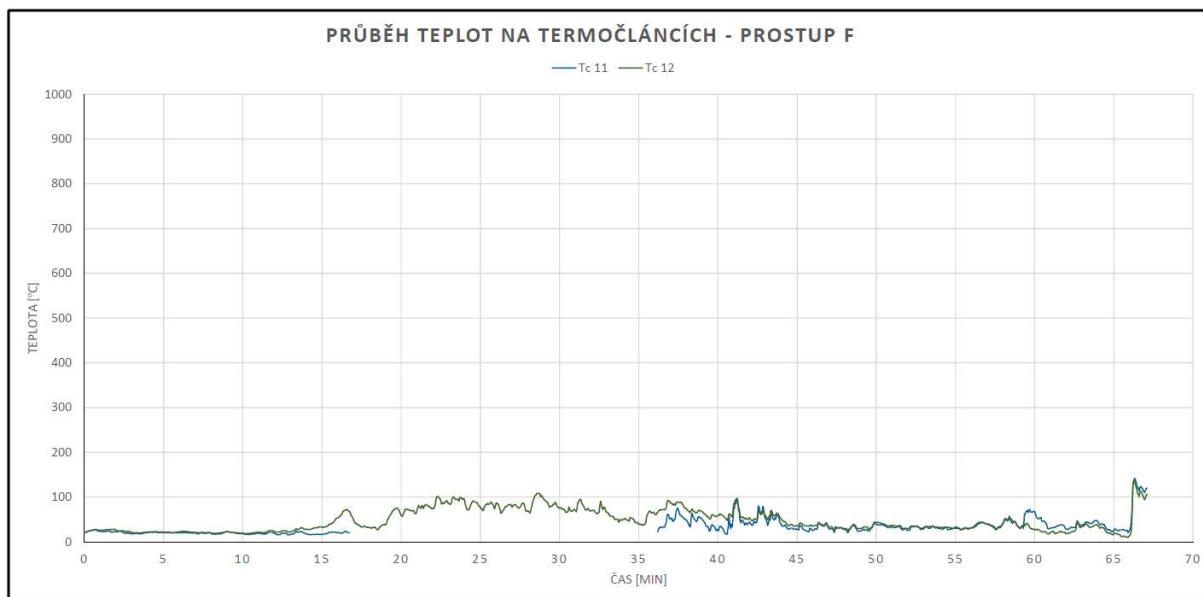
obr. 21 Průběh teplot na termočláncích na prostupu E

Výstupy z požární ústředny, která zaznamenávala veškeré údaje z termočlánců na objektu, jsou u prostupu F následující. Průběhy obou teplotních křivek na osazených termočláncích Tc 11 a Tc 12 jsou velmi mírné a nezaznamenávají žádné prudké nárůsty teplot. Křivka termočláncu Tc 12 mění svůj charakter až okolo patnácté minuty, kdy teploty vystoupají na přibližných 73 °C, následně však teploty opět klesnou až ke třiceti stupňům. Od tohoto okamžiku křivka zamíří vzhůru, ale stěží překoná hodnotu 100 °C, průběh teploty spíše osciluje na hranici 90-95 °C. Od třicáté minuty dochází ke změně charakteru křivky a ta začíná mírně klesat, s občasnými výkyvy směrem ke stu stupňům se teplota drží u hranice 33-34 °C.

Průběh teplotní křivky na termočláncu Tc 11 je v první fázi grafu dosti podobný. Od sedmnácté do třicáté šesté minuty však měření zaznamenaná požární ústřednou jsou dosti zavádějící, popírají zákonitosti spojené s požárem a vzrůstající teplotou a z toho důvodu je tento



výsek křivky termočlánku Tc 11 nepublikován. Interval od zmiňované třicáté šesté minuty až do konce zkoušky v podstatě kopíruje průběh křivky Tc 12, teplota se drží na přibližně stejné hranici. S největší pravděpodobností došlo v počátečních fázích experimentu k poškození kompenzačního vedení mezi termočlánkem a požární ústřednou, jelikož tento jev je zaznamenán i u termočlánků na sousedním nechráněném prostupu H (viz Příloha 5). Vzhledem k tomu, že podle výstupů z experimentu teploty na tomto prostupu F těžší přesáhly hodnotu 100 °C, nabízí se nám několik možných vysvětlení:



obr. 22 Průběh teplot na termočláncích na prostupu F

- a) Prostup skrz stěnu se nacházel mimo hlavní účinek požáru, a proto nedošlo k výraznějšímu ovlivnění nainstalovaných termočlánků na prostupu F. S ohledem na myšlenku, se kterou bylo do požárního experimentu vstupováno, je nutné podotknout, že závěry vyplývající z výstupů požárního experimentu na tomto prostupu se zdají být vůči této myšlence velmi příznivé. Dá se tedy říct, že výsledné průběhy teplot na prostupu F jsou povzbudivé, ale s největší pravděpodobností se jedná pouze o šťastnou souhru okolností. Vzhledem k výše popsanému tedy nejde s jednoznačnou určitostí tvrdit, že myšlenka o nepotřebě používání systémových požárních ucpávek na prostupy, které jsou umístěné ve spodních částech místnosti, je pravdivá a nelze toto tvrzení zobecnit a vztáhnout na veškeré podobné případy.
- b) Průběhy obou teplotních křivek termočlánků na prostupu F se nachází ve spodní části grafu (obr. 22) a hodnotu 100 °C překonají jen několikrát, a to jen o nepatrné množství stupňů. Tento průběh teplot může sice indikovat, že se prostup nacházel mimo oblast vysokých teplot, ale vzhledem k průběhu teplot na ostatních prostupech (viz Příloha 5)



se tato možnost zdá jako málo pravděpodobná (porovnání s prostupy B, D a H). Pravděpodobnější možné vysvětlení pro takový průběh je selhání měřicí techniky, přičemž tuto možnost podporuje průběh teplot na termočlátku Tc 11, kdy měření cca od sedmnácté do třicáté šesté je značně zavádějící.

Nelze s naprostou jistotou určit, které z výše popsanych vysvětlení je pravděpodobnější, či které lépe popisuje skutečnost vzniklou při požárním experimentu slaměného objektu. Co však je možné říci je to, že při vyhodnocování výsledků nemůže být tomuto prostupu být přiřkládána stejná váha jako ostatním.

5.3 Shrnutí výsledků experimentu

Z výše popsanych výsledků velkorozměrové požární zkoušky, vyplývá několik následujících skutečností. Předpokládané teplotní rozdíly u prostupů v horních a spodních částech slaměného objektu byly skutečně naměřeny a tento předpoklad byl tedy oprávněný, jak je patrné z grafů pro jednotlivé prostupy (tyto grafy jsou k nahlédnutí v příloze 5). Porovnáním prostupů A s B, C s D, E s F a G s H (tab. 3) zjistíme, jak velké tyto rozdíly jsou. Grafy s teplotními křivkami termočládků na horních prostupech mají obecně rychlejší náběh, což je pravděpodobně způsobeno transportem kouřových plynů do vrchních částí místností. U spodních prostupů je náběh k vyšším teplotám pomalejší, přesto i u těchto prostupů došlo v pozdější fázi zkoušky k naměření vyšších teplot, a to u prostupů bez ucpávky. U spodních prostupu, které byly ochráněny wrapovými ucpávkami, je naměřen spíše umírněný, až téměř konstantní, průběh.

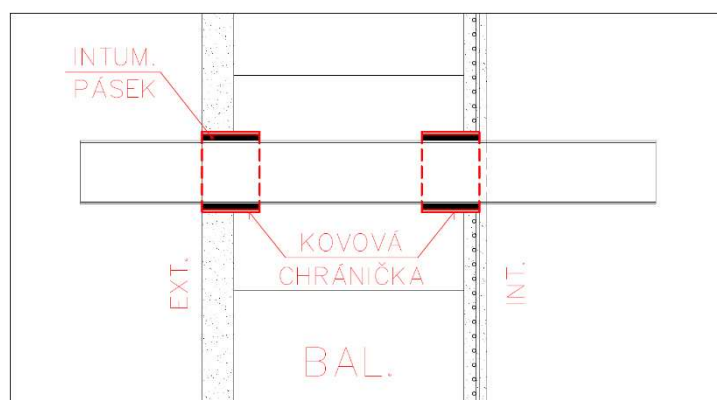
tab. 3 Rozdíly u prostupů v horní a spodní části slaměného objektu

Prostup	A	B	C	D	E	F	G	H
Max. teplota [°C]	942,1	193,0	452,5	217	497,2	90,6	438,9	104,7
Rozdíl [°C]	749,1		235,5		406,6		334,2	
Pozn.: Uvedené hodnoty jsou z času 25 minut (vzhledem k návaznosti na data z výpočetního modelu v kapitole 6.4).								

Další předpoklad, který říkal, že požární ucpávky na spodních prostupech se na rozdíl od těch na horních prostupech, neuzavrou, je vyvrácen. S přihlédnutím ke grafům v příloze 5, je totiž patrné, že k uzavření ucpávek ve spodních partiích objektu pravděpodobně došlo. Z porovnání mezi prostupy B a D je jasně viditelné, že náběh teplotní křivky v začátku požárního experimentu, měly oba prostupy téměř totožný. Postupem času se však začal měnit charakter teplotní křivky na prostupu B a to tak, že teploty ve svých výkyvech přesahovaly hranici 600 °C. Ten samý jev je viditelný i při porovnání grafů pro prostupy F a H, zde je jako jediný rozdíl zaznamenáno dosažení menších teplot než ve vedlejší místnosti.



Z výsledků, které byly popsány v této kapitole, nelze jednoznačně tvrdit, zda je požární ucpávka typu wrap nejlepším řešením pro skladbu stěny ze slaměných balíků. Předpoklad byl takový, že během požáru bude mít intumescentní materiál, ze kterého je ucpávka tvořena, v řešené skladbě stěny, stejně vhodnou či přinejmenším podobnou oporu pro své nabývání na objemu. Vzhledem k naměřeným teplotám na jednotlivých prostupech je však nutno podotknout, že minimálně několik ucpávek zřejmě nesplnilo svůj účel uzavření prostupovaného média skrze stěnu, nebo došlo pouze k částečnému uzavření, tedy k zúžení profilu prostupující plastové trubky. Proto je nasnadě tvrzení, že jiný typ ošetření prostupu skrze stěnu z nosné slámy by byl vhodnější. Tímto se nabízí úvaha nad druhým nejčastějším řešením požárních ucpávek na plastových rozvodech, a tím je požární manžeta. Toto řešení by pravděpodobně přineslo mnohem očekávanější výsledky vzhledem ke své konstrukci (kovovému obalu), která nedává prostor jakémukoliv nabytí intumescentního materiálu mimo průřez prostupujícího média. Bohužel, osazení ucpávky ve formě manžety by v tomto případě bylo krajně problematické s ohledem na nutnost jejího kotvení do stěny, jelikož je stěna tvořena nosnou slámou. Jak bylo zjištěno během realizace experimentálního slaměného objektu, kotvit do této konstrukce cokoliv je velmi obtížné.



obr. 23 Schéma osazení kovové chráničky

Z hlediska ceny a objemu se stále jeví jako přijatelnější varianta požární ucpávka typu wrap. Aby však bylo ve skutečnosti dosaženo kýženějších výsledků, bylo by nutné instalaci této ucpávky nějakým způsobem modifikovat tak, aby měl intumescentní materiál dostatečnou oporu pro svoji žádanou funkci, tedy uzavření prostupu plastového rozvodu. Toho by mohlo být dosaženo vložením krátkého kusu kovové chráničky s větším průměrem, než je prostupující plastové médium a zároveň aby se mezi něj a chráničku vešel wrap v tolika vrstvách, kolik je pro danou konstrukci požadováno (viz obr. č. 23).



Za určitých okrajových podmínek jsou pro zdárné řešení popisované situace vhodné oba typy požárních ucpávek. V případě manžet by muselo dojít k záměně materiálu, v místě prostupující plastové trubky, za materiál se shodnými či srovnatelnými vlastnostmi, do kterého by bylo možné manžetu bezpečně ukotvit. V případě wrapu by muselo být přikročeno k výše popsané úpravě jeho osazení.

5.3.1 Porušení mezního stavu izolace (I)

V rámci vyhodnocování výsledků požárního experimentu bylo přistoupeno i ke zjištění porušení mezního stavu izolace. Jak již bylo jednou zmíněno, kritérium izolace pro těsněný prostup je porušeno ve chvíli, kdy dojde k překročení teploty 180 °C. Časy, kdy došlo k překročení této hranice na jednotlivých prostupech jsou uvedeny v tabulce č. 3. Jak je možné si v této tabulce všimnout, u prostupu F nebyla mezní teplota 180 °C překročena (viz graf pro příslušný prostup – Příloha 5).

Jak je z tabulky patrné, u prostupů umístěných ve spodních částech místnosti došlo k překročení předmětného mezního stavu o notnou chvíli déle, než k tomu došlo u horních prostupů. Největší časový rozdíl je zaznamenán u prostupů A a B, kdy u prostupu B došlo k porušení kritéria izolace o celých 11 minut později než u prostupu A. U prostupů C a D je rozdíl o něco menší, prakticky 1,5 minuty, u dvojice prostupů E a F nelze rozdíl vyhodnotit, jelikož u prostupu F nedošlo k překročení 180 °C. A co se týká prostupů G a H, tam je časový rozdíl téměř totožný jako u první dvojice (A a B). Nedá se z těchto údajů však s jistotou vyvodit, jakou měrou k těmto hodnotám přispěly na ošetřených prostupech požární ucpávky, vzhledem k tomu že jsou si hodnoty dosti podobné.

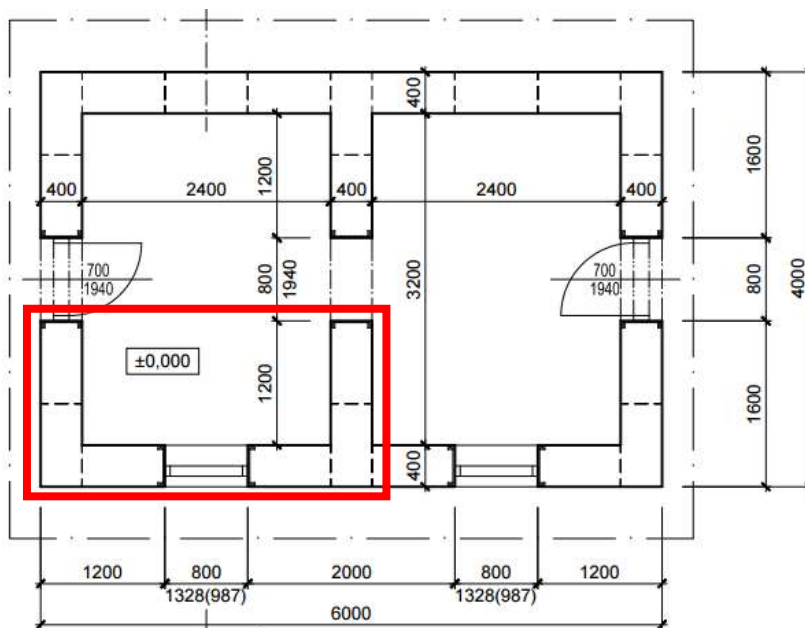
tab. 4 Tabulka překročení kritéria izolace

	Prostup horní				Prostup dolní			
	A	C	E	G	B	D	F	H
S ucpávkou	-	✓	✓	-	-	✓	✓	-
Bez ucpávky	✓	-	-	✓	✓	-	-	✓
Mezní teploty [°C]	180	180	180	180	180	180	180	180
Čas překročení meze [min]	13,4	13,2	16,0	20,3	24,4	22,6	xxx	31,2



6. Výpočetní model experimentálního slaměného objektu

Data z velkorozměrového požárního experimentu byla zpracována a vyhodnocena. Aby však bylo možné tyto výsledky ověřit a porovnat, bylo přikročeno k vymodelování totožného slaměného objektu ve výpočetním software FDS. Nejdříve však bylo nutné pochopit problematiku modelování požárních ucpávek a jejich chování během požáru, proto tedy byly vyhotoveny dva zjednodušené modely, které byly navzájem porovnány.



obr. 24 Půdorys experimentálního slaměného objektu s vyznačením modelovaného prostoru ve výpočetním programu FDS

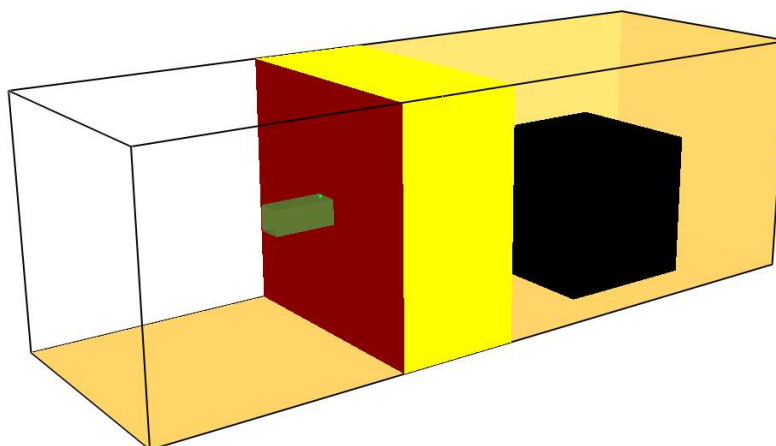
6.1 Zjednodušený model – varianta s ucpávkou

Jedná se o prostor 1000 x 3000 x 1000 mm, ve kterém se nachází část stěny experimentálního slaměného objektu s již navrženými finálními hliněnými omítkami, jedním prostupem plastového potrubí a plynovým hořákem (obr. 25).

Pomocí postupů vlastních pro výpočetní software FDS bylo namodelováno objevení se požární ucpávky (viz Příloha č. 6) za předpokladu, pokud termočlánek umístěný na potrubí na exponované straně požáru zaznamená teplotu dosahující hranice pro chemickou reakci intumescentního uhlíkatého silikátu, ze kterého je požární ucpávka vyrobena. V prostupu byly namodelovány čtyři termočláanky, dle schématu (obr. 26).

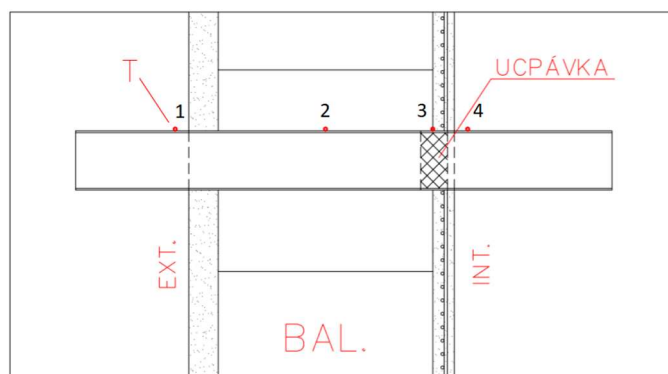


Na zmíněném schématu si můžeme všimnout čtyř termočlánků, z toho jsou dva mimo tloušťku prostupované konstrukce. Tyto termočlánky jsou v souladu s normou vzdáleny 25 mm od hrany konstrukce, přičemž termočlánek v interiéru (na exponované straně) slouží jako spouštěč ucpávky po dosažení hraniční teploty – v tomto případě 200 °C. Termočlánky umístěné uprostřed konstrukce slaměné stěny a na rozhraní slaměné stěny a hliněné omítky jsou umístěny na těchto místech z důvodu měření nárůstu teplot na hraniční mez pro vznícení slámy.

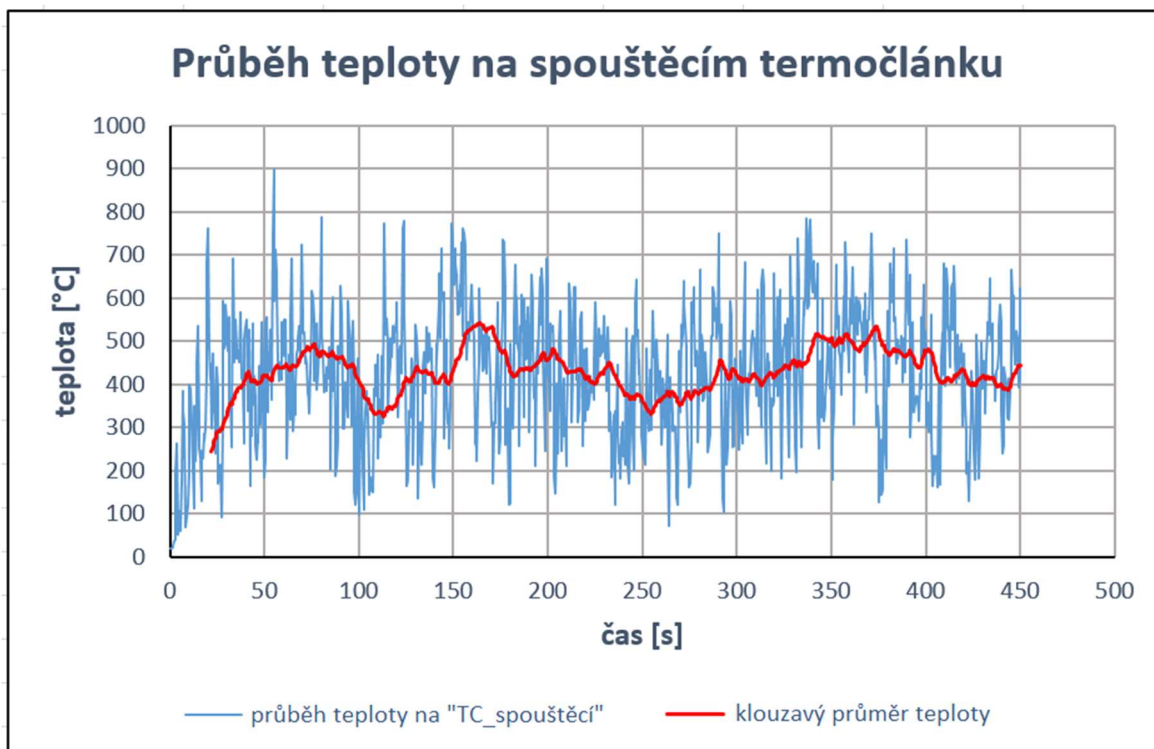


obr. 25 Zjednodušený výpočetní model

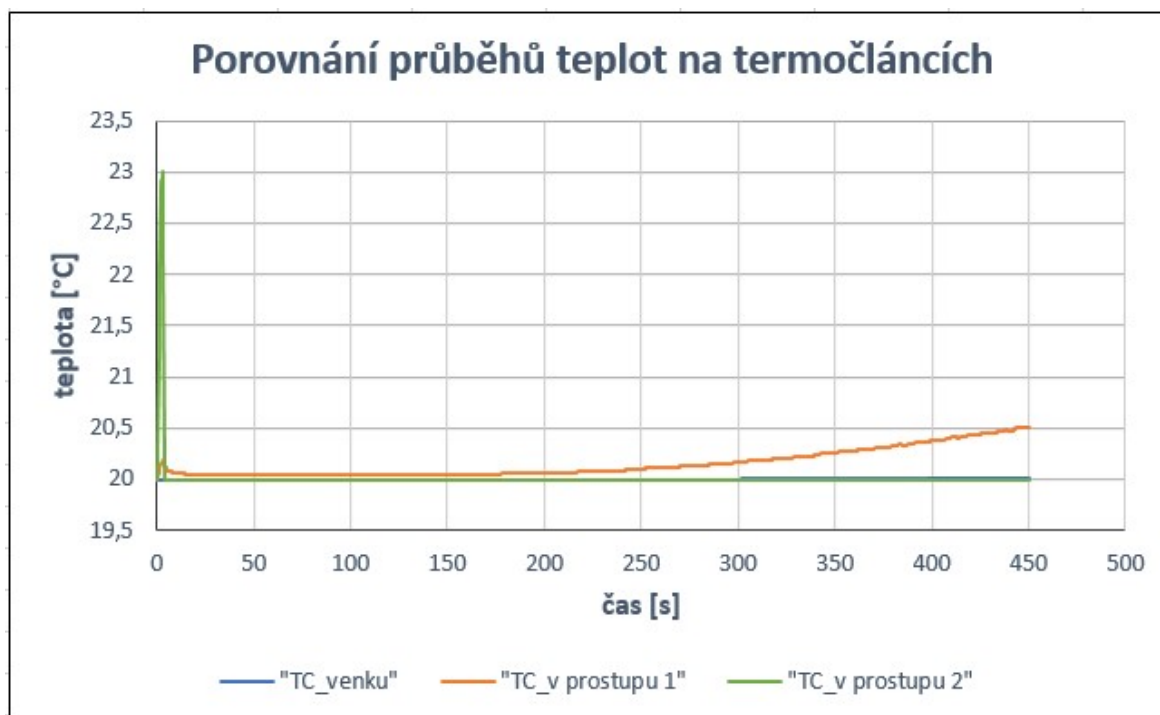
Po zadání potřebných údajů do kódu pro software FDS (Příloha 3) byl spuštěn výpočet a po uplynutí výpočetního času, tedy 450 sekund, byly výsledné hodnoty vyhodnoceny a upraveny v tabulkovém editoru. Na obrázku č. 27 můžeme vidět průběh teplot na termočlánek umístěném na exponované straně konstrukce. Je vidět, že teplota potřebná pro chemickou reakci v ucpávce byla dosažena již v rané fázi hoření, tím tedy došlo ve výpočetním programu k objevení požární ucpávky a k omezení tepelného toku skrze prostup slaměnou stěnou. Tento poněkud „rozkmitaný“ průběh teplot je zapříčiněn především zásahem ohně na termočlánek vzhledem k umístění plynového hořáku, který má simulovat postavení dřevěné hranice požárního zatížení. Z toho tedy vyplývá, že plamen zasahuje až k povrchu konstrukce a také k samotné ucpávce. To však neznamená, že by ucpávka měla, jakkoliv kolabovat.



obr. 26 Schéma rozmístění termočlánků v namodelovaném vzorku
T-termočlánek; 1-„TC_venku“; 2-„TC_v prostupu 1“; 3-„TC_v prostupu 2“; 4-„TC_spouštěcí“



obr. 27 Průběh teploty na „spouštěcím“ termočlátku



obr. 28 Porovnání průběhů teplot na termočláncích

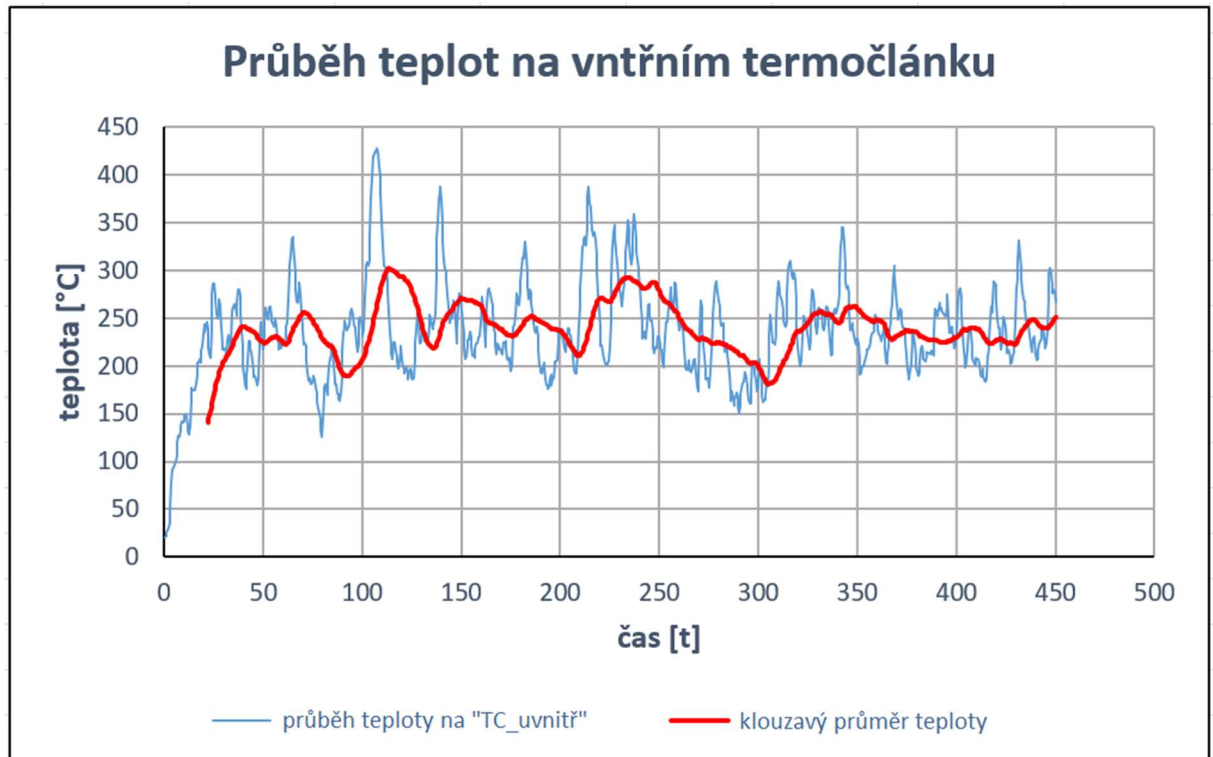


Na dalším obrázku (obr č. 28) je vidět porovnání průběhů teplot na zbývajících termočláncích. Na zelené křivce označené jako „TC_v prostupu 2“ je vidět průběh teploty na termočláncu umístěném na rozhraní mezi omítkou a slaměnou stěnou. Je možné zde vidět, že v počátcích požáru teplota narůstá, ale po uzavření ucpávky dojde ke snížení teploty téměř na počáteční úroveň. Termočlánek umístěný uprostřed konstrukce stěny označený jako „TC_v prostupu 1“ oproti tomu vykazuje pozvolný nárůst teploty s uplyvajícíím časem. Termočlánek na neexponované straně, „TC_venku“ nevykazuje žádný nárůst teploty, jelikož během výpočetního času nedošlo k významnějšímu průniku tepelného toku na opačnou stranu konstrukce.

6.2 Zjednodušený model – varianta bez ucpávky

V tomto případě se jedná o stejný model jako v případě s ucpávkou, tedy modelovaný prostor je stejný jako na obrázku č. 25. Tento model se od toho prvního liší pouze v kódu pro FDS (Příloha č. 7), ve kterém se nenachází podmínka pro objevení ucpávky závislá na dosažené teplotě. Umístění termočlánců je taktéž totožné s první variantou modelu.

Obrázek č. 29 popisuje průběh teploty na termočláncu umístěným na straně vystavené požáru. Teploty nedosahují takových úrovní jako v první variantě, a to je vysvětlováno pravděpodobným sáním vzduchu skrze vstup stěnou, dochází tedy k ochlazení termočláncu.

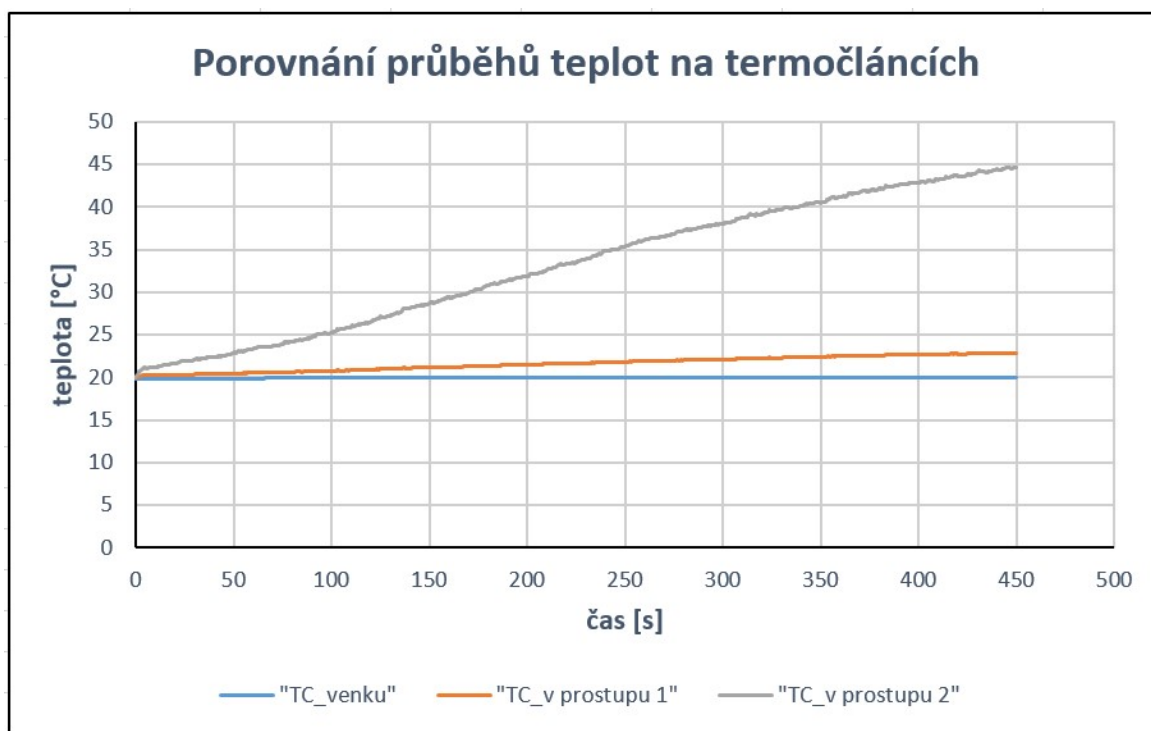


obr. 29 Průběh teploty na vnitřním termočláncu



Následující obrázek (obr. č. 30) porovnává zbylé termočlánky umístěné v prostupu. Je vidět odlišný průběh teplot, což je způsobeno absencí požární ucpávky, teploty rostou v závislosti na vzdálenosti od ohniska požáru. Termočlánek označený jako „TC_v prostupu 2“ je umístěn ohnisku nejbližší a tím se tedy vysvětluje jeho rychlejší nárůst oproti zbylým dvěma křivkám. Oranžová křivka pro termočlánek „TC_v prostupu 1“ (umístěn uprostřed konstrukce) je průběh více pozvolný a poslední termočlánek, označený jako „TC_venku“ nezachytil žádný významný nárůst.

Nárůsty teplot na termočláncích, které nejsou přímo vystaveny účinkům požáru, nejsou tolik „významné“, jak už bylo zmíněno, kvůli vzdálenosti od ohniska požáru, ale také vzhledem k délce výpočetního času. Aby bylo dosaženo více průkazných výsledků, musely by být modely ve výpočetním softwaru FDS podrobeny simulaci po delší dobu, než je 450 sekund.

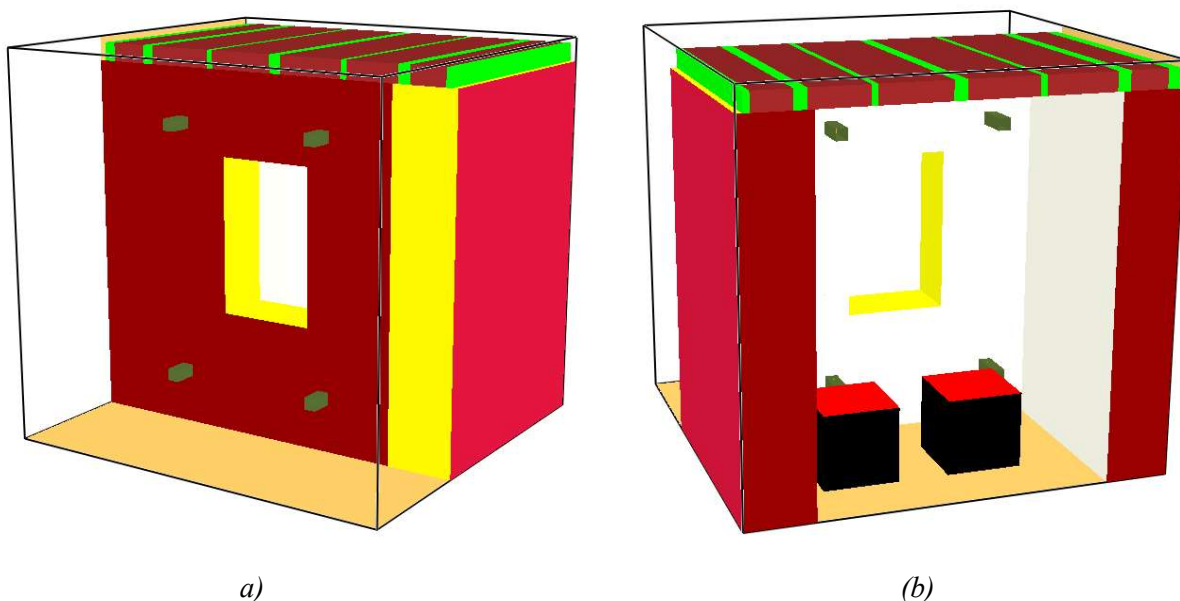


obr. 30 Porovnání průběhů teplot na termočláncích



6.3 Model místnosti

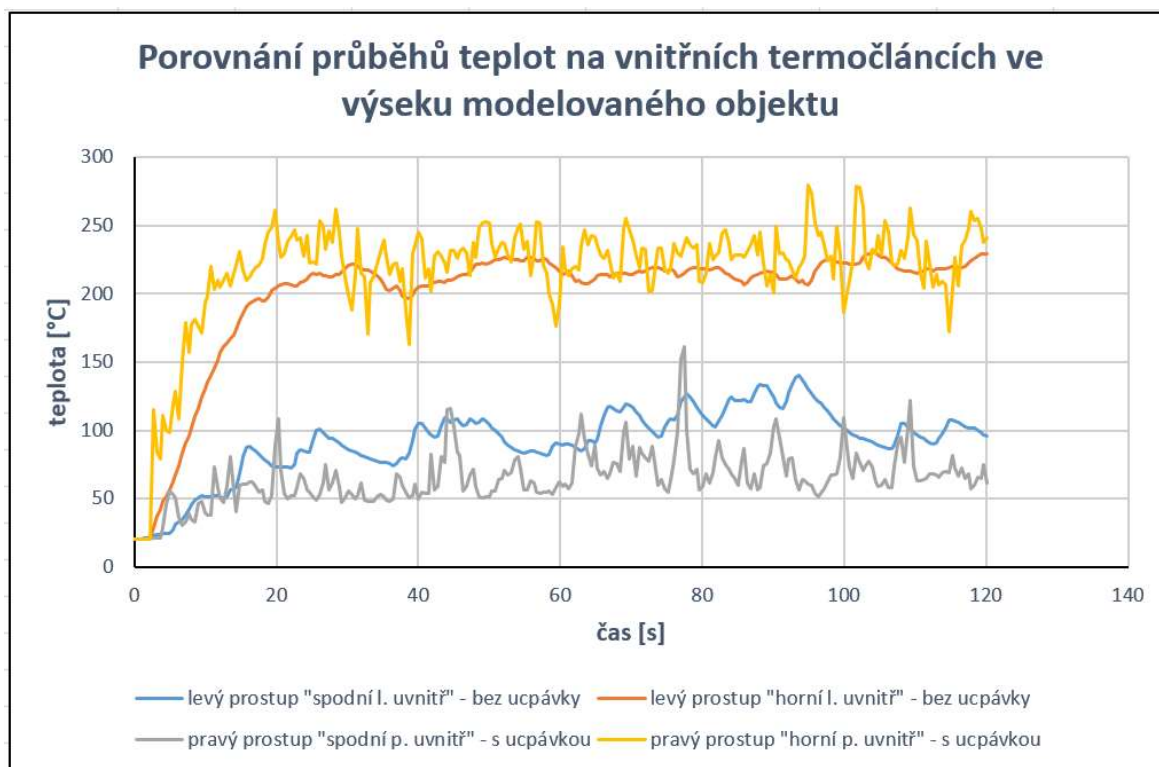
Po dokončení výpočtů u předchozích dvou modelů již nic nebránilo v zahájení příprav na modelování modelu místnosti slaměného objektu Slamáček. Jak je možné vidět na obrázku č. 23, jedná se o výřez jedné místnosti, ve které se nachází 4 prostupy slaměnou stěnou a dva plynové hořáky jako simulace hranice požárního zatížení (obr. č. 31).



*obr. 31 Ukázka namodelovaného výřezu slaměného objektu Slamáček:
(a) přední pohled; (b) zadní pohled*

Na obrázku č. 31a můžeme vidět čtyři prostupy stěnou, z toho je jeden horní a jeden dolní vstup opatřen podmínkou pro objevení požární ucpávky při překročení spouštěcí teploty, stejně jak tomu bylo v případě zjednodušeného modelu – varianta 1 (prostupy na pravé straně modelu). Tento model kombinuje obě předchozí varianty, jelikož zbylé dva prostupy jsou bez požárních ucpávek a tím dochází k propojení předchozích řešených příkladů. Oproti předchozím variantám však zde již hraje roli světlá výška prostoru a hromadění kouře pod stropní konstrukcí. Také byl tento model vystaven výpočtu ve výpočetním softwaru FDS po kratší dobu, cca 120 sekund.

Na obrázku č. 32 lze vidět nasnímaný průběh teplot na termočláncích v horních prostorech místnosti. Jak vidno teplota rychle vystoupala na spouštěcí teplotu 200 °C (stejně jako u varianty 1). Oba průběhy jsou si podobné, průběh teploty na pravém termočláncu je lehce odlišný z toho důvodu, že plynový hořák simulující dřevěnou hranici je umístěn přímo pod trubkou, plamen tedy přímo zasahuje na předmětný termočlánek, a proto je průběh poněkud „rozkmitaný“. Druhý průběh teploty, na termočláncu z „levého“ prostupu, je poněkud uhlazenější než průběh výše popisovaný.



obr. 32 Porovnání průběhů teplot na všech prostupech

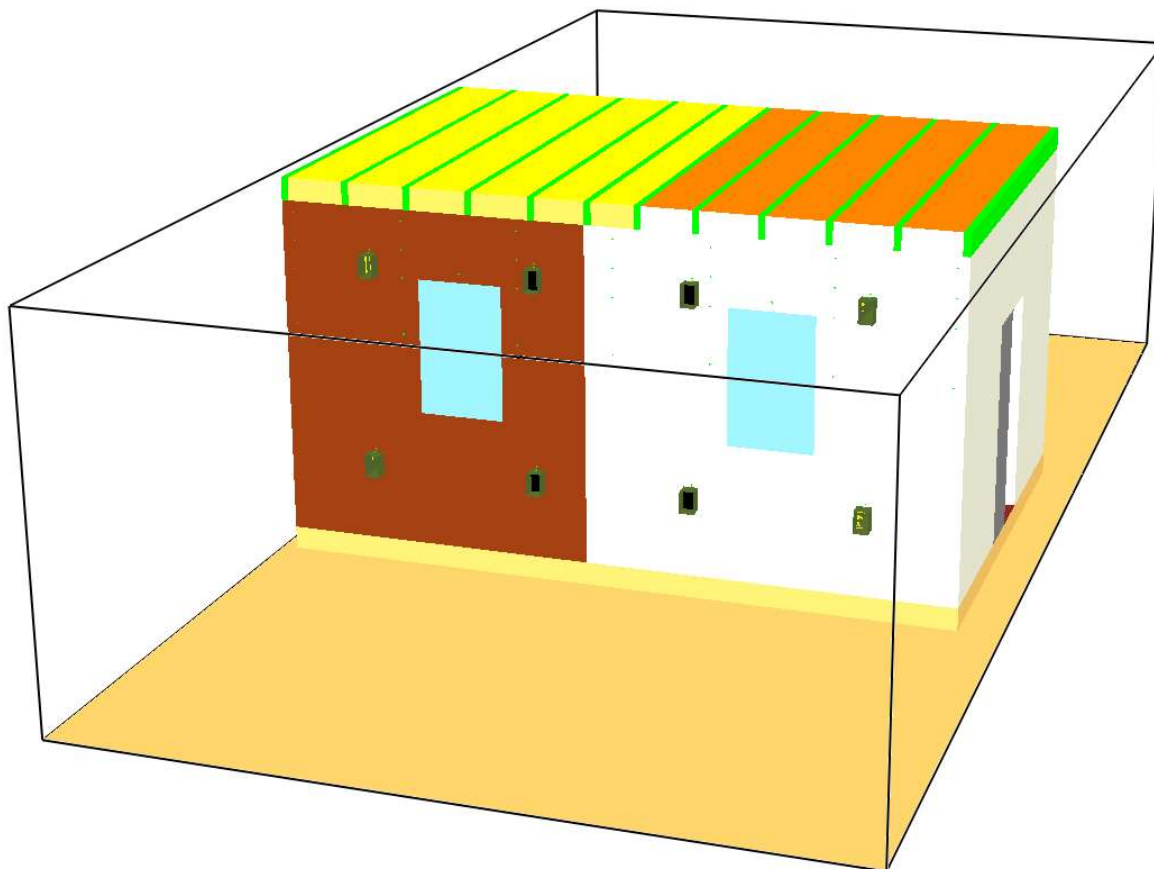
Na tom samém obrázku můžeme pozorovat také průběh teplot na termočláncích umístěných na spodních prostupech, umístěných v první třetině výšky místnosti. Na první pohled je zřejmé, že teploty v měřeném čase nevystoupaly ani nad 200 °C, tedy hraniční teplotu požadovanou pro objevení ucpávky, ale teploty na obou prostupech se pohybovaly spíše okolo 60 – 100 °C. Znamená to tedy, že během požáru v modelovaném prostoru opravdu dochází k sání čerstvého vzduchu spodními prostupy stěnou a tím dochází k ochlazování jak prostupujících trubek, tak i termočlánců. Vyvození této skutečnosti podporuje i grafický výstup z proběhnutého výpočtu v softwaru FDS (viz Příloha 8). Ve zmíněném grafickém výstupu, který je ze stejné vteřiny výpočtu, je jasně vidět zvýšené teploty, které jsou rozšířeny ve většině prostoru modelované místnosti, unikají horním prostupem ven z objektu a ve spodní části u spodních prostupů je chladnější prostor, do kterého putuje skrze trubky chladný čerstvý vzduch.

6.4 Kompletní model slaměného objektu Slamáček

Po předchozích zkušebních modelech v software FDS bylo přikročeno vymodelování celého slaměného objektu pro potřeby výpočtu pro porovnání s reálnými výsledky z velkorozměrového požárního experimentu. Tento model byl tvořen ve spolupráci s Bc. Miroslavem Doušou a Bc. Ondřejem Bobkem a jeho zapsaný kód je k vidění v příloze 9.



Model celého slaměného objektu, s krycím označením Slamáček, byl prováděn dle zásad navrhování v programu FDS a dle poznatků získaných z předchozích zkušebních modelů. Jak lze vidět na obrázku č. 33, modelovaný výpočetní prostor je mnohem větší, a to z toho důvodu, aby obsáhl i teplotní sálání, tedy aby mohly být posouzeny odstupové vzdálenosti (toto téma je v kompetenci kolegy Bc. Ondřeje Bobka). Model se snaží co nejvěrněji kopírovat skutečný objekt postavený pro potřeby požárního experimentu. Jsou v něm tedy zahrnuty rozdílné omítky (vápenné a hliněné), rozdílné izolace mezi krokvemi nad jednotlivými místnostmi a v neposlední řadě také dřevěné hranice simulující požární zatížení, které byly rozmístěny uvnitř objektu. Aby bylo možné pro potřeby výpočtu co nejpřesněji určit chování hranic požárního zatížení, byla jedna tato testovací hranice podrobena zkoušce v kalorimetru, díky čemuž byly požadované charakteristiky zjištěny pro různé časy hoření. Jakmile byl kód pro výpočet v programu FDS hotový, přikročilo se k výpočtu samotnému.

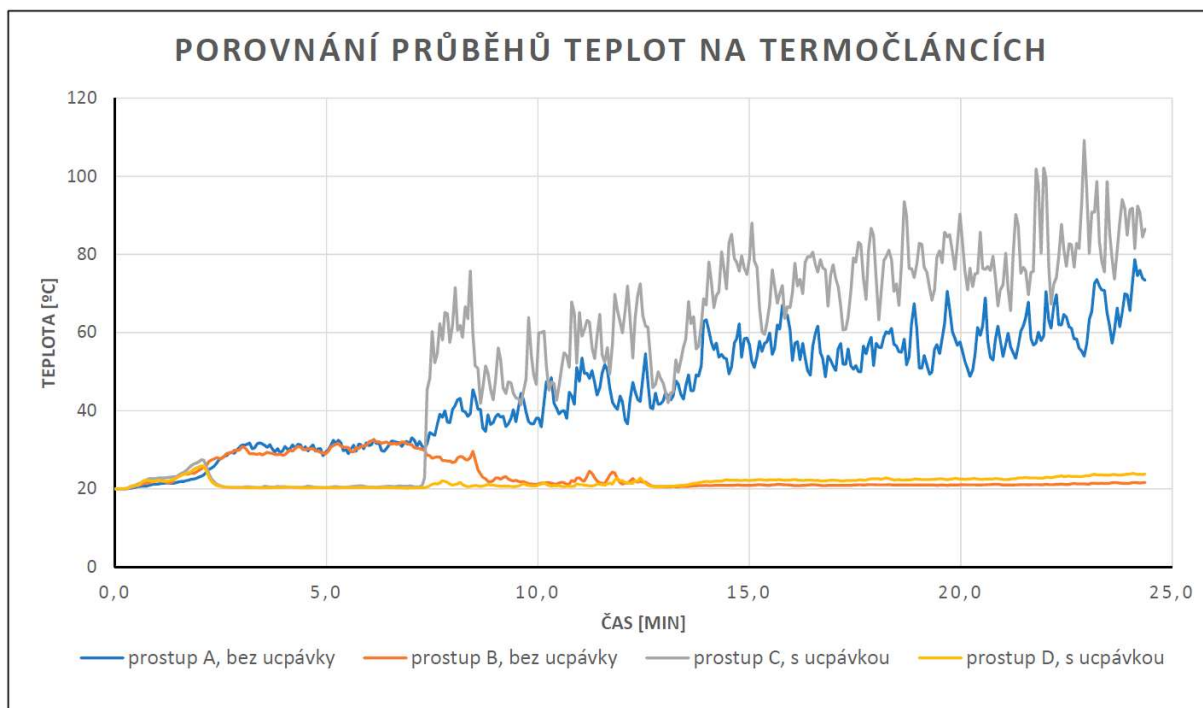


obr. 33 Celkový model slaměného objektu „Slamáček“ v FDS

Na obrázku č. 33 je možné také sledovat rozdělení vnějších omítek objektu, kdy hnědá barva simuluje hliněnou omítku, která byla použita u levé místnosti, a bílá barva simuluje vápennou omítku, která byla pro změnu použita jako vnější omítku u pravé místnosti.



Termočlánky byly rozmístěny stejným způsobem jako během velkorozměrového požárního experimentu a kromě nich byly do modelu přidány další, které měly za úkol monitorovat teplotu uvnitř objektu v blízkosti požárních ucpávek (pro připomenutí, prostupy s požární ucpávkou jsou umístěny blíže středu slaměného objektu). Na základě průběhů teplot na těchto zařízeních byla ve výpočetním modelu nadefinována podmínka objevení požární ucpávky v prostupu stěnovou konstrukcí. S ohledem na časovou náročnost výpočtu simulace požáru však nebyl výpočet zcela dokončen a proto zde jsou vyhodnocena data z maximálního spočteného výpočetního času, tedy přibližně 24 minut.



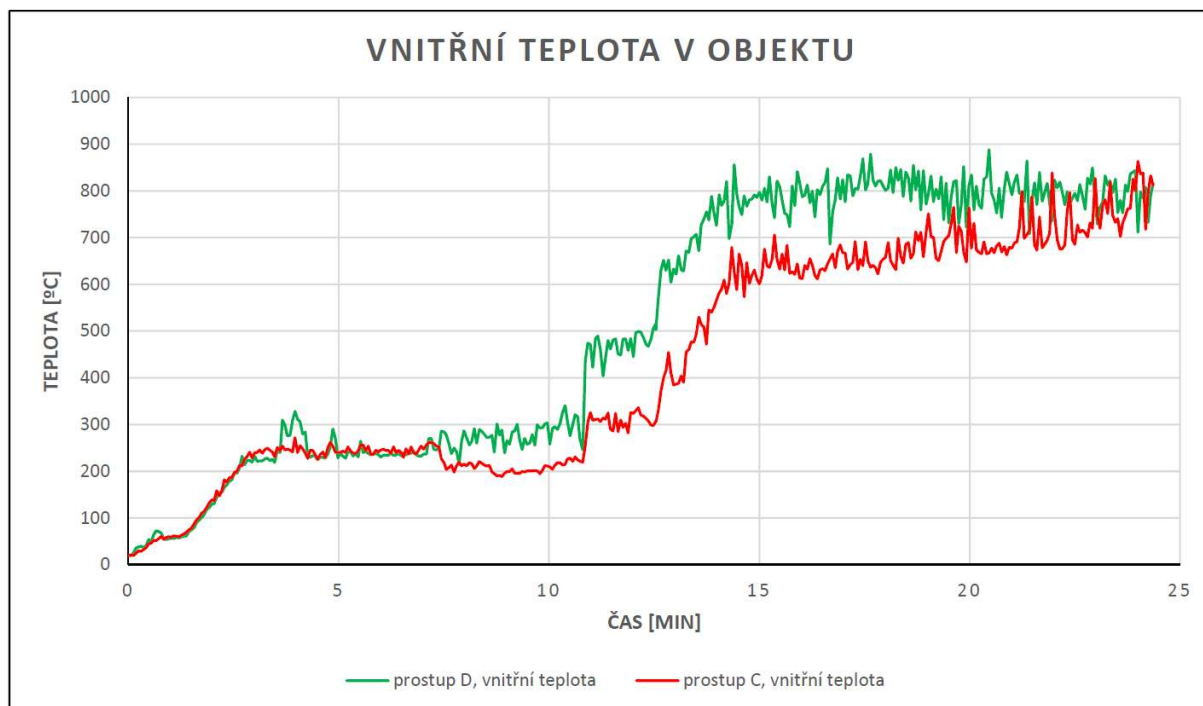
obr. 34 Porovnání průběhů teplot na termočláncích na prostupech v levé místnosti slam. objektu

Na obrázku č. 34 můžeme vidět průběhy teplot na namodelovaných termočláncích, které byly umístěny na prostupy na levé části objektu na neexponované straně. Na první pohled je patrné, že teploty dosažené a zaznamenané během požárního experimentu byly mnohonásobně větší, než hodnoty vypočtené ze software FDS. Při porovnání hodnot na prostupu A totiž vychází, že hodnoty na tomto prostupu dosahovaly během požárního experimentu po uplynutí 25 minut až k cca 600 °C, zatímco ve výstupu z výpočetního modelu, jak je patrné z obrázku č. 34, dosahují teploty téměř k 80 °C. Průběh teploty na prostupu A je z počátku mírný až do přibližně 5. minuty, kdy teploty začínají pomalu stoupat, a pokud odhlédneme od „rozkmitaného“ průběhu teplotní křivky, tak lze říci, že do 24. minuty teploty přímo nastoupají až ke hranici 80 °C.



Co se týká prostupu B, který je také bez ucpávky stejně jako prostup A, zde je průběh teplot podstatně podobnější naměřeným výsledkům z velkorozměrového požárního experimentu. Teplotní průběh je značně umírněný, kdy teploty vystoupají na přibližných 30 °C a v osmé minutě opět klesnou na počátečních 20 °C a dále je teplotní průběh téměř konstantní až do konce měření, tedy do 24. minuty. Pokud tento průběh porovnáme s průběhem získaným z požární zkoušky slaměného objektu, zjistíme, že jsou téměř totožné až do 13. minuty, kdy začínají teploty z požárního experimentu stoupat a ve svém maximu dosáhnou hodnot 700 °C. Pokud však budeme hodnotit stejný časový interval, po který běžel výpočet v programu FDS, je maximální teplota na prostupu B získaná z měření během zkoušky několik málo stupňů přes 200 °C. V případě tohoto prostupu je tedy možné říci, že do určité míry se model shoduje se skutečností.

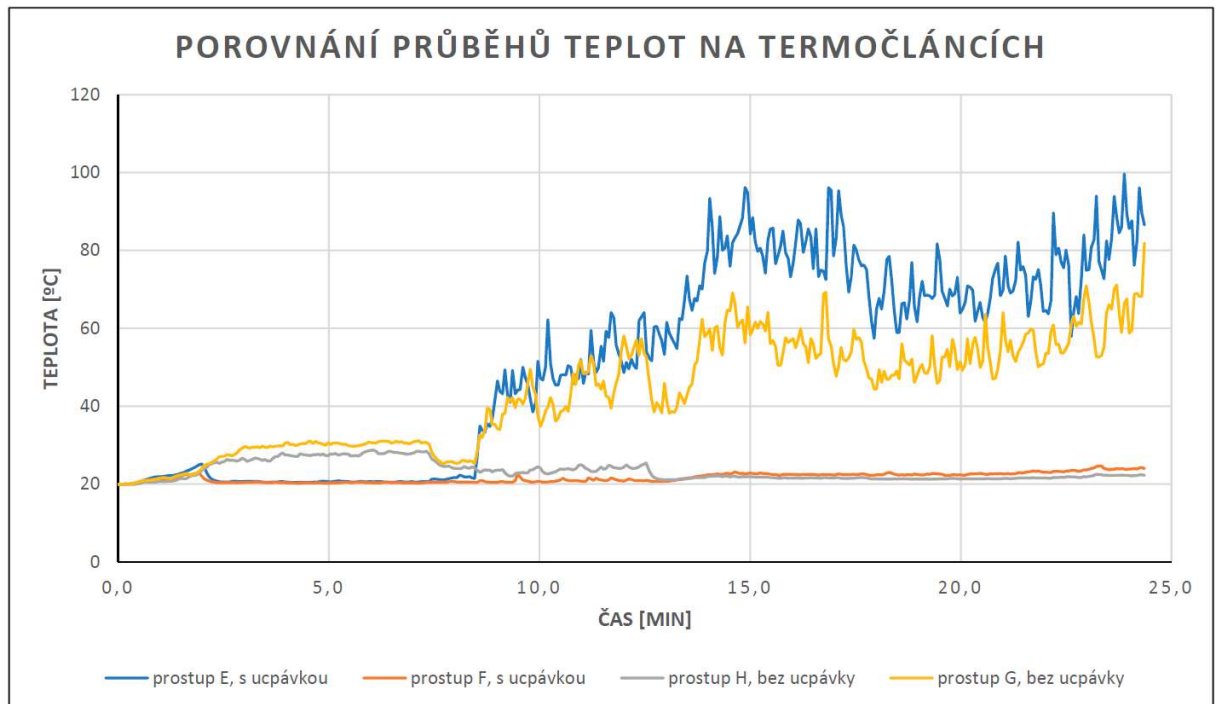
V případě prostupu C, což je levý horní prostup s požární ucpávkou, je průběh teplot opět značně odlišný, podobně jako je tomu u prostupu A. Teplotní průběh se téměř až do 8. minuty drží na hranici 20 °C, kdy následně začnou teploty stoupat až prakticky k 80 °C. Pak ovšem teploty rapidně klesnou skoro o polovinu, tedy na úroveň 40 °C a od tohoto bodu začínají teploty opět stoupat. Průběh je téměř identický, následuje totiž série nárůstů a propadů teplot až k samotnému konci výpočetního času přesáhnou teploty hranici 100 °C a zastaví se až na cca 110 °C. Zatímco data získaná z velkorozměrového experimentu vykreslují průběh požáru poněkud odlišným způsobem, který byl popsán v kapitole 5.2. Stojí však za zmínku, že za dobu po kterou probíhal výpočet požáru v namodelovaném objektu, vystoupaly teploty během požární zkoušky až téměř k 660 °C. Rozdíl mezi maximálními teplotami mezi měřeními ve skutečnosti a v programu činí cca 550 °C. Potvrzovalo by to však domněnku o neúplném uzavření prostupů požárními ucpávkami během požárního experimentu, tedy že nedošlo k úplnému uzavření horního prostupu, jeho zaplněním napěněnou požární ucpávkou ve formě uhlíkaté zátky a přerušení transferu tepla a ohně dál skrz potrubí. To je možné tvrdit i s přihlédnutím k průběhu teplot na namodelovaném termočlánku, který byl umístěn v blízkosti potrubí a požární ucpávky samotné tak, aby zajistil její aktivaci (obr. 35). Na tomto obrázku je možné sledovat, jak se vyvíjela vnitřní teplota v modelu slaměného objektu, kdy teploty do páté minuty vystoupaly k hranici 250 °C. V této hladině se teploty držely přibližně dalších 7 minut a pak vystoupaly prakticky až na úroveň 900 °C. Takže požární ucpávka se při dosažení spouštěcí teploty aktivovala, uzavřela prostup konstrukcí stěny a splnila tak svoji funkci.



obr. 35 Průběh teplot na vnitřních termočláncích na levé straně slam. objektu

Jako poslední je na obrázku č. 34 průběh teplot na prostupu D a svojí podobností s průběhem z požární zkoušky se dá přirovnat k průběhu na prostupu B, protože stejně jako průběh naměřený během experimentu je tento průběh z programu FDS téměř konstantní a drží se počáteční teploty, což je 20 °C. Stejně jako v případě prostupu C byl tento průběh teplot pro prostup D popsán již v kapitole 5.2. Avšak s přihlédnutím k obrázku č. 35, kde je zohledněna teplota na spouštěcím termočláncu pro tento prostup je nutné zmínit několik věcí. Přibližně ve třetí minutě dochází k překročení hranice 140 °C uvnitř objektu, což vyvolalo objevení ucpávky v prostupu D. Tomu odpovídá jev na obrázku 34, kde zhruba kolem třetí minuty můžeme vidět jakýsi „hrb“ v průběhu pro prostup D, což se dá vysvětlit jako počáteční nárůst teplot zapříčiněný požárem, což bylo aktivací ucpávky zastaveno. Výsledky výpočtu zveřejněné na obrázku č. 35 také ukazují na nepřesnost dohadu o setrvávání nižších teplot v nižších polohách místnosti, vzhledem k tomu, že na prostupu D, který je položený níže, jsou v průběhu měření poněkud vyšší teploty. Ovšem i toto by se dalo zdůvodnit, a to zásahem plamene z požární hranice na namodelovaný termočlánek. Vzhledem k tomu, že požární hranice se nachází v těsné blízkosti prostupu a spouštěcího termočláncu pro požární ucpávku, je tato možnost velmi pravděpodobná.

Na dalším obrázku (obr. 36) je k vidění porovnání druhých čtyř prostupů, tentokrát na druhé straně objektu a stejně jako u předchozího porovnávání jsou patrné rozdíly mezi měřením ve skutečnosti a výpočetním modelem.



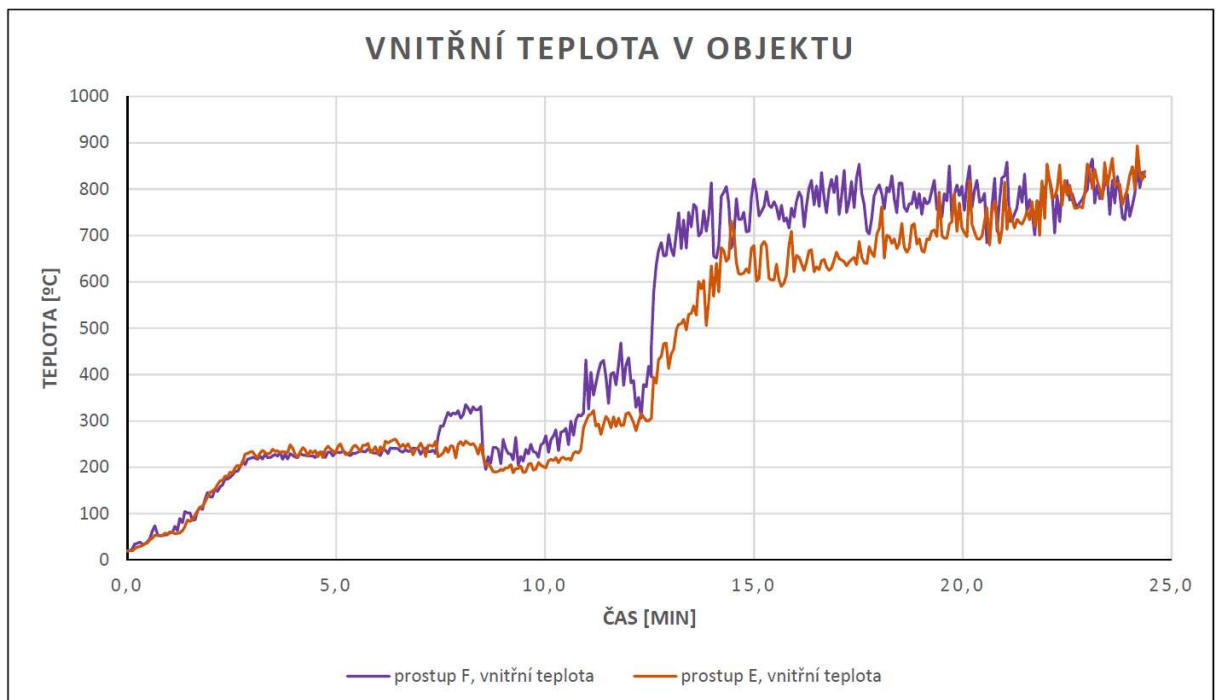
obr. 36 Porovnání průběhů teplot na termočláncích na prostupech v pravé místnosti slam. objektu

U prostupu E, což je pravý horní prostup s ucpávkou, se průběh teplot drží až do přibližně 8. minuty na hranici 20 °C a od této chvíle začínají teploty získávat na intenzitě. Nejprve teploty vystoupají ke hranici 60 °C, poté spadnou a oscilují na hraně 55 °C a následně opět vzrostou, ale tentokrát až ke hranici 100 °C. Když tento průběh porovnáme s průběhem na stejném prostupu z požárního experimentu, zjistíme že průběh je v počáteční fázi velmi podobný, ale od cca 10. minuty se začíná lišit, jelikož během experimentu měl teplotní průběh na prostupu E mírnější nástup, než je tomu v případě výpočetního modelu. Následně však teploty dosahují v časovém úseku 25 minut téměř 600 °C. Blíže je tento prostup s požární ucpávkou popsán v kapitole 5.2. Jedná se v podstatě o velmi podobný případ jako je prostup C. Rozdíl teplot mezi experimentem a modelem je přibližně stejný (cca 500 °C) a stejně jako v předchozím případě je možné zde zmínit, že vzhledem k teplotě na termočláncu, který snímal teplotu kvůli aktivaci požární ucpávky (obr. 37) se během velkorozměrového požárního experimentu pravděpodobně ne zcela uzavřela požární wrapová ucpávka na tomto prostupu E.

V případě prostupu F je situace taktéž velmi podobná situaci u prostupu D. Průběh teplot na prostupu F z měření během požární zkoušky je rozepsán v kapitole 5.2. Co se týká výstupu z programu FDS, tak je možné říci, že se jedná o prakticky konstantní průběh na hranici 20 °C, pouze zhruba v druhé minutě je na obr. 36 vidět lehký nárůst s okamžitým poklesem opět na předchozí teplotní úroveň. To opět koresponduje s aktivací požární ucpávky, což lze vidět i na obr. 37, kde je dosažena aktivační teplota 140 °C ve stejném čase, tedy ve druhé minutě.



Prostup G, který je bez ucpávky, má průběhy teplot z obou měření taktéž rozdílné. Ve výpočetním modelu je zaznamenán zanedbatelný nárůst teploty v prvních 7 minutách, od této chvíle však začínají teploty narůstat výrazněji až ke hranici 60 °C, kterou ke konci výpočtu křivka protne a vystoupá lehce až nad 80 °C. Oproti tomu průběh z měření během požárního experimentu (viz Příloha 5) nám ukazuje téměř konstantní průběh až po cca 12. minutu, kdy teploty začínají stoupat a během 25 minut vystoupají prakticky na hranici 480 °C a rozdíl mezi maximálními naměřenými hodnotami mezi těmito dvěma průběhy na stejném prostupu je přibližně 400 °C. Teploty dále spíše klesaly, a to indikuje odhoření podstatné části paliva požáru, ale to se děje až po uplynutí 24-25 minut a vzhledem k tomu, že z výpočetního modelu je k dispozici pouze 24 minut simulovaného požáru, nelze tyto dva průběhy dále porovnávat.



obr. 37 Průběh teplot na vnitřních termočláncích na pravé straně slam. objektu

U prostupu H se jedná o zanedbatelný nárůst teplot v prvních několika minutách, protože teploty sice začnou projevovat stoupavou tendenci, ale poté se průběh ustálí a po několika dalších minutách teploty klesnou zpět na hranici 20 °C a následný průběh je konstantní až do 24. minuty, kdy končí toto měření. Při porovnání s průběhem na stejném prostupu z reálné požární zkoušky zjistíme, že průběh se dá prohlásit za totožný až do cca 15. minuty, kdy teploty na prostupu začínají narůstat, a to až do doby, kdy lze tato dvě měření srovnávat, tedy 24-25. minuty. Maximální hodnota v tomto časovém intervalu získaná z měření během požární zkoušky dosáhla přibližně 110 °C.



U všech porovnávaných prostupů byl zjištěn značný rozdíl oproti měření z velkorozměrového požárního experimentu, což je pravděpodobně způsobeno skutečností, že v rámci modelového experimentu byl výpočet dokončen pouze v délce 24 minut z celkové uvažované délky trvání 60 minut. Tím pádem nárůst teplot uvnitř objektu není ideální a teploty nedosahovaly požadovaných úrovní. Vzhledem k nedostatku času a vysoké náročnosti tvorby takto rozsáhlého modelu nebylo možné tento výpočetní model nadále upravovat a zdokonalovat.

7. Závěr

V této práci byly kladeny již z počátku různé cíle ke splnění. Především se jedná o rešerši požadavků na zřizování požárních ucpávek při prostupu plastového potrubí požárně dělicí konstrukcí. Touto problematikou se zabývá hned několik českých technických norem, především pak ČSN 73 0810 [11] jejíž novelizace byla jakýmsi spouštěčem pro vznik této práce. Dle této normy se nemusí osazovat požární ucpávky na potrubí prostupující požárně dělicí konstrukcí pouze v případě, že se jedná o maximálně tři kusy potrubí z nehořlavých materiálů vedle sebe (třída reakce na oheň A1 či A2), musí být trvale zavodněno nehořlavou kapalinou a vnější průměr jedné trubky nepřesahuje 30 mm.

Dalším úkolem bylo ověření funkčnosti požárních ucpávek umístěných v nestandardní konstrukci během velkorozměrového požárního experimentu. Tento experiment byl proveden a data z něj získaná byla vyhodnocena. Je také nutno podotknout, že v této fázi si autor práce vyhradil prostor pro svůj vlastní úkol a to zjištění, zda je nutné opatřovat všechny prostupy, nehlédě na jejich výškové umístění. Za tímto účelem byl namodelován totožný objekt, který byl zbudován pro účely požárního experimentu, model byl podroben výpočtu a výsledky z něj porovnány s daty z měření během zkoušky. Dle těchto výsledků je třeba říci, že byly naměřeny větší hodnoty na prostupech umístěných ve vyšší úrovni než na prostupech, která byla umístěna blíže k podlaze objektu. Dále ale nebylo potvrzeno, že by bylo možné instalovat ucpávky pouze na horní prostupy, jelikož z výsledků jasně vyplývá, že teploty dosažené na spodních prostupech dosahovaly takových výší, kdy se během experimentu (a i v modelovém příkladu) aktivovaly požární ucpávky. Při porovnání také došlo ke zjištění vysokých teplotních rozdílů mezi oběma typy měření, kdy hodnoty získané z výpočetního programu FDS byly několikanásobně menší než ty z požárního experimentu. To vede k závěru, že výpočetní model kompletního slaměného objektu nemohl být z důvodu nedostatku času a nemalé pracnosti, nadále modifikován a vylepšován. Rovněž je nutno podotknout, že bylo spočteno 24 minut z kýžených 60 minut a tím pádem teploty nejspíše nedosáhly vyšších úrovní.

Pokud však přihlídneme k předchozím pokusným modelům (kapitola 6.1, 6.2 a 6.3) je zřejmé, že tyto výsledky se podobají spíše výsledkům z výpočtu kompletního modelu slaměného objektu. Tato skutečnost je dána s největší pravděpodobností tím, že stejně jako model celého slaměného objektu nebyly podrobeny výpočtu v celé zamýšlené době, vzhledem k velkým nárokům na čas a výpočetní techniku.



Z naměřených výsledků je také možné říci, že bez dalších jiných úprav není požární ucpávka typu wrap vhodná do stěnové konstrukce ze slaměných balíků. Toto konstatování je podpořeno výstupy z požárního experimentu, kdy intumescentní pásek nainstalovaný uvnitř konstrukce slaměné stěny neměl pravděpodobně dostatečnou oporu k celkovému uzavření profilů prostupujících potrubí. Ale toto téma a problematika ucpávání prostupů v nestandardních konstrukcích je třeba dále rozvíjet, je třeba dalších podobných experimentů, aby bylo možné přijít s vyhovujícím řešením.



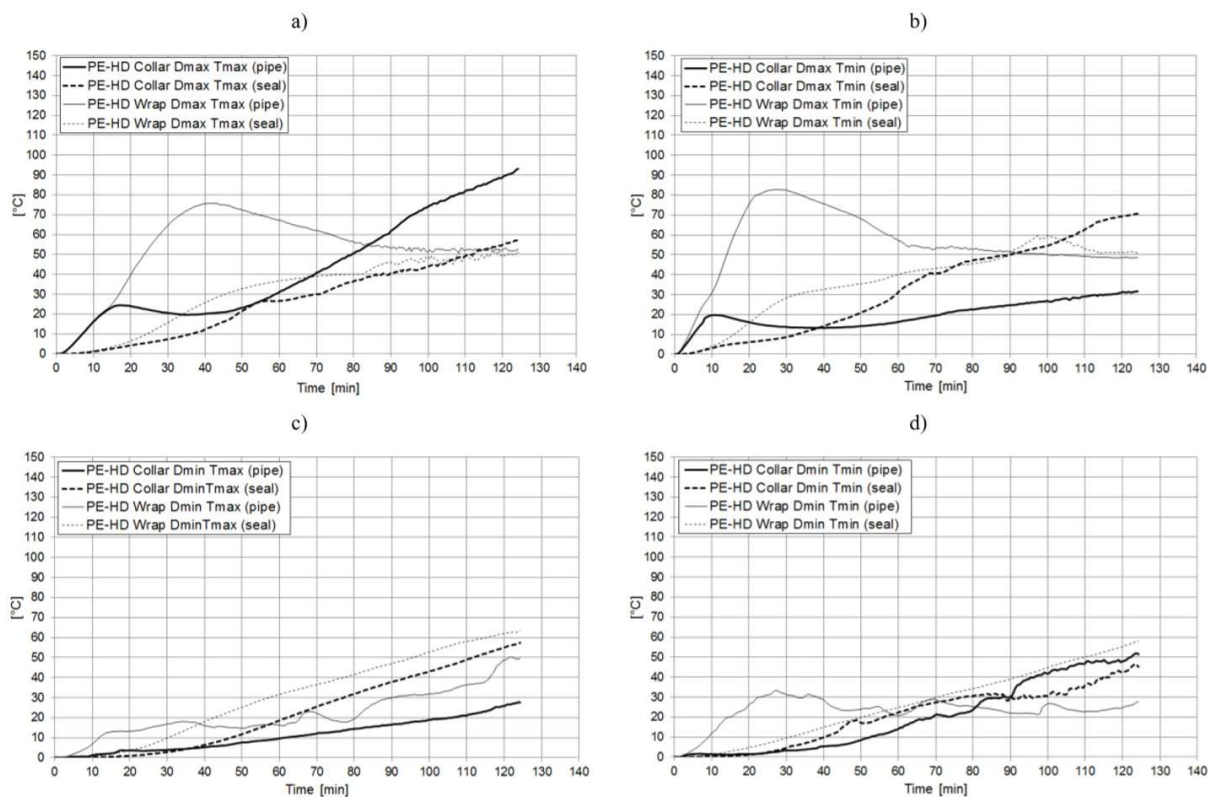
Příloha 1 – Tabulka konfigurací prostupů zkoušených prvků

tab. 5 Rozřazení typů plastových trubek k protipožárnímu těsnění [6]

p.č.	Materiál	DN [mm]	Toušťka stěny [mm]	Typ ucpávky	Počet vrstev intumescentního materiálu	Legenda ke grafům
1	PE-HD	200	11,9	manžeta	8	PE-HD Collar Dmax Tmax (pipe/seal)
2	PE-HD	200	11,9	wrap	8	PE-HD Wrap Dmax Tmax (pipe/seal)
3	PE-HD	200	7,7	manžeta	8	PE-HD Collar Dmax Tmin (pipe/seal)
4	PE-HD	200	7,7	wrap	8	PE-HD Wrap Dmax Tmin (pipe/seal)
5	PE-HD	32	3,0	manžeta	3	PE-HD Collar Dmin Tmax (pipe/seal)
6	PE-HD	32	3,0	wrap	3	PE-HD Wrap Dmin Tmax (pipe/seal)
7	PE-HD	32	2,0	manžeta	3	PE-HD Collar Dmin Tmin (pipe/seal)
8	PE-HD	32	2,0	wrap	3	PE-HD Wrap Dmin Tmin (pipe/seal)
9	PVC-U	200	7,7	manžeta	8	PVC-U Collar Dmax Tmax (pipe/seal)
10	PVC-U	200	7,7	wrap	8	PVC-U Wrap Dmax Tmax (pipe/seal)
11	PVC-U	200	3,9	manžeta	8	PVC-U Collar Dmax Tmin (pipe/seal)
12	PVC-U	200	3,9	wrap	8	PVC-U Wrap Dmax Tmin (pipe/seal)
13	PVC-U	32	2,4	manžeta	3	PVC-U Collar Dmin Tmax (pipe/seal)
14	PVC-U	32	2,4	wrap	3	PVC-U Wrap Dmin Tmax (pipe/seal)
15	PVC-U	32	1,8	manžeta	3	PVC-U Collar Dmin Tmin (pipe/seal)
16	PVC-U	32	1,8	wrap	3	PVC-U Wrap Dmin Tmin (pipe/seal)

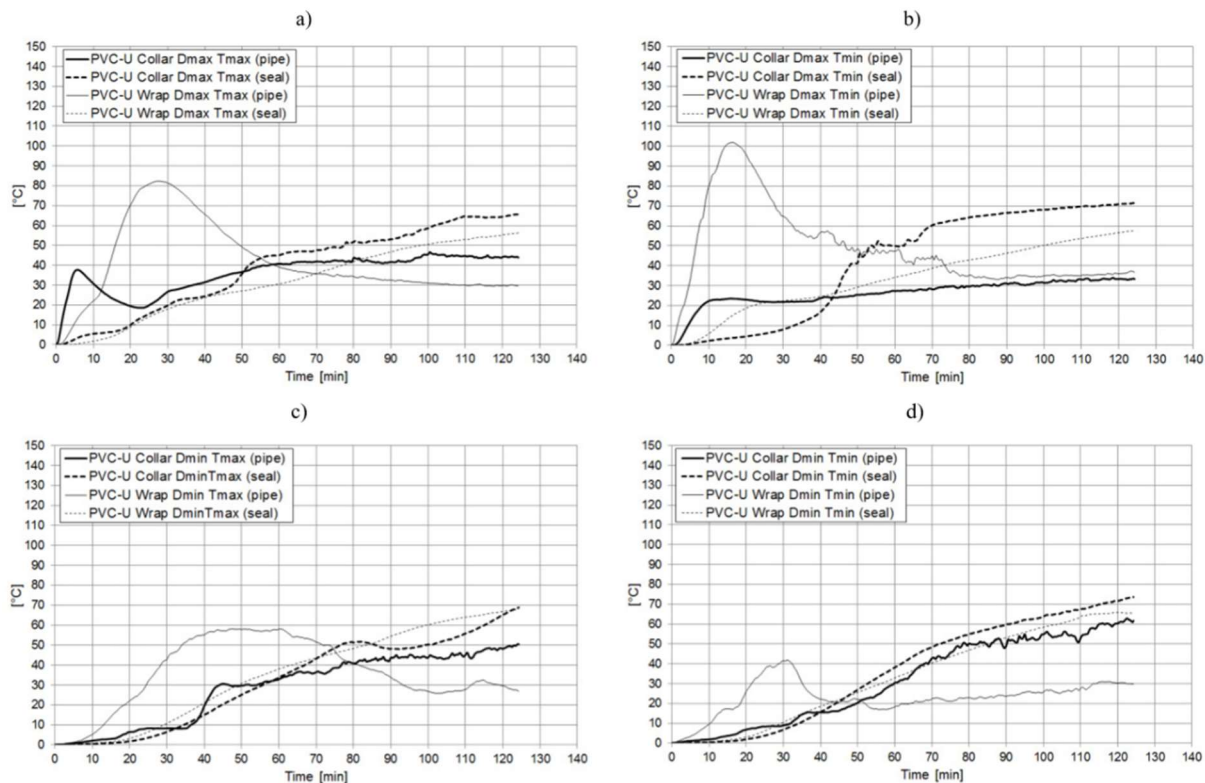


Příloha 2 – Průběhy teplot na neexponované straně zkoušených prvků



obr. 38 Porovnání průměrného nárůstu teplot na neexponované straně prostupu plastové trubky (z materiálu PE-HD) stropem, pro [6]:

- (a) trubku s maximálním průměrem a maximální tloušťkou její stěny; (b) trubku s maximálním průměrem a minimální tloušťkou její stěny; (c) trubku s minimálním průměrem a maximální tloušťkou její stěny; (d) trubku s minimálním průměrem a minimální tloušťkou její stěny



obr. 39 Porovnání průměrného nárůstu teplot na neexponované straně prostupu plastové trubky (z materiálu PVC-U) stropem, pro [6]:
 (a) trubku s maximálním průměrem a maximální tloušťkou její stěny; (b) trubku s maximálním průměrem a minimální tloušťkou její stěny; (c) trubku s minimálním průměrem a maximální tloušťkou její stěny; (d) trubku s minimálním průměrem a minimální tloušťkou její stěny



Příloha 3 – Podrobný protokol o průběhu požárního experimentu

Na následujících stranách je k vidění podrobný protokol o průběhu velkorozměrového požárního experimentu slaměného objektu „Slamáček“. Protokol popisuje co nejdříve události v časové posloupnosti od začátku experimentu (10:51 hodin dne 20/09/2017) až do jeho konce. Protokol byl vytvořen za pomoci audio-video záznamů, které byly během požárního experimentu pořízeny.



obr. 40 Fotografie z velkorozměrového požárního experimentu



Reálný čas [min]	Čas od zapálení [min]	Popis události	Cam 1	Cam 2	Go Pro 1	Go Pro 2	Poznámky
0:00	-2:00	Začátek experimentu	-	-	-	-	
2:00	0:00	Iniciace požáru	0:44 (MVI_4876)	1:33 (MVI_9603)	1:29 (GOPR2186)	1:29 (GOPR9945)	
2:15	0:15	Pronikání kouře prostupy	0:59 (MVI_4876)	-	-	-	V levé části objektu
2:21	0:21	Pronikání kouře prostupy	-	1:54 (MVI_9603)	-	-	V pravé části objektu
2:54	0:54	Pronikání kouře netěsnostmi	-	-	2:23 (GOPR2186)	-	Skrze pohled
5:56	3:56	Pronikání kouře netěsnostmi okna	4:40 (MVI_4876)	-	-	-	V levé části objektu
6:32	4:32	Prasknutí levého okna	-	6:16 (MVI_9603)	-	6:01 (GOPR9945)	
6:33	4:43	Chytly levé dveře	-	6:42 (MVI_9603)	-	-	
7:09	5:09	Vyšlehnutí plamenů levými dveřmi	-	-	6:46 (GOPR2186)	-	Chvilkové vzplanutí
7:17	5:17	Průnik kouře střešní konstrukcí	6:15 (MVI_4876)	-	-	-	Zadní strana objektu
7:31	5:31	Pronikání kouře netěsnostmi okna	-	7:45 (MVI_9603)	-	-	V pravé části objektu
8:12	6:12	Vzplanutí lepenky na střeše	-	7:45 (MVI_9603)	-	-	V levé části objektu
8:12	6:12	Vznícení lepenky	-	-	7:41 (GOPR2186)	-	
8:33	6:33	Vysklení levého okna	-	8:06 (MVI_9603)	-	-	
8:51	6:51	Vyšlehávání plamenů ze dveří	7:35 (MVI_4876)	-	-	-	Pravé dveře
9:01	7:01	Chytly pravé dveře	7:45 (MVI_4876)	-	-	-	



Reálný čas [min]	Čas od zapálení [min]	Popis události	Cam 1	Cam 2	Go Pro 1	Go Pro 2	Poznámky
10:00	8:00	Teplota uvnitř objektu na 750 °C	-	-	-	-	
10:14	8:14	Plameny začínají sáhat na střeše	-	-	-	9:43 (GOPR9945)	V pravé části objektu
10:21	8:21	Zapálení lepenky na střeše	9:05 (MVI_4876)	-	-	-	V pravé části objektu
10:27	8:27	Vysklení okna	-	-	-	9:56 (GOPR9945)	Pravé okno
10:56	8:56	Zhasnutí lepenky	-	-	-	10:25 (GOPR9945)	V pravé části objektu
11:08	9:08	FLASHOVER levá místnost	-	2:10 (MVI_9604)	-	-	
11:28	9:28	Vzplanutí střešní konstrukce	-	2:30 (MVI_9604)	-	-	Nad levými dveřmi
12:26	10:26	Odpadnutí dveří	-	-	11:55 (GOPR2186)	-	Levé dveře
12:44	10:44	Vzplanutí střešního pláště	-	-	-	0:15 (GP019945)	V pravé části objektu
12:54	10:54	Prošlehávání plamenů dveřmi	-	-	0:23 (GP012187)	-	Levé dveře
13:31	11:21	Vyšlehávání plamenů z okna	12:05 (MVI_4876)	-	-	-	Levé okno
13:51	11:51	Prošlehávání plamenů střešní k-cí	-	-	1:20 (GP012187)	-	
14:59	12:59	Prošlehnutí plamenů z okna	-	-	-	2:30 (GP019945)	Pravé okno
16:04	14:04	Vyšlehávání plamenů z okna	14:48 (MVI_4876)	-	-	-	Pravé okno
16:26	14:26	FLASHOVER pravá místnost	15:00 (MVI_4876)	-	-	-	
17:09	15:09	Odpadnutí horního prostupu	-	8:11 (MVI_9604)	-	-	V levé části objektu



Reálný čas [min]	Čas od zapálení [min]	Popis události	Cam 1	Cam 2	Go Pro 1	Go Pro 2	Poznámky
18:53	16:53	Odpadnutí dveří	-	-	-	6:24 (GP019945)	Pravé dveře
21:11	19:11	Pronikání kouře prostory v dolní části	1:44 (MVI_4877)	-	-	-	
22:21	20:21	Prohoření podlahy	-	-	-	9:52 (GP019945)	V pravé části objektu
22:39	20:39	Odhoření OSB desky	-	4:50 (MVI_9605)	-	-	Ostění levých dveří
22:40	20:40	Pronikání kouře prostory v dolní části	3:13 (MVI_4877)	-	-	-	Pravá místnost
23:52	21:52	Odpadávání částí zárubně levých dveří	-	-	11:21 (GP012187)	-	
24:48	22:48	Odpadávání hořící slámy	-	-	0:19 (GP022187)	-	Nadpraží pravých dveř
26:33	24:33	Prohoření podlahy v levé části	-	0:40 (MVI_9606)	-	-	Zadní roh
27:07	25:07	Prasklina napravo od dveří	-	-	-	2:40 (GP029945)	Pravé dveře
27:29	25:29	Prohoření podlahy v levé části	8:02 (MVI_4877)	-	-	-	Přední roh
28:42	26:42	Ochlazování okolí hasiči	9:15 (MVI_4877)	-	-	-	
29:08	27:08	Odpadnutí OSB nad levými dveřmi	-	3:15 (MVI_9606)	-	-	
29:10	27:10	Odpadnutí OSB nad levými dveřmi	-	-	4:41 (GP022187)	-	
29:21	27:21	Ochlazování okolí hasiči	-	-	4:52 (GP022187)	-	
30:00	28:00	Odpadnutí kusu OSB desky ze střechy	-	-	5:45 (GP022187)	-	
30:14	28:14	Ochlazování okolí hasiči	-	4:07 (MVI_9606)	-	-	



Reálný čas [min]	Čas od zapálení [min]	Popis události	Cam 1	Cam 2	Go Pro 1	Go Pro 2	Poznámky
30:50	28:50	Ochlazování okolí hasiči	-	-	6:21 (GP022187)	-	
32:00	30:00	Teplota uvnitř objektu na 1100 °C	-	-	-	-	
32:46	30:46	Ochlazování okolí hasiči	-	-	9:17 (GP022187)	-	
32:49	30:49	Ochlazování okolí hasiči	-	-	-	8:22 (GP029945)	
33:04	31:04	Odpadnutí části OSB ze střechy	-	2:39 (MVI_9607)	-	-	
33:11	31:11	Spadnutí tepelné izolace ze stropu	-	2:46 (MVI_9607)	-	-	Levá místnost
33:19	31:19	Odpadávání hořících částí střechy	-	-	8:50 (GP022187)	-	
33:25	31:25	Odpadnutí části OSB ze střechy	-	2:52 (MVI_9607)	-	-	
34:27	32:27	Ochlazování okolí hasiči	-	-	-	9:57 (GP029945)	
35:04	33:04	Vznik trhliny u nadpraží levého okna	3:50 (MVI_4878)	-	-	-	
35:41	33:41	Prošlehnutí plamů pod podlahou	-	-	11:12 (GP022187)	-	Pravá místnost, ze zadu
36:53	34:53	Ochlazování okolí hasiči	-	-	0:26 (GP032187)	-	
37:20	35:20	Odpadnutí síťoviny ze stropu	-	6:47 (MVI_9607)	-	-	
39:13	37:13	Odpadávání hořících částí střechy	-	-	2:48 (GP032187)	-	
40:05	38:05	Odpadnutí kusu vápenné omítky	-	-	3:38 (GP032187)	-	Pravý zadní roh
40:50	38:50	Ochlazování okolí hasiči	-	-	4:13 (GP032187)	-	



Reálný čas [min]	Čas od zapálení [min]	Popis události	Cam 1	Cam 2	Go Pro 1	Go Pro 2	Poznámky
42:19	40:19	Doutnání slámy v trhlínách nadpraží	11:05 (MVI_4878)	-	-	-	Nad levým oknem
45:09	43:09	Odpadnutí ostění	13:55 (MVI_4878)	-	-	-	U pravého okna uvnitř
47:24	45:24	Odpadnutí kusu vápenné omítky	16:10 (MVI_4878)	-	-	-	
48:00	46:00	Teplota uvnitř objektu začíná klesat	-	-	-	-	
48:07	46:07	Částečný kolaps podélného trámu	-	-	11:30 (GP032187)	-	
50:15	48:15	Částečný kolaps podélného trámu	-	-	1:40 (GP042187)	-	
50:30	48:30	Odpadnutí kusu vápenné omítky	-	-	-	2:04 (GP049945)	Pravý přední roh
50:45	48:45	Odpadnutí kusu vápenné omítky	-	-	-	2:19 (GP049945)	Pravá strana střed
51:12	49:12	Uvolnění nadpraží	1:50 (MVI_4879)	-	-	-	U levého okna
55:39	53:39	Odpadnutí ostění	6:17 (MVI_4879)	-	-	-	U pravého okna uvnitř
55:52	53:52	Pád střešního trámu	6:30 (MVI_4879)	-	-	-	V pravé části objektu
56:22	54:22	Uvolnění slaměného balíku	7:00 (MVI_4879)	-	-	-	Levé nadpraží
56:34	54:34	Vypadnutí celého nadpraží	7:12 (MVI_4879)	-	-	-	
57:18	55:18	Odpadnutí vápenné omítky	-	-	8:43 (GP042187)	-	Na zadní stěně
57:35	55:35	Odpadnutí vápenné omítky	8:13 (MVI_4879)	-	-	-	V délce přední stěny
58:08	56:08	Uvolnění slaměného balíku	8:46 (MVI_4879)	-	-	-	Pravé nadpraží



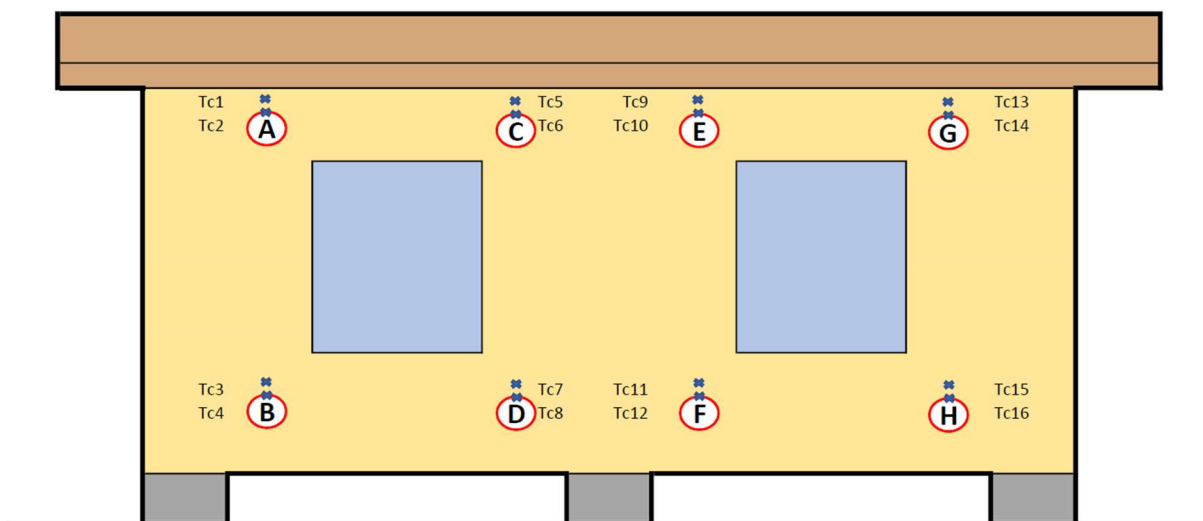
Reálný čas [min]	Čas od zapálení [min]	Popis události	Cam 1	Cam 2	Go Pro 1	Go Pro 2	Poznámky
58:46	56:46	Odpadnutí vápenné omítky z nadpraží	9:24 (MVI_4879)	-	-	-	Nad pravými dveřmi
58:51	56:51	Odpadnutí slámy	9:29 (MVI_4879)	-	-	-	Nadpraž pravého okna
59:01	57:01	Odpadnutí vápenné omítky	9:39 (MVI_4879)	-	-	-	Nadpraž pravého okna
60:19	58:19	Odpadnutí trámu směrem dozadu	-	-	11:44 (GP042187)	-	
61:49	59:49	Odpadnutí vápenné omítky	0:50 (MVI_4880)	-	-	-	Přední roh
62:57	60:57	Odpadnutí nadpraží okna a dveří	1:58 (MVI_4880)	-	-	-	V pravé části objektu
64:52	62:52	Odpadnutí kusu vápenné omítky	3:53 (MVI_4880)	-	-	-	Přední strana
65:19	63:19	Pád trámu	4:20 (MVI_4880)	-	-	-	V levé části objektu
65:20	63:20	Odpadnutí ostění okna	4:21 (MVI_4880)	-	-	-	Pravé okno
65:42	63:42	Ochlazování hasičem + odpadnutí omítky	4:43 (MVI_4880)	-	-	-	Odpadnutí z důvodu ochlazení
65:55	63:55	Odpadnutí hliněné omítky	4:56 (MVI_4880)	-	-	-	V levé části objektu
65:58	63:58	Odpadnutí vápenné omítky	4:59 (MVI_4880)	-	-	-	Na pravé části objektu
66:16	64:16	Kolaps pravé stěny	5:17 (MVI_4880)	-	-	-	
66:31	64:31	Kolaps levé stěny	5:20 (MVI_4880)	-	-	-	
66:29	64:29	CELKOVÝ KOLAPS OBJEKTU	5:29 (MVI_4880)	-	-	-	



Příloha 4 – Rozmístění a označení pro termočlánky a prostupy

tab. 6 Označení jednotlivých prostupů a k nim přiřazených termočlánků

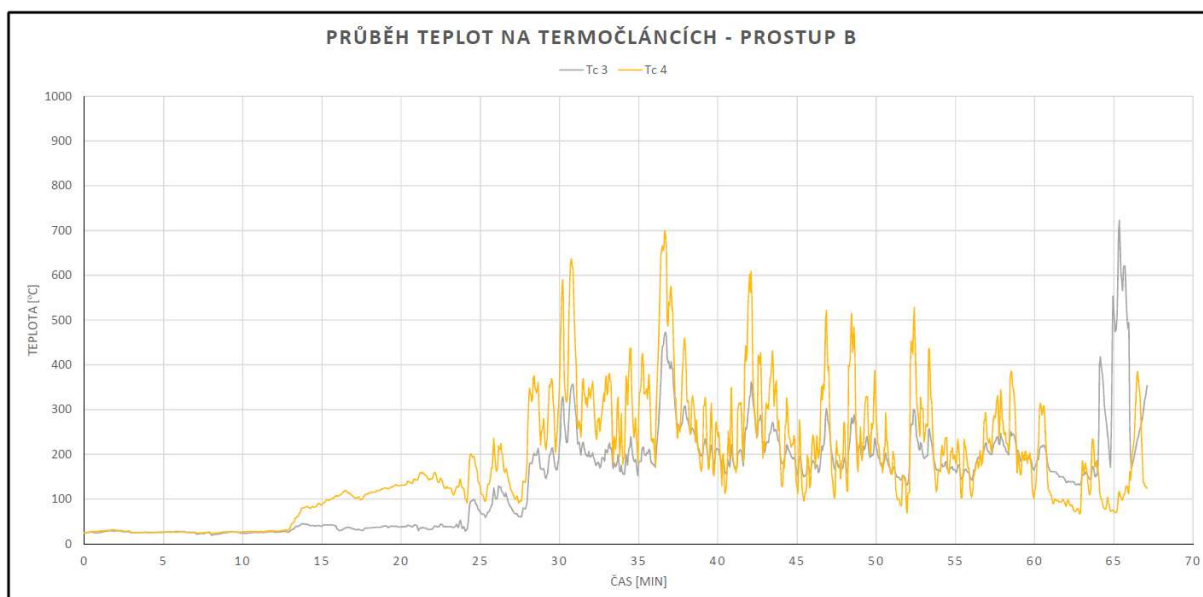
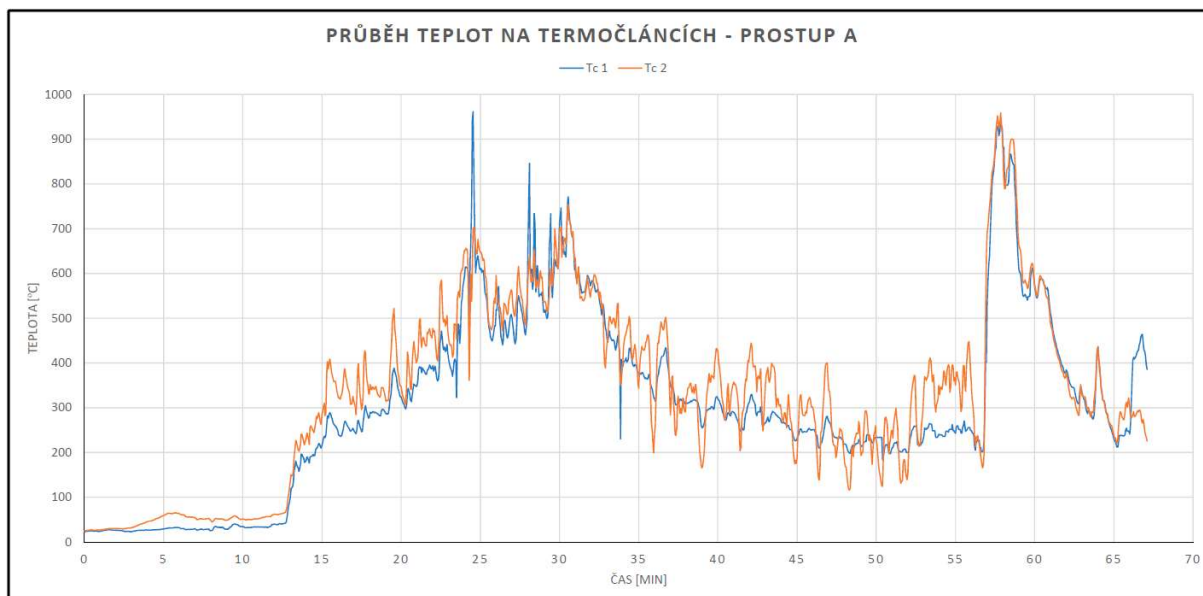
Prostup	Termočlánek	Umístění
A	Tc 1	na stěně, ve vzdálenosti 25 mm od plochy prostupu
	Tc 2	na prostupu, ve vzdálenosti 25 mm od hrany prostupované konstrukce
B	Tc 3	na stěně, ve vzdálenosti 25 mm od plochy prostupu
	Tc 4	na prostupu, ve vzdálenosti 25 mm od hrany prostupované konstrukce
C (s ucpávkou)	Tc 5	na stěně, ve vzdálenosti 25 mm od plochy prostupu
	Tc 6	na prostupu, ve vzdálenosti 25 mm od hrany prostupované konstrukce
D (s ucpávkou)	Tc 7	na stěně, ve vzdálenosti 25 mm od plochy prostupu
	Tc 8	na prostupu, ve vzdálenosti 25 mm od hrany prostupované konstrukce
E (s ucpávkou)	Tc 9	na stěně, ve vzdálenosti 25 mm od plochy prostupu
	Tc 10	na prostupu, ve vzdálenosti 25 mm od hrany prostupované konstrukce
F (s ucpávkou)	Tc 11	na stěně, ve vzdálenosti 25 mm od plochy prostupu
	Tc 12	na prostupu, ve vzdálenosti 25 mm od hrany prostupované konstrukce
G	Tc 13	na stěně, ve vzdálenosti 25 mm od plochy prostupu
	Tc 14	na prostupu, ve vzdálenosti 25 mm od hrany prostupované konstrukce
H	Tc 15	na stěně, ve vzdálenosti 25 mm od plochy prostupu
	Tc 16	na prostupu, ve vzdálenosti 25 mm od hrany prostupované konstrukce

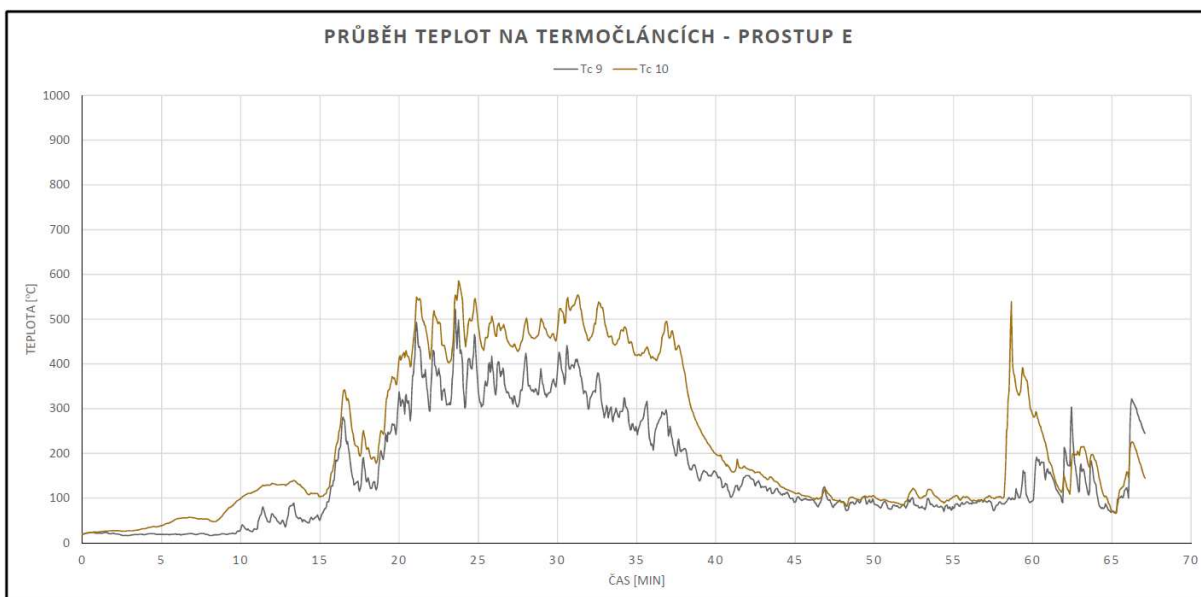
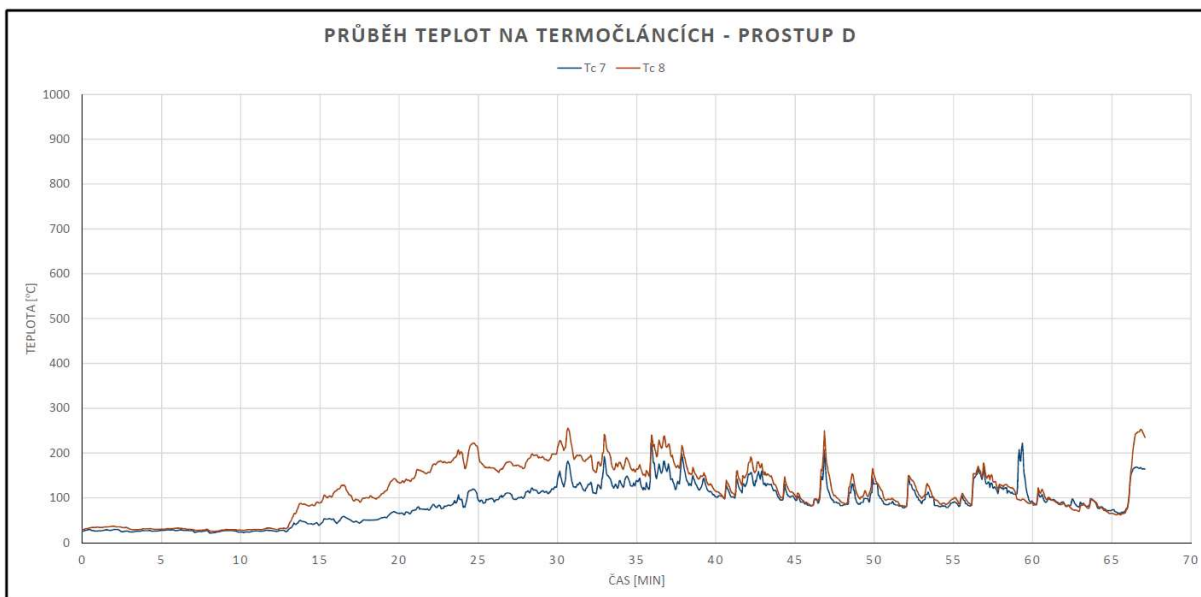
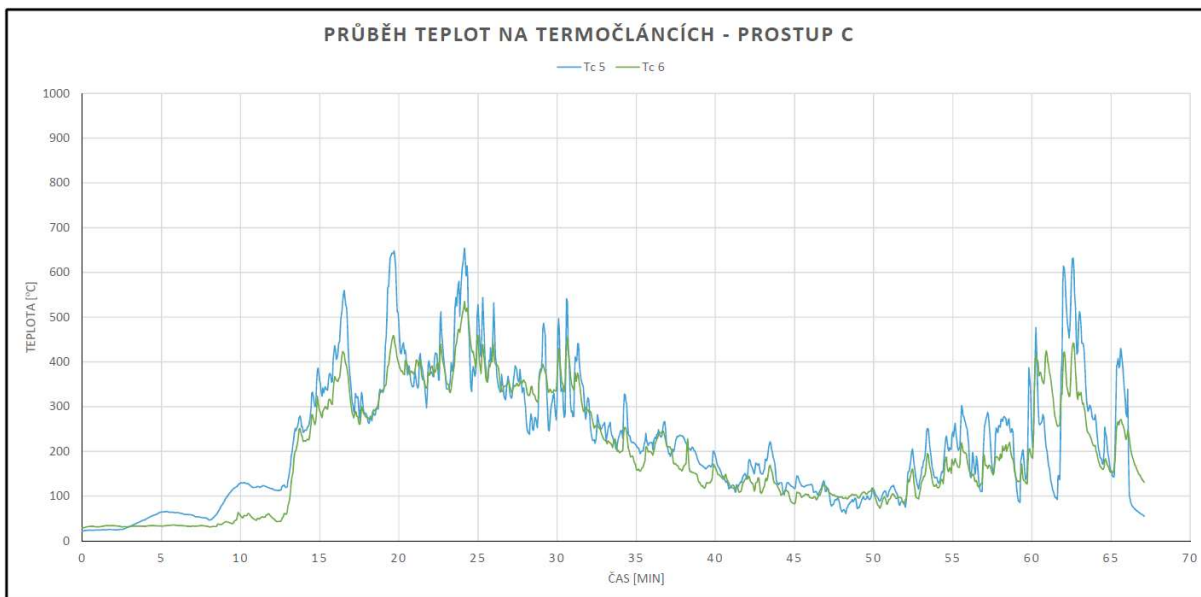


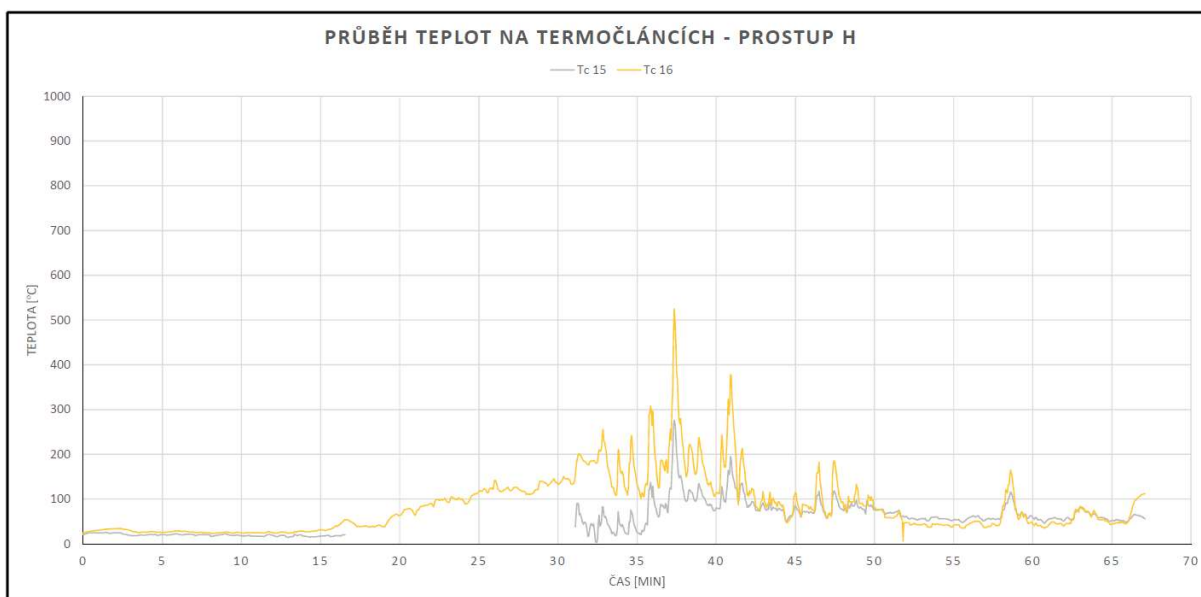
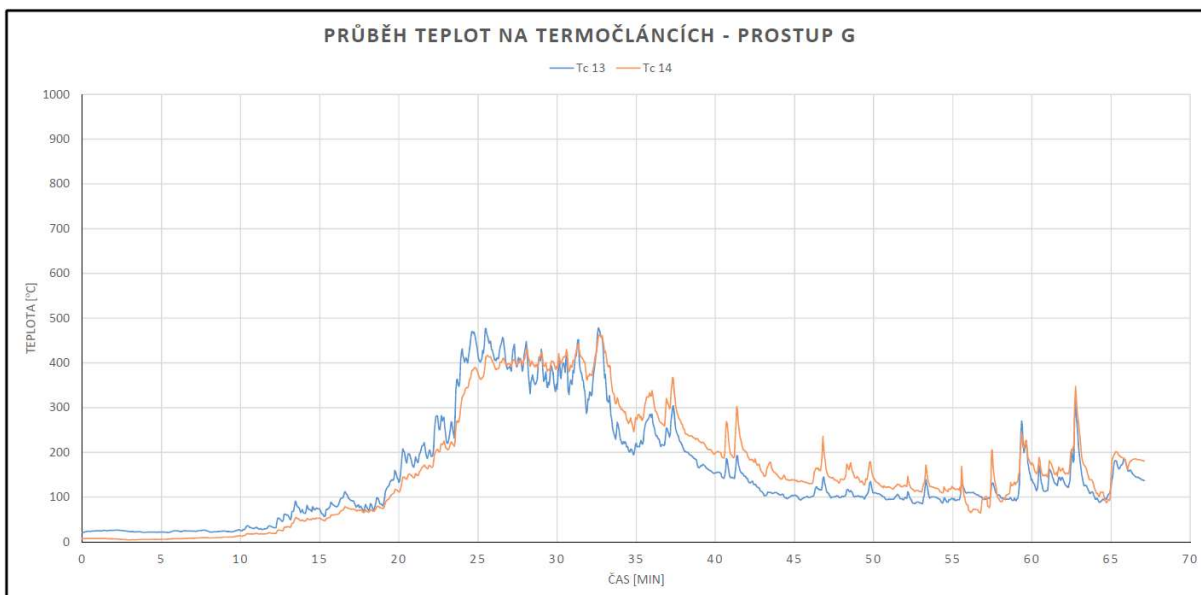
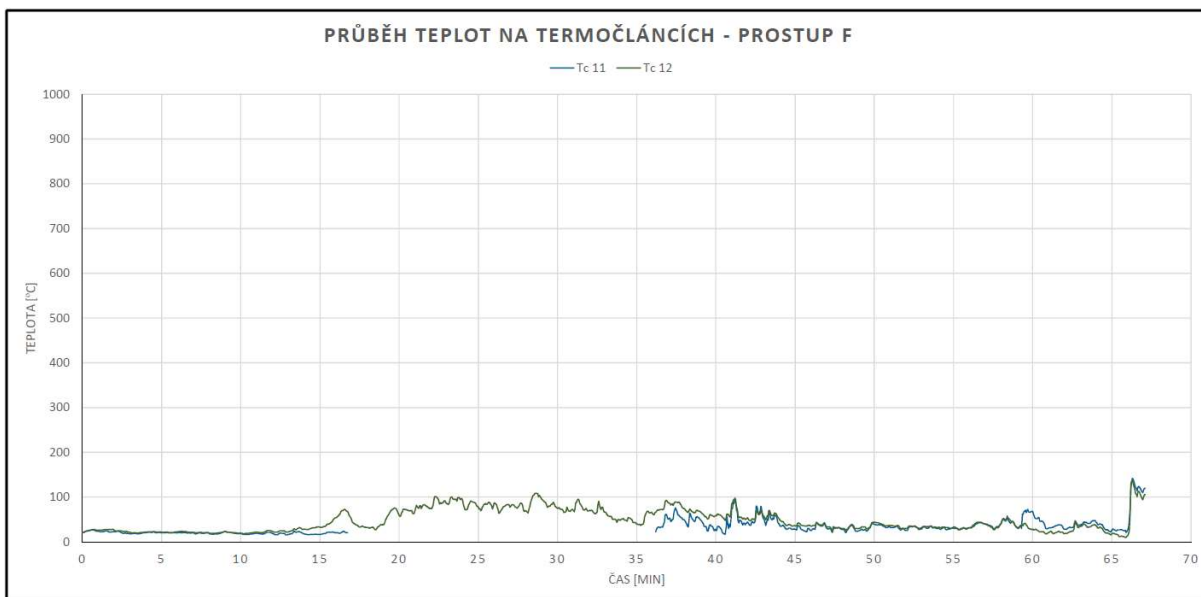
obr. 41 Schéma rozmístění a označení prostupů a termočlánků během velkorozměrového požárního experimentu



Příloha 5 – Průběhy teplot na jednotlivých prostupech









Příloha 6 – Zjednodušený model s ucpávkou

```

*****
***** SEMINÁRNÍ PRÁCE - ŘEŠENÝ PŘÍKLAD *****
*****
***** - POVRCHY *****
*****
&SURF ID = 'VAPNO'
      MATL_ID = 'VC'
      COLOR = 'GOLD'
      THICKNESS = 0.055 /

&SURF ID = 'SLAMA'
      MATL_ID = 'SLAMA'
      COLOR = 'YELLOW'
      THICKNESS = 0.400 /

&SURF ID = 'HLINO_SLAMA_TENKA'
      MATL_ID(1,1) = 'HLINO_SLAMA_TENKA'
      MATL_ID(2,1) = 'SLAMA'
      COLOR = 'IVORY'
      THICKNESS(1:2) = 0.040,0.2 /

&SURF ID = 'HLINO_SLAMA_VENEK'
      MATL_ID(1,1) = 'HLINO_SLAMA_VENEK'
      MATL_ID(2,1) = 'SLAMA'
      COLOR = 'MAROON'
      THICKNESS(1:2) = 0.055,0.2 /

&SURF ID = 'HLINA'
      MATL_ID = 'HLINA'
      COLOR = 'MAROON'
      THICKNESS = 0.055 /

&SURF ID = 'TRUBKA'
      MATL_ID = 'PVC'
      COLOR = 'DARK OLIVE GREEN'
      THICKNESS = 0.003 /

&SURF ID = 'UCPAVKA'
      MATL_ID = 'INTUMEX'
      COLOR = 'ORANGE'
      THICKNESS = 0.050 /

*****
***** - GEOMETRIE PROSTORU *****
*****
&OBST XB = 0.000, 1.000,
          0.000, 0.495,
          0.000, 1.000,

          SURF_ID6 = 'SLAMA',
                  'SLAMA',
                  'HLINO_SLAMA_VENEK',
                  'HLINO_SLAMA_TENKA',
                  'SLAMA',

*****
***** - VÝPOČETNÍ SÍŤ *****
*****
&HEAD CHID = 'DISE_PR_1',
      TITLE = 'Řešený příklad - var1' /

&DUMP DT_RESTART = 50.0 /
&TIME T_END = 450.0 /

*****
***** - MATERIÁLY *****
*****
&MESH ID= 's1', IJK = 20,60,20,
      XB = 0.000, 1.000,
          -1.000, 2.000,
          0.000, 1.000 /

24 000 buněk

*****
***** - MATERIÁLY *****
*****
&MATL ID = 'SLAMA',
      DENSITY = 120.000,
      CONDUCTIVITY = 0.060,
      SPECIFIC_HEAT = 2.000 /

&MATL ID = 'HLINA',
      DENSITY = 1734.000,
      CONDUCTIVITY = 0.461,
      SPECIFIC_HEAT = 1.000 /

&MATL ID = 'VC',
      DENSITY = 1600.000,
      CONDUCTIVITY = 0.870,
      SPECIFIC_HEAT = 0.840 /

&MATL ID = 'PVC',
      DENSITY = 1400.000,
      CONDUCTIVITY = 0.160,
      SPECIFIC_HEAT = 1.050 /

&MATL ID = 'INTUMEX',
      DENSITY = 100.000,
      CONDUCTIVITY = 0.120,
      SPECIFIC_HEAT = 1.000 /
    
```



```

'SLAMA'
/
&OBST XB = 0.445, 0.445, 1.000, 1.000,
-0.250, 0.750, 0.000, -1.000,
0.445, 0.555, 0.000, 1.000, /

SURF_ID
PERMIT_HOLE = 'TRUBKA',
.FALSE.
levá stěna trubky

&OBST XB = 0.555, 0.555, 0.000, 1.000,
-0.250, 0.750, 0.000, -1.000,
0.445, 0.555, 1.000, 1.000, /

SURF_ID
PERMIT_HOLE = 'TRUBKA',
.FALSE.
pravá stěna trubky

&OBST XB = 0.445, 0.555, 0.200, 0.800,
-0.250, 0.750, 1.000, 1.600,
0.445, 0.445, 0.000, 0.600, /

SURF_ID
PERMIT_HOLE = 'TRUBKA',
.FALSE.
spodní stěna trubky

&OBST XB = 0.445, 0.555, 0.200, 0.800,
-0.250, 0.750, 1.000, 1.600,
0.555, 0.555, 0.000, 0.600, /

SURF_ID
PERMIT_HOLE = 'TRUBKA',
.FALSE.
horní stěna trubky

*****
- GEOMETRIE OTVORŮ
*****
&HOLE XB = 0.445, 0.555,
-0.250, 0.750,
0.445, 0.555 /

*****
- OKRAJOVÉ PODMÍNKY
*****
&VENT XB = 0.000, 1.000,
-1.000, -1.000,
0.000, 1.000, /

SURF_ID = 'OPEN'

&VENT XB = 0.000, 0.000,
0.000, -1.000,
0.000, 1.000, /

SURF_ID = 'OPEN'

*****
- PLYNOVÝ HOŘÁK
*****
&OBST XB = 0.200, 0.800,
1.000, 1.600,
0.000, 0.600, /

SURF_ID
COLOR = 'FIRE',
'BLACK'

*****
- POŽÁR
*****
&SURF ID = 'FIRE',
HRRPUA = 297.22,
RAMP_Q = 'fireramp' /

&RAMP ID = 'fireramp',
T = 0.0,
F = 1.0 /

&RAMP ID = 'fireramp',
T = 50.0,
F = 1.0 /

&RAMP ID = 'fireramp',
T = 180.0,
F = 1.0 /

&RAMP ID = 'fireramp',
T = 900.0,
F = 1.0 /

&REAC FUEL = 'PROPANE',
SOOT_YIELD = 0.01,
HEAT_OF_COMBUSTION = 46460. /
    
```



```

*****
- MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ
*****
&DEVC ID = 'TC_venku',
XYZ = 0.500, 0.025, 0.555,
QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', /

&DEVC ID = 'TC_v prostupu 1',
XYZ = 0.500, 0.246, 0.555,
QUANTITY = 'WALL TEMPERATURE',
IOR = -3, /

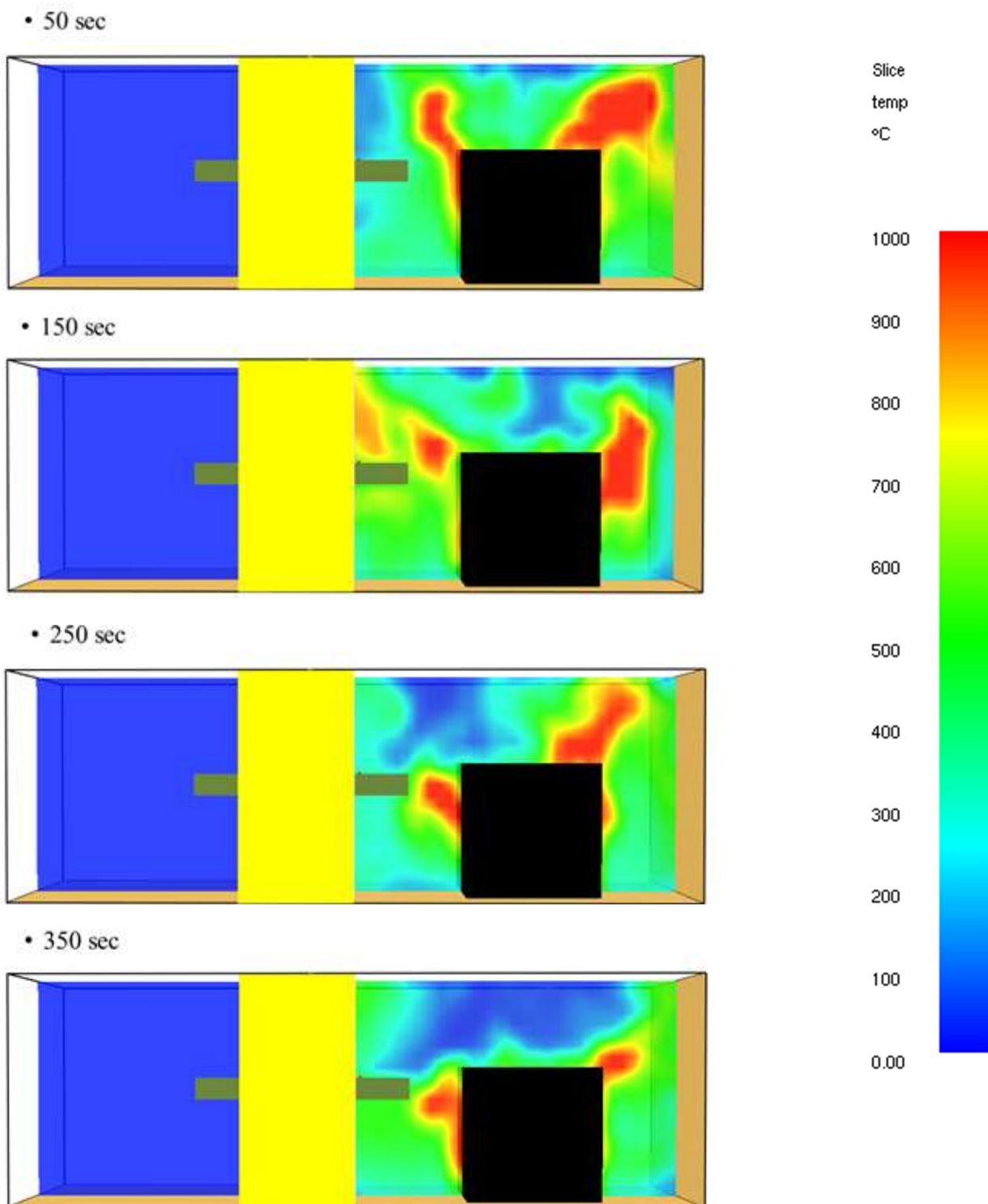
&DEVC ID = 'TC_v prostupu 2',
XYZ = 0.500, 0.455, 0.555,
QUANTITY = 'WALL TEMPERATURE',
IOR = -3, /

*****
- ŘEZOVÉ ROVINY
*****
&SLCF XB = 0.500, 0.500,
-1.000, 2.000,
0.000, 1.000,
QUANTITY = 'TEMPERATURE',
VECTOR = .TRUE., /

*****
- PODMÍNKA PRO OBJEVENÍ UCPÁVKY
*****
&OBST XB = 0.445, 0.555,
0.445, 0.495,
0.445, 0.555,
SURF_ID = 'UCPAVKA',
COLOR = 'ORANGE',
DEVIC_ID = 'TC_spojštěcí',
PERMIT_HOLE = .FALSE., /

&DEVC ID = 'TC_spojštěcí',
XYZ = 0.500, 0.520, 0.555,
SETPOINT = 200,
QUANTITY = 'TEMPERATURE', /

&TAIL /
    
```



obr. 42 Průběh teplot ve zjednodušeném modelovaném prostoru s ucpávkou



Příloha 7 – Zjednodušený model bez ucpávky

```

*****
***** SEMINÁRNÍ PRÁCE - ŘEŠENÝ PŘÍKLAD *****
*****
&HEAD CHID = 'DIŠE_PR_2', /
      TITLE = 'Řešený příklad - var2'

&DUMP DT_RESTART = 50.0 /
&TIME T_END = 450.0 /

*****
***** - VÝPOČETNÍ SIŤ *****
*****

&MESH ID='s1', IJK = 20,60,20, 0.000, 1.000,
      XB = -1.000, 2.000, -1.000, 2.000,
          0.000, 1.000, 0.000, 1.000 /

*****
***** - MATERIÁLY *****
*****

&MATL ID = 'SLAWA', = 'SLAWA',
      DENSITY = 120.0, = 120.0,
      CONDUCTIVITY = 0.060, = 0.060,
      SPECIFIC_HEAT = 2.000, = 2.000

&MATL ID = 'HLINA', = 'HLINA',
      DENSITY = 1734.0, = 1734.0,
      CONDUCTIVITY = 0.461, = 0.461,
      SPECIFIC_HEAT = 1.0, = 1.0

&MATL ID = 'VC', = 'VC',
      DENSITY = 1600.0, = 1600.0,
      CONDUCTIVITY = 0.87, = 0.87,
      SPECIFIC_HEAT = 0.84, = 0.84

&MATL ID = 'PVC', = 'PVC',
      DENSITY = 1400., = 1400.,
      CONDUCTIVITY = 0.160, = 0.160,
      SPECIFIC_HEAT = 1.05, = 1.05

*****
***** - POUŽITÍ *****
*****

&SURF ID = 'VAPNO', = 'VAPNO',
      MATL_ID = 'VC', = 'VC',
      COLOR = 'GOLD', = 'GOLD',
      THICKNESS = 0.055, = 0.055

*****
***** - GEOMETRIE PROSTORU *****
*****

80BST XB = 0.000, 1.000, 0.000, 0.495, 0.000, 1.000,
          0.000, 1.000, 0.000, 1.000,

      SURF_ID6 = 'SLAWA', = 'SLAWA',
              'SLAWA', = 'SLAWA',
              'HLINO_SLAWA_VENEK', = 'HLINO_SLAWA_VENEK',
              'HLINO_SLAWA_TENKA', = 'HLINO_SLAWA_TENKA',
              'SLAWA', = 'SLAWA',
              'SLAWA', = 'SLAWA',

80BST XB = 0.445, 0.445, 0.445, 0.445,
          -0.250, 0.750, -0.250, 0.750,
          0.445, 0.555, 0.445, 0.555,

      SURF_ID = 'TRUBKA', = 'TRUBKA',
      PERMIT_HOLE = .FALSE., = .FALSE.,

      1evá stěna trubky

80BST XB = 0.555, 0.555, 0.555, 0.555,
          -0.250, 0.750, -0.250, 0.750,
          0.445, 0.555, 0.445, 0.555,

      SURF_ID = 'TRUBKA', = 'TRUBKA',

```




```

*****
- PLYNOVÝ HOŘÁK
*****
&OBST XB = 0.200, 0.800,
1.000, 1.600,
0.000, 0.600,

SURF_ID = 'FIRE',
COLOR = 'BLACK' /

*****
- POŽÁR
*****
&SURF ID = 'FIRE',
HRRPUA = 297.22,
RAMP_Q = 'fireramp' /

&RAMP ID = 'fireramp',
T = 0.0,
F = 1.0 /

&RAMP ID = 'fireramp',
T = 50.0,
F = 1.0 /

&RAMP ID = 'fireramp',
T = 180.0,
F = 1.0 /

&RAMP ID = 'fireramp',
T = 900.0,
F = 1.0 /

&REAC FUEL = 'PROPANE',
SOOT_YIELD = 0.01,
HEAT_OF_COMBUSTION = 46460.

*****
- MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ
*****
&DEVC ID = 'TC_venku',
XYZ = 0.500, -0.025, 0.555,
QUANTITY = 'THERMOCOUPLE' /

&DEVC ID = 'TC_uvnitř',
XYZ = 0.500, 0.520, 0.555,
QUANTITY = 'THERMOCOUPLE' /

&DEVC ID = 'TC_v prostupu 1',
XYZ = 0.500, 0.246, 0.555,
QUANTITY = 'WALL TEMPERATURE',
IOR = -3 /
    
```



```

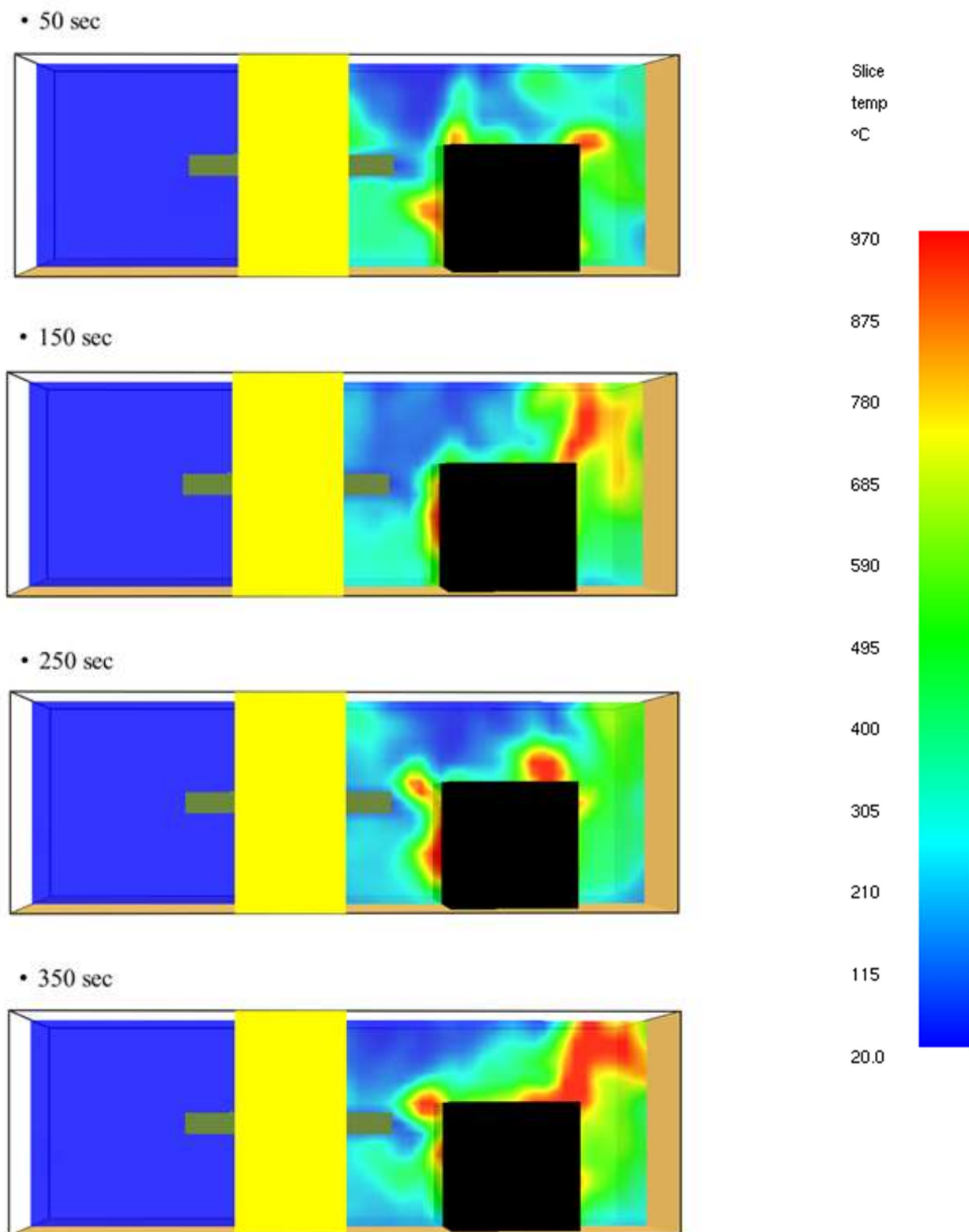
&DEVC ID = 'TC v prostupu 2',
XYZ = 0.500, 0.455, 0.555,
QUANTITY = 'WALL TEMPERATURE',
IOR = -3 /

*****
- ŘEZOVÉ ROVINY
*****

&SLCF XB = 0.500, 0.500,
-1.000, 2.000,
0.000, 1.000,

QUANTITY = 'TEMPERATURE',
VECTOR = .TRUE. /

&TAIL /
    
```



obr. 43 Průběh teplot ve zjednodušeném modelovaném prostoru bez ucpávky



Příloha 8 – Výsek slaměného objektu Slamáček

```

***** SEMIMÁRNÍ PRÁCE – ŘEŠENÝ PŘÍKLAD *****
*****
&HEAD CHID = 'DISE_PR_var0', /
      TITLE = 'Řešený příklad' /
&DUMP DT_RESTART = 50.0 /
&TIME T_END = 450.0 /
*****
- VÝPOČETNÍ SÍŤ
*****
&MESH ID='s1', IJK = 67,32,60,
      XB = 0.000, 3.350,
      -1.125, 2.055,
      0.000, 3.000 /
&MESH ID='s2', IJK = 67,32,4,
      XB = 0.000, 3.350,
      -1.125, 2.055,
      3.000, 3.200 /
*****
- MATERIÁLY
*****
&MATERIAL ID
DENSITY = 'SLAMA', = 120.000,
CONDUCTIVITY = 0.060,
SPECIFIC_HEAT = 2.000 /
&MATERIAL ID
DENSITY = 'HLINA', = 1734.000,
CONDUCTIVITY = 0.461,
SPECIFIC_HEAT = 1.000 /
&MATERIAL ID
DENSITY = 'VC', = 1600.000,
CONDUCTIVITY = 0.870,
SPECIFIC_HEAT = 0.840 /
&MATERIAL ID
DENSITY = 'DREVO', = 400.000,
CONDUCTIVITY = 0.180,
SPECIFIC_HEAT = 2.510 /
&MATERIAL ID
DENSITY = 'MINERALNIVATA', = 250.000,
CONDUCTIVITY = 0.079,
SPECIFIC_HEAT = 1.150 /
*****
&MATERIAL ID
DENSITY = 'OSB', = 400.000,
CONDUCTIVITY = 0.098,
SPECIFIC_HEAT = 1.630 /
&MATERIAL ID
DENSITY = 'SKLO', = 2600.000,
CONDUCTIVITY = 0.760,
SPECIFIC_HEAT = 0.840 /
&MATERIAL ID
DENSITY = 'PVC', = 1400.000,
CONDUCTIVITY = 0.160,
SPECIFIC_HEAT = 1.050 /
&MATERIAL ID
DENSITY = 'INTUMEX', = 100.000,
CONDUCTIVITY = 0.120,
SPECIFIC_HEAT = 1.000 /
*****
- POUVRCHY
*****
&SURFACE ID
MATERIAL_ID = 'SLAMA',
COLOR = 'YELLOW',
THICKNESS = 0.400 /
&SURFACE ID
MATERIAL_ID(1,1) = 'HLINO_SLAMA_TENKA',
MATERIAL_ID(2,1) = 'SLAMA',
COLOR = 'IVORY',
THICKNESS(1:2) = 0.040,0.200 /
&SURFACE ID
MATERIAL_ID(1,1) = 'HLINO_SLAMA_TLUSTA',
MATERIAL_ID(2,1) = 'SLAMA',
COLOR = 'CRIMSON',
THICKNESS(1:2) = 0.070,0.200 /
&SURFACE ID
MATERIAL_ID(1,1) = 'HLINO_SLAMA_VENEK',
MATERIAL_ID(2,1) = 'SLAMA',
COLOR = 'MAROON',
THICKNESS(1:2) = 0.055,0.200 /
&SURFACE ID
MATERIAL_ID = 'VAPNO',
COLOR = 'VC',
THICKNESS = 0.055 /

```




&OBST XB	=	2.150, 2.260, -0.250, 0.750, 0.500, 0.500,	/	PERMIT_HOLE =	.FALSE.	/	2.260, 2.260, -0.250, 0.750, 2.490, 2.600,
SURF_ID	=	'TRUBKA',					
PERMIT_HOLE	=	.FALSE.					
&OBST XB	=	2.260, 2.260, -0.250, 0.750, 0.390, 0.500,	/	SURF_ID	'TRUBKA',	/	
				PERMIT_HOLE	.FALSE.		
***** - GEOMETRIE NOSNÉ KONSTRUKCE STŘECHY *****							
&OBST XB	=	0.800, 0.800, -0.250, 0.750, 2.490, 2.600,	/				0.055, 0.135, 0.000, 2.055, 3.000, 3.160,
				SURF_ID	'DREVO'	/	
&OBST XB	=	0.800, 0.910, -0.250, 0.750, 2.490, 2.490,	/				0.455, 0.535, 0.000, 2.055, 3.000, 3.160,
				SURF_ID	'DREVO'	/	
&OBST XB	=	0.800, 0.910, -0.250, 0.750, 2.600, 2.600,	/				1.080, 1.160, 0.000, 2.055, 3.000, 3.160,
				SURF_ID	'DREVO'	/	
&OBST XB	=	0.910, 0.910, -0.250, 0.750, 2.490, 2.600,	/				1.705, 1.785, 0.000, 2.055, 3.000, 3.160,
				SURF_ID	'DREVO'	/	
&OBST XB	=	2.150, 2.150, -0.250, 0.750, 2.490, 2.600,	/				2.330, 2.410, 0.000, 2.055, 3.000, 3.160,
				SURF_ID	'DREVO'	/	
&OBST XB	=	2.150, 2.260, -0.250, 0.750, 2.490, 2.490,	/				2.855, 2.935, 0.000, 2.055, 3.000, 3.160,
				SURF_ID	'DREVO'	/	
&OBST XB	=	2.150, 2.260, -0.250, 0.750, 2.600, 2.600,	/				3.230, 3.310, 0.000, 2.055, 3.000, 3.160,
				SURF_ID	'DREVO'	/	
***** - GEOMETRIE NOSNÉ KONSTRUKCE STŘECHY *****							
&OBST XB	=	0.135, 0.455, 0.000, 2.055,	/				0.135, 0.455, 0.000, 2.055,
				SURF_ID	'TRUBKA',		



```

SURF_ID6 = 'MINERALNIVATA', 3.000, 3.160, 'MINERALNIVATA',
          'OSB', 'MINERALNIVATA', 'OSB', 'OSB', 'OSB', 'OSB',
          /

&OBST XB = 0.535, 1.080, 'MINERALNIVATA', 'MINERALNIVATA',
          0.000, 2.055, 'OSB', 'OSB', 'OSB', 'OSB',
          SURF_ID6 = 'MINERALNIVATA', 3.000, 3.160, 'MINERALNIVATA',
          'OSB', 'MINERALNIVATA', 'OSB', 'OSB', 'OSB', 'OSB',
          /

&OBST XB = 1.160, 1.705, 'MINERALNIVATA', 'MINERALNIVATA',
          0.000, 2.055, 'OSB', 'OSB', 'OSB', 'OSB',
          SURF_ID6 = 'MINERALNIVATA', 3.000, 3.160, 'MINERALNIVATA',
          'OSB', 'MINERALNIVATA', 'OSB', 'OSB', 'OSB', 'OSB',
          /

&OBST XB = 1.785, 2.330, 'MINERALNIVATA', 'MINERALNIVATA',
          0.000, 2.055, 'OSB', 'OSB', 'OSB', 'OSB',
          SURF_ID6 = 'MINERALNIVATA', 3.000, 3.160, 'MINERALNIVATA',
          'OSB', 'MINERALNIVATA', 'OSB', 'OSB', 'OSB', 'OSB',
          /

&OBST XB = 2.410, 2.855, 'MINERALNIVATA', 'MINERALNIVATA',
          0.000, 2.055, 'OSB', 'OSB', 'OSB', 'OSB',
          SURF_ID6 = 'MINERALNIVATA', 3.000, 3.160, 'MINERALNIVATA',
          'OSB', 'MINERALNIVATA', 'OSB', 'OSB', 'OSB', 'OSB',
          /

&OBST XB = 2.935, 3.230, 'MINERALNIVATA', 'MINERALNIVATA',
          0.000, 2.055, 'OSB', 'OSB', 'OSB', 'OSB',
          SURF_ID6 = 'MINERALNIVATA', 3.000, 3.160, 'MINERALNIVATA',
          'OSB', 'MINERALNIVATA', 'OSB', 'OSB', 'OSB', 'OSB',
          /

'MINERALNIVATA',
'OSB',
'OSB',
'OSB',
'OSB',
/

***** - GEOMETRIE OTVORŮ *****
*****
&HOLE XB = 1.255, 2.055,
          -0.010, 0.496,
          0.997, 2.305
/

&HOLE XB = 0.800, 0.910,
          0.000, 0.495,
          0.390, 0.500,
/

&HOLE XB = 2.150, 2.260,
          0.000, 0.495,
          0.390, 0.500,
/

&HOLE XB = 0.800, 0.910,
          0.000, 0.495,
          2.490, 2.600,
/

&HOLE XB = 2.150, 2.260,
          0.000, 0.495,
          2.490, 2.600,
/

***** - VÝPLNĚ OTVORŮ *****
*****
&OBST XB = 1.255, 2.055,
          0.050, 0.100,
          0.997, 2.305,
/

SURF_ID PERMIT_HOLE = 'OKNO'
PERMIT_HOLE = .FALSE.
/

***** - OKRAJOVÉ PODMÍNKY *****
*****
&VENT XB = 0.000, 3.350, -1.125, -1.125, 0.000, 3.200,
          SURF_ID = 'OPEN' /
&VENT XB = 0.000, 0.000, 0.000, -1.125, 0.000, 3.200,
          SURF_ID = 'OPEN' /
&VENT XB = 3.350, 3.350, 0.000, -1.125, 0.000, 3.200,
          SURF_ID = 'OPEN' /

```



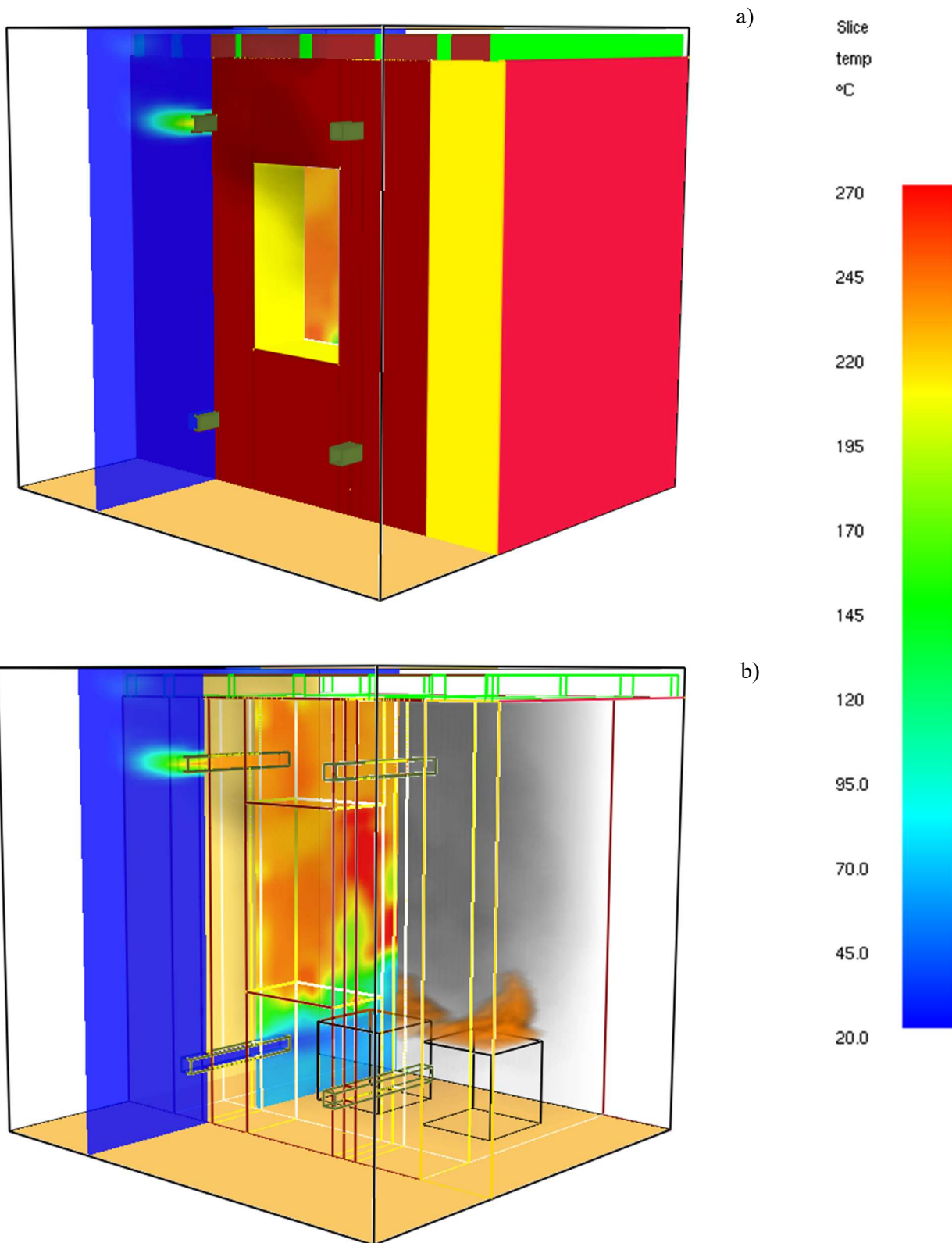

```

/
&DEVC XYZ = 0.855,-0.025,2.600, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'horní l. vně' /
&DEVC XYZ = 0.855, 0.550,0.500, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'spodní l.
uvnitř' /
&DEVC XYZ = 0.855, 0.550,2.600, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'horní l.
uvnitř' /
*****
- ŘEZOVÉ ROVINY
*****
&SLCF XB = 0.855, 0.855,
-1.125, 2.055,
0.000, 3.200,
QUANTITY VECTOR = 'TEMPERATURE',
.TRUE. /
&SLCF XB = 2.205, 2.205,
-1.125, 2.055,
0.000, 3.200,
QUANTITY VECTOR = 'TEMPERATURE',
.TRUE. /
*****
- PODMÍNKA PRO OBJEVENÍ UCPÁVKY
*****
&OBST XB = 2.150, 2.260,
0.445, 0.495,
0.390, 0.500,
SURF_ID = 'UCPAVKA',
COLOR = 'ORANGE',
DEVC_ID = 'spodní uvnitř',
PERMIT_HOLE = .FALSE. /
&DEVC ID XYZ = 'spodní uvnitř',
SETPOINT = 2.205,0.550,0.500,
QUANTITY = 200,
TEMPERATURE = /
&OBST XB = 2.150, 2.260,
0.445, 0.495,
2.490, 2.600,
SURF_ID = 'UCPAVKA',
COLOR = 'ORANGE',
DEVC_ID = 'horní uvnitř',
PERMIT_HOLE = .FALSE. /
&DEVC ID XYZ = 'horní uvnitř',
2.205,0.550,2.600,
/
&EVENT XB SURF_ID = 0.000,3.350, 0.000,-1.125, 3.200,3.200,
= 'OPEN' /
&EVENT XB SURF_ID = 0.000,3.350, 2.055, 2.055, 0.000,3.200,
= 'MIRROR' /
*****
- PLYNOVÝ HOŘÁK
*****
&OBST XB SURF_ID = 1.0,1.6, 1.0,1.6, 0.0,0.6,
COLOR = 'INERT',
'BLACK' /
&OBST XB SURF_ID = 2.0,2.6, 1.0,1.6, 0.0,0.6,
COLOR = 'INERT',
'BLACK' /
*****
- POŽÁR
*****
&SURF ID HRRPUA RAMP_Q = 'FIRE',
= 297.22,
'fireamp' /
&RAMP ID = 'fireamp', T = 0.0, F = 1.0 /
&RAMP ID = 'fireamp', T = 50.0, F = 1.0 /
&RAMP ID = 'fireamp', T = 180.0, F = 1.0 /
&RAMP ID = 'fireamp', T = 900.0, F = 1.0 /
&EVENT XB SURF_ID = 1.0,1.6, 1.0,1.6, 0.6,0.6,
COLOR = 'FIRE',
'RED' /
&EVENT XB SURF_ID = 2.0,2.6, 1.0,1.6, 0.6,0.6,
COLOR = 'FIRE',
'RED' /
&REAC FUEL = 'PROPANE'
SOOT_YIELD = 0.01
HEAT_OF_COMBUSTION = 46460.
*****
- MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ
*****
&DEVC XYZ = 2.205,-0.025,0.500, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'spodní p. vně' /
&DEVC XYZ = 2.205,-0.025,2.600, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'horní p. vně' /
&DEVC XYZ = 0.855,-0.025,0.500, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'spodní l. vně' /

```



SETPOINT
QUANTITY
= 200.
"TEMPERATURE"
/



obr. 44 Teplotní řez zjednodušeným objektem v čase 100 sec



Příloha 9 – Kompletní výpočetní model

```

*****
***** DIPLOMOVÁ PRÁCE - KOMPLETNÍ MODEL *****
*****
&HEAD CHID = 'SLAMAK',
TITLE = 'SLAMAK' /

&DUMP DT_RESTART = 50.0 /
&MISC RESTART=.TRUE./
&TIME T_END = 3600.0 /
*****
- VÝPOČETNÍ SÍŤ
*****

&MESH ID='s1', IJK = 52,37,16,
XB =
-0.125, 6.375,
-0.125, 4.500,
-0.200, 3.000 / (30784 BUNĚK)

&MESH ID='s2', IJK = 104,37,3,
XB =
-0.125, 6.375,
-0.125, 4.500,
3.000, 3.200 / (5772 BUNĚK)

&MESH ID='s3', IJK = 26,18,8,
XB =
-0.125, 6.375,
-0.125, -4.125,
-0.200, 3.000 / (3744 BUNĚK)

&MESH ID='s3a', IJK = 26,18,3,
XB =
-0.125, 6.375,
-0.125, -4.125,
3.000, 3.200 / (1404 BUNĚK)

&MESH ID='s4', IJK = 26,18,8,
XB =
-0.125, 6.375,
4.500, 8.500,
-0.200, 3.000 / (3744 BUNĚK)

&MESH ID='s4a', IJK = 26,18,3,
XB =
-0.125, 6.375,
4.500, 8.500,
3.000, 3.200 / (1404 BUNĚK)

*****
- MATERIÁLY
*****

&MATL ID = 'SLAMAK',
= 90,
= 'SLAMA_LAMBDA',
= 'SLAMA_C' /

&MATL ID = 'HLINA',
= 1600.0,
= 0.700,
= 0.920 / ZDROJ TZB INFO

&MATL ID = 'VC',
= 1600.0,
= 0.87,
= 0.84 /

&MATL ID = 'DREVO',
= 1.63,
= 0.2,
= 400.0,
= 1.8E4 /

&MATL ID = 'MINERALNIVATA',
= 250.0,
= 0.079,
= 1.150 /

&MATL ID = 'SKELNAVATA',
= 15.,
= 0.046,
= 0.940 /

&MATL ID = 'OSB',
= 1.3,
= 0.2,
= 600.0,
= 1.8E4 /

&MATL ID = 'SKLO',
= 2600.,
= 0.760,
= 0.84 /

&MATL ID = 'PVC',
= 1400.000,
= 0.160,
= 1.050 /

&MATL ID = 'INTUNEK',
= 100.000,
= 0.120,
= 1.000 /

&MATL ID = 'DREVOHRANICE',
= 1.000 /
    
```



```

SPECIFIC_HEAT = 2.63,
CONDUCTIVITY = 0.2,
DENSITY = 400.0
/

&MATL
ID = 'VODA',
DENSITY = 1000.
CONDUCTIVITY_RAMP = 'VODA_LAM1',
SPECIFIC_HEAT = 4.185
/

N_REACTIONS = 1
REFERENCE_TEMPERATURE = 75.
NU_SPEC = 1.0
SPEC_ID = 'WATER VAPOR'
HEAT_OF_REACTION = 2500.
/

*****
- MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI ZA POŽÁRU
*****

&RAMP ID = 'SLAMA_C', T= 20.0, F= 1.00
&RAMP ID = 'SLAMA_C', T= 74.0, F= 1.01
&RAMP ID = 'SLAMA_C', T= 75.0, F= 0.0030
&RAMP ID = 'SLAMA_C', T= 89.5, F= 0.0035
&RAMP ID = 'SLAMA_C', T= 90.0, F= 3.12
/

&RAMP ID = 'SLAMA_C', T= 200.0, F= 3.12
&RAMP ID = 'SLAMA_C', T= 250.0, F= 2.12
&RAMP ID = 'SLAMA_C', T= 300.0, F= 0.93
&RAMP ID = 'SLAMA_C', T= 350.0, F= 1.11
&RAMP ID = 'SLAMA_C', T= 400.0, F= 1.31
&RAMP ID = 'SLAMA_C', T= 600.0, F= 1.83
&RAMP ID = 'SLAMA_C', T= 800.0, F= 2.16
&RAMP ID = 'SLAMA_C', T= 1200.0, F= 2.16
/

&RAMP ID = 'SLAMA_LAMBDA', T= 20.0, F= 0.06
&RAMP ID = 'SLAMA_LAMBDA', T= 74.0, F= 0.06
&RAMP ID = 'SLAMA_LAMBDA', T= 75.0, F= 10.0
&RAMP ID = 'SLAMA_LAMBDA', T= 89.5, F= 18.0
&RAMP ID = 'SLAMA_LAMBDA', T= 90.0, F= 0.13
/

&RAMP ID = 'SLAMA_LAMBDA', T= 200.0, F= 0.08
&RAMP ID = 'SLAMA_LAMBDA', T= 350.0, F= 0.04
&RAMP ID = 'SLAMA_LAMBDA', T= 500.0, F= 0.05
&RAMP ID = 'SLAMA_LAMBDA', T= 800.0, F= 0.18
&RAMP ID = 'SLAMA_LAMBDA', T= 1200.0, F= 0.75
/

&RAMP ID = 'VODA_LAM1', T= 00.0, F= 0.564
&RAMP ID = 'VODA_LAM1', T= 10.0, F= 0.584
&RAMP ID = 'VODA_LAM1', T= 20.0, F= 0.597
&RAMP ID = 'VODA_LAM1', T= 30.0, F= 0.618
&RAMP ID = 'VODA_LAM1', T= 50.0, F= 0.645
/

&RAMP ID = 'VODA_LAM1', T= 80.0, F= 0.670
&RAMP ID = 'VODA_LAM1', T= 100.0, F= 0.682
/

&RAMP ID = 'VODA_C', T= 5.0, F= 4.2038
&RAMP ID = 'VODA_C', T= 10.0, F= 4.1957
&RAMP ID = 'VODA_C', T= 15.0, F= 4.1895
&RAMP ID = 'VODA_C', T= 20.0, F= 4.1849
&RAMP ID = 'VODA_C', T= 25.0, F= 4.1817
&RAMP ID = 'VODA_C', T= 30.0, F= 4.1796
&RAMP ID = 'VODA_C', T= 35.0, F= 4.1785
&RAMP ID = 'VODA_C', T= 40.0, F= 4.1782
&RAMP ID = 'VODA_C', T= 45.0, F= 4.1786
&RAMP ID = 'VODA_C', T= 50.0, F= 4.1796
&RAMP ID = 'VODA_C', T= 55.0, F= 4.1811
&RAMP ID = 'VODA_C', T= 60.0, F= 4.1830
&RAMP ID = 'VODA_C', T= 65.0, F= 4.1853
&RAMP ID = 'VODA_C', T= 70.0, F= 4.1881
&RAMP ID = 'VODA_C', T= 75.0, F= 4.1914
&RAMP ID = 'VODA_C', T= 80.0, F= 4.1952
&RAMP ID = 'VODA_C', T= 85.0, F= 4.1997
&RAMP ID = 'VODA_C', T= 90.0, F= 4.2049
&RAMP ID = 'VODA_C', T= 95.0, F= 4.2111
/

&SPEC ID = 'WATER VAPOR'
/

*****
- POVRCHY
*****

&SURF ID = 'VAPNOSLAMA'
MATL_ID(1,1) = 'VC'
MATL_ID(2,1:2) = 'SLAMA', 'VODA'
MATL_ID(3,1) = 'HLINA'
MATL_MASS_FRACTION(2,1:2) = 0.90,0.10
ENISSIVITY = 0.5
COLOR = 'BEIGE'
THICKNESS(1:3) = 0.050,0.4,0.05
/

&SURF ID = 'SLAMA'
MATL_ID(1,1:2) = 'SLAMA', 'VODA'
MATL_MASS_FRACTION(2,1:2) = 0.90,0.10
ENISSIVITY = 0.5
THICKNESS = 'YELLOW'
THICKNESS = 0.400
/

&SURF ID = 'HLINO_SLAMA_TENKA'
MATL_ID(1,1) = 'HLINA'
MATL_ID(2,1:2) = 'SLAMA', 'VODA'
MATL_ID(3,1) = 'VC'
MATL_MASS_FRACTION(2,1:2) = 0.90,0.10
ENISSIVITY = 0.5
COLOR = 'GOLD'
/
    
```




```

*****
- POŽÁR
*****
&SURF ID = 'HRANICEV',
COLOR = 'RED',
HRRPUA = 313.5055,
RAMP_Q = 'HRANICEV_RAMP_Q' /

&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=14.4, F=0.028 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=68.4, F=0.037 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=165.0, F=0.333 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=345.6, F=0.333 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=570.0, F=0.333 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=647.9, F=0.437 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=648.0, F=0.874 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=964.8, F=0.947 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=1090.8, F=1.0 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=1443.0, F=0.904 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=1692.0, F=0.810 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=2000.0, F=0.810 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=2239.2, F=0.254 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=2491.0, F=0.180 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=2966.0, F=0.128 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=3578.4, F=0.042 /

&SURF ID = 'HRANICEV',
COLOR = 'ORANGE',
HRRPUA = 19.59409,
RAMP_Q = 'HRANICEV_RAMP_Q' /

&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=14.4, F=0.166 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=68.4, F=0.225 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=165.0, F=2.000 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=345.6, F=2.000 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=570.0, F=2.000 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=647.9, F=2.622 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=648.0, F=0.874 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=964.8, F=0.947 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=1090.8, F=1.0 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=1443.0, F=0.810 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=1692.0, F=0.810 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=2000.0, F=0.254 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=2239.2, F=0.180 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=2491.0, F=0.128 /
&RAMP ID = 'HRANICEV_RAMP_Q', T=2966.0, F=0.042 /

*****
- LEVÁ MÍSTNOST
*****
&EVENT SURF_ID = 'HRANICEV',
XB = 0.625,1.375,0.500,1.250,0.400,0.400, IOR= 3 / horní plocha

&EVENT SURF_ID = 'HRANICEB',
XB = 0.625,1.375,0.500,0.500,0.000,0.400, IOR= -1 / boční plocha

&EVENT SURF_ID = 'HRANICEB',
XB = 0.625,1.375,1.250,1.250,0.000,0.400, IOR= 1 / boční plocha

&EVENT SURF_ID = 'HRANICEB',
XB = 0.625,0.625,0.500,1.250,0.000,0.400

&EVENT SURF_ID = 'HRANICEB',
XB = 1.375,1.375,0.500,1.250,0.000,0.400, IOR= 2 / boční plocha

&EVENT SURF_ID = 'HRANICEV',
XB = 1.875,2.625,0.500,1.250,0.400,0.400, IOR= 3 / horní plocha

&EVENT SURF_ID = 'HRANICEB',
XB = 1.875,2.625,0.500,0.500,0.000,0.400, IOR= -1 / boční plocha

&EVENT SURF_ID = 'HRANICEB',
XB = 1.875,2.625,1.250,1.250,0.000,0.400, IOR= 1 / boční plocha

&EVENT SURF_ID = 'HRANICEB',
XB = 1.875,1.875,0.500,1.250,0.000,0.400

&EVENT SURF_ID = 'HRANICEB',
XB = 2.625,2.625,0.500,1.250,0.000,0.400, IOR= 2 / boční plocha

&EVENT SURF_ID = 'HRANICEV',
XB = 0.625,1.375,1.625,2.375,0.400,0.400, IOR= 3 / horní plocha

&EVENT SURF_ID = 'HRANICEB',
XB = 0.625,1.375,1.625,1.625,0.000,0.400 / boční plocha

&EVENT SURF_ID = 'HRANICEB',
XB = 0.625,1.375,2.375,2.375,0.000,0.400 / boční plocha

&EVENT SURF_ID = 'HRANICEB',
XB = 0.625,0.625,1.625,2.375,0.000,0.400 / boční plocha

&EVENT SURF_ID = 'HRANICEB',
XB = 1.375,1.375,1.625,2.375,0.000,0.400 / boční plocha

&EVENT SURF_ID = 'HRANICEV',
XB = 1.875,2.625,1.625,2.375,0.400,0.400, IOR= 3 / horní plocha

&EVENT SURF_ID = 'HRANICEB',
XB = 1.875,2.625,1.625,1.625,0.000,0.400 / boční plocha

&EVENT SURF_ID = 'HRANICEB',
XB = 1.875,2.625,2.375,2.375,0.000,0.400 / boční plocha

&EVENT SURF_ID = 'HRANICEB',
XB = 1.875,1.875,1.625,2.375,0.000,0.400 / boční plocha

&EVENT SURF_ID = 'HRANICEB',
XB = 2.625,2.625,1.625,2.375,0.000,0.400 / boční plocha

```




&EVENT	SURF_ID = 'HRANICEV', XB = 0.625,1.375,2.750,3.500,0.400,0.400, IOR= 3	/ horní plocha
&EVENT	SURF_ID = 'HRANICEB', XB = 0.625,1.375,2.750,2.750,0.000,0.400	/ boční plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 0.625,1.375,3.500,0.000,0.400, IOR= 1	/ boční plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 0.625,0.625,2.750,3.500,0.000,0.400	/ boční plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 1.375,1.375,2.750,3.500,0.000,0.400	/ boční plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEV', XB = 1.875,2.625,2.750,3.500,0.400, IOR= 3	/ horní plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 1.875,2.625,2.750,2.750,0.000,0.400	/ boční plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 1.875,2.625,3.500,3.500,0.000,0.400, IOR= 1	/ boční plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 1.875,1.875,2.750,3.500,0.000,0.400	/ boční plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 2.625,2.625,2.750,3.500,0.000,0.400	/ oční plocha
	- PRAVÁ MÍSTNOST	
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEV', XB = 3.500,4.250,0.500,1.250,0.400,0.400, IOR= 3	/ horní plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 3.500,4.250,0.500,0.500,0.000,0.400, IOR= -1	/ boční plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 3.500,4.250,1.250,1.250,0.000,0.400, IOR= 1	/ boční plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 3.500,3.500,0.500,1.250,0.000,0.400	/ boční plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 4.250,4.250,0.500,1.250,0.000,0.400	/ boční plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEV', XB=4.750,5.500,0.500,1.250,0.400,0.400, IOR= 3	/ horní plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 4.750,5.500,0.500,0.500,0.000,0.400, IOR= -1	/ boční plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 4.750,5.500,1.250,1.250,0.000,0.400	/ boční plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 4.750,4.750,0.500,1.250,0.000,0.400	/ boční plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 5.500,5.500,0.500,1.250,0.000,0.400, IOR= 2	/ boční plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEV', XB = 3.500,4.250,1.650,2.375,0.400,0.400, IOR= 3	/ horní plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 3.500,4.250,1.650,1.650,0.000,0.400	/ boční plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 3.500,4.250,2.375,2.375,0.000,0.400	/ boční plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 3.500,3.500,1.650,2.375,0.000,0.400	/ boční plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 4.250,4.250,1.650,2.375,0.000,0.400	/ boční plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEV', XB = 4.750,5.500,1.650,2.375,0.400,0.400, IOR= 3	/ horní plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 4.750,5.500,1.650,1.650,0.000,0.400	/ boční plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 4.750,5.500,2.375,2.375,0.000,0.400	/ boční plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 4.750,4.750,1.650,2.375,0.000,0.400	/ boční plocha
&EVENT	SURF_ID= 'HRANICEB', XB = 5.500,5.500,1.650,2.375,0.000,0.400, IOR= 2	/ boční plocha



```

2.600, 2.600,
SURF_ID = 'TRUBKA',
PERMIT_HOLE = .FALSE. /
&OBST XB = 3.750, 3.750,
-0.120, 0.750,
2.490, 2.600,
SURF_ID = 'TRUBKA',
PERMIT_HOLE = .FALSE. /pravá horní střední trubka
*****
- GEOMETRIE NOSNÉ KONSTRUKCE STŘECHY
*****
&OBST XB = 0.000, 0.06250,
0.000, 4.000,
3.000, 3.200,
SURF_ID = 'DREVO' / první krokev
&OBST XB = 0.5625, 0.625,
0.000, 4.000,
3.000, 3.200,
SURF_ID = 'DREVO' / druga krokev
&OBST XB = 1.125, 1.1875,
0.000, 4.000,
3.000, 3.200,
SURF_ID = 'DREVO' / třetí krokev
&OBST XB = 1.6875, 1.750,
0.000, 4.000,
3.000, 3.200,
SURF_ID = 'DREVO' / čtvrtá krokev
&OBST XB = 2.250, 2.3125,
0.000, 4.000,
3.000, 3.200,
SURF_ID = 'DREVO' / pátá krokev
&OBST XB = 2.750, 2.8125,
0.000, 4.000,
3.000, 3.200,
SURF_ID = 'DREVO' / šestá krokev
&OBST XB = 3.1875, 3.250,
0.000, 4.000,
3.000, 3.200,
SURF_ID = 'DREVO' / sedmá krokev
&OBST XB = 3.6875, 3.750,
0.000, 4.000,
3.000, 3.200,
SURF_ID = 'DREVO' / osmá krokev
&OBST XB = 4.250, 4.3125,
0.000, 4.000,
3.000, 3.200,
SURF_ID = 'DREVO' / devátá krokev
&OBST XB = 4.8125, 4.875,
0.000, 4.000,
3.000, 3.200,
SURF_ID = 'DREVO' / desátá krokev
&OBST XB = 5.375, 5.4375,
0.000, 4.000,
3.000, 3.200,
SURF_ID = 'DREVO' / jedenáctá krokev
&OBST XB = 5.9375, 6.000,
0.000, 4.000,
3.000, 3.200,
SURF_ID = 'DREVO' / dvanáctá krokev
*****
- GEOMETRIE NENOSNÉ KONSTRUKCE STŘECHY
*****
&OBST XB = 0.0625, 0.5625,
0.000, 4.000,
3.000, 3.200,
SURF_ID6 = 'MINERALNIVATA',
'MINERALNIVATA',
'MINERALNIVATA',
'MINERALNIVATA',
'OSB',
'MINERALNIOSB' / vyplň 1 - 2 krokev
&OBST XB = 0.6250, 1.125,
0.000, 4.000,
3.000, 3.200,
SURF_ID6 = 'MINERALNIVATA',
'MINERALNIVATA',
'MINERALNIVATA',
'MINERALNIVATA',
'OSB',
'MINERALNIOSB' / vyplň 2 - 3 krokev
&OBST XB = 1.18750, 1.68750,
0.000, 4.000,
3.000, 3.200,
SURF_ID6 = 'MINERALNIVATA',
'MINERALNIVATA',
'MINERALNIVATA',

```




```

1.500, 2.500,
0.000, 2.000

/ dveře příčka

&HOLE XB = 5.499, 6.001,
1.500, 2.500,
0.000, 2.000

/ pravé dveře

&HOLE XB = 0.750, 0.860,
0.000, 0.500,
0.690, 0.800,

/levý spodní prístup

&HOLE XB = 2.250, 2.360,
0.000, 0.500,
0.690, 0.800,

/levý spodní střední

prístup

&HOLE XB = 0.750, 0.860,
0.000, 0.500,
2.490, 2.600,

/levý horní prístup

&HOLE XB = 2.250, 2.360
0.000, 0.500,
2.490, 2.600,

/levý horní střední

prístup

&HOLE XB = 5.140, 5.250,
0.000, 0.500,
0.690, 0.800,

/pravý spodní prístup

&HOLE XB = 3.640, 3.750,
0.000, 0.500,
0.690, 0.800,

/pravý spodní střední

prístup

&HOLE XB = 5.140, 5.250,
0.000, 0.500,
2.490, 2.600,

/pravý horní prístup

&HOLE XB = 3.640, 3.750,
0.000, 0.500,
2.490, 2.600,

/pravý horní střední

prístup

*****
- VÝPLNĚ OTVORŮ
*****
&OBST XB = 1.249, 2.001,
0.000, 0.125,
0.1.199, 2.401,
'OKNO'

SURF_ID =

```




```

*****
- REAKTANT
*****
&REAC FUEL = 'PROPANE',
SOOT_YIELD = 0.01,
HEAT_OF_COMBUSTION = 46460.0/

*****
- GEOMETRIE HRANICE
*****
&OBST XB = 0.625,1.375,
0.500,1.250,
0.000,0.400,
'ZATIZENI' / levá místnost

&OBST XB = 1.875,2.625,
0.500,1.250,
0.000,0.400,
'ZATIZENI' / levá místnost

&OBST XB = 0.625,1.375,
1.625,2.375,
0.000,0.400,
'ZATIZENI' / levá místnost

&OBST XB = 1.875,2.625,
2.750,3.500,
0.000,0.400,
'ZATIZENI' / levá místnost

&OBST XB = 0.625,1.375,
2.750,3.505,
0.000,0.400,
'ZATIZENI' / levá místnost

&OBST XB = 1.875,2.625,
2.750,3.500,
0.000,0.400,
'ZATIZENI' / levá místnost

&OBST XB = 0.625,1.375,
4.750,5.500,
0.000,0.400,
'ZATIZENI' / pravá místnost

&OBST XB = 1.875,2.625,
4.750,5.500,
0.000,0.400,
'ZATIZENI' / pravá místnost

*****
- MĚŘÍCÍ TECHNIKA
*****
&DEVC XYZ = 0.805, 0.000, 2.625, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'T 1' /
&DEVC XYZ = 0.805, -0.025, 2.600, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'T 2' /
&DEVC XYZ = 0.805, 0.000, 0.825, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'T 3' /
&DEVC XYZ = 0.805, -0.025, 0.800, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'T 4' /
&DEVC XYZ = 2.305, 0.000, 2.625, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'T 5' /
&DEVC XYZ = 2.305, -0.025, 2.600, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'T 6' /
&DEVC XYZ = 2.305, 0.000, 0.825, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'T 7' /
&DEVC XYZ = 2.305, -0.025, 0.800, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'T 8' /
&DEVC XYZ = 3.695, 0.000, 2.625, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'T 9' /
&DEVC XYZ = 3.695, -0.025, 2.600, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'T 10' /
&DEVC XYZ = 3.695, 0.000, 0.825, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'T 11' /
&DEVC XYZ = 3.695, -0.025, 0.800, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'T 12' /
&DEVC XYZ = 5.195, 0.000, 0.825, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'T 13' /
&DEVC XYZ = 5.195, -0.025, 0.800, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'T 14' /
&DEVC XYZ = 5.195, 0.000, 2.625, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'T 15' /
&DEVC XYZ = 5.195, -0.025, 2.600, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'T 16' /

&SLCF XB = 0.805, 0.805,

```




```

QUANTITY
80BST XB = 'TEMPERATURE' /levá horní střední -vnější
= 3.640, 3.750,
0.000, 0.050,
0.690, 0.800,

SURF_ID
COLOR = 'UCPAVKA',
DEV_C_ID = 'BLACK',
PERMIT_HOLE = 'PSS-0',
.FALSE. /

80DEV_C_ID
XYZ = 'PSS-0',
SETPOINT = 3.695,0.000,0.800,
QUANTITY = 150,
= 'TEMPERATURE' /pravá spodní střední -vnější

80BST XB = 3.640, 3.750,
0.000, 0.050,
2.490, 2.600,

SURF_ID
COLOR = 'UCPAVKA',
DEV_C_ID = 'BLACK',
PERMIT_HOLE = 'PHS-0',
.FALSE. /

80DEV_C_ID
XYZ = 'PHS-0',
SETPOINT = 3.695,0.000,2.600,
QUANTITY = 150,
= 'TEMPERATURE' /pravá horní střední -vnější

&TAIL /

```




Příloha 10 - Fotodokumentace průběhu výstavby Slamáčku



obr. 45 Osazení konstrukce spodního věnce



obr. 46 Osazení dveřních zárubní na konstrukci spodního věnce



obr. 47 Vztyčení nosných stěn včetně osazení vrchního věnce



obr. 48 Realizace a zakrytí střešní konstrukce



obr. 49 Realizace první vrstvy omítek



obr. 50 Realizace dalších vrstev omítek



Seznam obrázků

obr. 1 Ukázka rozdělení typického podlaží bytového domu do požárních úseků.....	12
obr. 2 Nejužívanější typy požárních ucpávek pro plastové potrubí.....	13
obr. 3 Příklad mechanické ucpávky při prostupu plastového potrubí požárně dělící k-cí.....	15
obr. 4 Př. chemické požární ucpávky při prostupu plastového potrubí požárně dělící k-cí.....	16
obr. 5 Tři varianty osazení požární ucpávky typu „manžeta“	17
obr. 6 Příklad kotvení/osazení požárních ucpávek.....	19
obr. 7 Příklad umístění termočlánků na prostupu.....	20
obr. 8 Příklad limitní vzdálenosti při prostupu dvou potrubí vedle sebe dle ČSN 73 0810.....	22
obr. 9 Ukázka dozvěnění montážního otvoru.....	23
obr.10 Rozmístění termočlánků dle poloh A a E.....	28
obr. 11 Rozmístění termočlánků na neexponované straně.....	28
obr. 12 Ukázka umístění termočlánků během požárních zkoušek na plastovém potrubí.....	29
obr. 13 Rozdíly v naměřených hodnotách průměrných teplotních nárůstů na neexponované straně prostupu plastové trubky stropní konstrukcí, chráněném manžetou a wrapem.....	31
obr. 14 Schématický řez slaměným objektem postaveným v rámci experimentu.....	32
obr. 15 Pohled na experimentální slaměný objekt „Slamáček“, jižní strana s umístěnými prostupy.....	34
obr. 16 Pohled na prostup z vnější části objektu.....	36
obr. 17 Pohled na prostupy z místnosti.....	36
obr. 18 Schéma rozmístění termočlánků během zkoušky.....	37
obr. 19 Průběh teplot na termočláncích na prostupu C.....	38
obr. 20 Průběh teplot na termočláncích na prostupu D.....	39
obr. 21 Průběh teplot na termočláncích na prostupu E.....	40
obr. 22 Průběh teplot na termočláncích na prostupu F.....	41
obr. 23 Schéma osazení kovové chráničky.....	43



obr. 24 Půdorys experimentálního slaměného objektu s vyznačením modelovaného prostoru ve výpočetním programu FDS.....	45
obr. 25 Zjednodušený výpočetní model.....	46
obr. 26 Schéma rozmístění termočlánků v namodelovaném vzorku.....	46
obr. 27 Průběh teploty na „spouštěcím“ termočlánku.....	47
obr. 28 Porovnání průběhů teplot na termočláncích.....	47
obr. 29 Průběh teploty na vnitřním termočlánku.....	48
obr. 30 Porovnání průběhu teplot na termočláncích.....	49
obr. 31 Ukázka namodelovaného výřezu slaměného objektu Slamáček.....	50
obr. 32 Porovnání průběhu teplot na všech prostupech.....	51
obr. 33 Celkový model slaměného objektu „Slamáček“ v FDS.....	52
obr. 34 Porovnání průběhů teplot na termočláncích na prostupech v levé místnosti slaměného objektu.....	53
obr. 35 Průběh teplot na vnitřních termočláncích na levé straně slaměného objektu.....	55
obr. 36 Porovnání průběhů teplot na termočláncích na prostupech v pravé místnosti slaměného objektu.....	56
obr. 37 Průběh teplot na vnitřních termočláncích na pravé straně slaměného objektu.....	57
obr. 38 Porovnání průměrného nárůstu teplot na neexponované straně prostupu plastové trubky (z materiálu PE-HD) stropem.....	62
obr. 39 Porovnání průměrného nárůstu teplot na neexponované straně prostupu plastové trubky (z materiálu PVC-U) stropem.....	63
obr. 40 Fotografie z velkorozměrového požárního experimentu.....	64
obr. 41 Schéma rozmístění a označení postupů a termočlánků během velkorozměrového požárního experimentu.....	71
obr. 42 Průběh teplot ve zjednodušeném modelovaném prostoru s ucpávkou.....	78
obr. 43 Průběh teplot ve zjednodušeném modelovaném prostoru bez ucpávky.....	82
obr. 44 Teplotní řez zjednodušeným objektem v čase 100 sec.....	89
obr. 45 Osazení konstrukce spodního.....	104
obr. 46 Osazení dveřních zárubní na konstrukci spodního věnce.....	104



obr. 47 Vztyčení nosných stěn včetně osazení vrchního věnce.....	105
obr. 48 Realizace a zakrytí střešní konstrukce.....	105
obr. 49 Realizace první vrstvy omítek.....	106
obr. 50 Realizace dalších vrstev omítek.....	106



Seznam tabulek

tab. 1 Uspořádání konců potrubí dle ČSN EN 13501-2+A1.....	20
tab. 2 Třídy požární odolnosti pro těsnění prostupů.....	20
tab. 3 Rozdíly u prostupů v horní a spodní části slaměného objektu.....	42
tab. 4 Tabulka překročení kritéria izolace.....	44
tab. 5 Rozřazení typů plastových trubek k protipožárnímu těsnění.....	61
tab. 6 Označení jednotlivých prostupů a k nim přiřazených termočlánků.....	71

Literatura

- [1] TOMAN, Stanislav. Protipožární ochrana potrubních prostupů. *Vytápění větrání instalace* [online]. 2004, **2003**(5) [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/2037-protipozarni-ochrana-potrubnich-prostupu>
- [2] KRATOCHVÍL, Václav a Šárka NAVAROVÁ. *Provedení stavebních konstrukcí - prostupy požárně dělicími konstrukcemi* Zdroj: <http://www.tzb-info.cz/3457-provedeni-stavebnich-konstrukci-prostupy-pozarne-delicimi-konstrukcemi>. *Stavebnictví a interiér* [online]. 2006, **2006**(4) [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3457-provedeni-stavebnich-konstrukci-prostupy-pozarne-delicimi-konstrukcemi>
- [3] POKORNÝ, Marek, Petr HEJTMÁNEK a Hana NAJMANOVÁ. *TZB-info / Facility management / Požární bezpečnost staveb / Požární bezpečnost staveb Požární bezpečnost staveb* [online]. 2016 [cit. 2017-06-01]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13648-pozarni-bezpecnost-staveb>
- [4] *Hastex & Haspr s.r.o.* [online]. [cit. 2017-06-01]. Dostupné z: <http://hastex.cz/protipozarni-ucpavky>
- [5] CHOI, K. K. *Fire stops for plastic pipe*. *Fire Technology* [online]. 1987, 23(4), 267-279 [cit. 2017-04-20]. DOI: 10.1007/BF01040584. ISSN 0015-2684. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/BF01040584>
- [6] SEĎLAK, Bartłomiej, Paweł SULIK, Daniel IZYDORCZYK a Marek ŁUKOMSKI. *Fire-stop Wraps and Collars with Intumescent Materials – Performance Comparison*. *Procedia Engineering* [online]. 2017, 172, 961-968 [cit. 2017-04-20]. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.02.113. ISSN 18777058. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705817306197>
- [7] SUN, Zhuo-er a Yang ZHOU. *Discussion on Fire-proof Sealing Technology and Product*. *Procedia Engineering* [online]. 2016, **135**, 644-648 [cit. 2017-04-20]. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.01.131. ISSN 18777058. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705816001351>
- [8] ČSN 73 0810: *Požární bezpečnost staveb – Požadavky na požární odolnost stavebních konstrukcí*. Praha : ÚNMZ, 1996
- [9] ČSN 73 0810: *Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení*. Praha : ÚNMZ, 2004
- [10] ČSN 73 0810: *Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení*. Praha : ÚNMZ, 2009
- [11] ČSN 73 0810: *Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení*. Praha : ÚNMZ, 2016
- [12] ČSN 73 0802: *Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty*. Praha : ÚNMZ, 2009 + Z1:2013 + Z2:2015



-
- [13] ČSN EN 13501-2+A1: *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 2: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti kromě vzduchotechnických zařízení*. Praha : ÚNMZ, 2010
- [14] ČSN 1366-3: *Zkoušení požární odolnosti provozních instalací - Část 3: Těsnění prostupů*. Praha: ÚNMZ, 2009
- [15] ČSN 73 0804: *Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty*. Praha : ÚNMZ, 2010 + Z1:2013 + Z2:2015
- [16] KARLSSON, Björn. a James G. QUINTIERE. *Enclosure fire dynamics*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2000. ISBN 0-8493-1300-7.
- [17] Protecta FR Pipe Wrap Data and Sizes. *FIRESTOP CENTRE: INNOVATIVE FIRESTOP SOLUTIONS* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://www.firestopcentre.co.nz/fire-stop-products/protecta-products/collars-and-wraps/protecta-fr-pipe-wrap/>
- [18] J. SEIDL & spol., s.r.o. *PROTECTA FR PIPE WRAP: Montážní návod*. Praha, 2011