

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb



Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Integrovaná bezpečnost staveb

# **POŽÁRNÍ RIZIKA PROVĚTRÁVANÝCH FASÁDNÍCH SYSTÉMŮ**

**FIRE HAZARDS OF VENTILATED FACADES**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Bc. Richard Saldaňák

vedoucí práce: Ing. Marek Pokorný, Ph.D.

2019



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Saladařák Jméno: Richard Osobní číslo: 423682

Zadávací katedra: Katedra konstrukcí pozemních staveb

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Integrální bezpečnost staveb

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Požární rizika provětrávaných fasádních systémů

Název diplomové práce anglicky: Fire hazards of ventilated facades

Pokyny pro vypracování:

- 1) Stav poznání v daném tématu
- 2) Analýza požárních rizik a rozbor skutečných požárů výškových budov
- 3) Analýza stávajících velkorozměrových zkoušek chování fasád při požáru
- 4) Kritická rešerše stávajících norem požárního kodexu, zejména ČSN 73 0810
- 5) CFD model vzduchové mezery ve větraných fasádních systémech včetně integrace hořlavých výrobků

Seznam doporučené literatury:

- [1] Normy požárního kodexu řady ČSN 73 08 xx a normy související
- [2] WALD, F. a kol. Modelování dynamiky požáru v budovách. Praha: ČVUT v Praze, 2017. ISBN 978-80-01-05633-2.
- [3] SFPE handbook of fire protection engineering. 3rd ed. Bethesda, Md.: Society of Fire Protection Engineers, 2002.
- [4] Fire Dynamics Simulator User's Guide. 6th ed. NIST, Fire Research Division Engineering Laboratory Gaithersburg, Maryland, USA, 2014
- [5] POKORNÝ, M. Požární bezpečnost a rizika větraných fasádních systémů. Konference Požární ochrana staveb 2018. TZB-info.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Marek Pokorný, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 1.10.2018

Termín odevzdání diplomové práce: 6.1.2019

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 nutné 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“.*

1.10.2018

Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta(ky)

# SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Salad'ák Richard

Název diplomové práce: Požární rizika provětrávaných fasádních systémů

Základní část: Požární rizika provětrávaných fasádních systémů podíl: 100 %

Formulace úkolů: 1) Stav poznání v daném tématu

2) Analýza požárních rizik a rozbor skutečných požárů výškových budov

3) Analýza stávajících velkorozměrových zkoušek chování fasád při požáru

4) Kritická rešerše stávajících norem požárního kodexu, zejména ČSN 73 0810

5) CFD model vzduchové mezery ve větraných fasádních systémech včetně integrace hořlavých výrobků

Podpis vedoucího DP: .....

Datum: 1.10.2018

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)

---

# Obsah

<b>Prohlášení</b>	<b>III</b>
<b>Poděkování</b>	<b>IV</b>
<b>Abstrakt</b>	<b>V</b>
<b>Abstract</b>	<b>VI</b>
<b>Seznam použitých symbolů a zkratk</b>	<b>VII</b>
<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>
1.1 Motivace	1
1.2 Cíle	1
1.3 Struktura	2
<b>2 Současný stav poznání</b>	<b>4</b>
2.1 Skladba	4
2.2 Vzduchová dutina	5
2.3 Tepelná izolace	8
2.4 Difúzně otevřená větotěsná vrstva	11
2.5 Obklad	12
2.6 Zkoušky zateplovacích systémů	15
<b>3 Analýza požárních rizik a rozbor skutečných požárů výškových budov</b>	<b>17</b>
3.1 Šíření účinků požáru konstrukcí fasády a rizika spojená s těmito jevy	17
3.2 Rozbor skutečných požárů	19
<b>4 Analýza stávajících velkorozměrových zkoušek chování fasád při požáru</b>	<b>26</b>
4.1 BS 8414-1:2015 a BS 8414-2:2015	26
4.2 Prüfbestimmung für Aussenwandbekleidungs-systeme	27
4.3 Lepir 2	28
4.4 MSZ 14800-6:2009	28
4.5 ÖNORM B 3800-5	29
4.6 ISO 13785-2	30
4.7 Technical regulation A 2.2.1.5	31
4.8 Engineering guidance 16	31
4.9 SP Fire 105	31
4.10 Vývoj jednotné evropské metodiky	32
<b>5 Kritická rešerše stávajících norem požárního kodexu</b>	<b>36</b>
5.1 Kontaktní spojení tepelné izolace s povrchem konstrukce	36
5.2 ČSN 73 0810	36
5.3 ČSN 73 0802, ČSN 73 0804	37
5.4 Zhodnocení možného využití provětrávaných fasádních systémů dle legislativních požadavků	38
5.5 Možnosti zamezení šíření požáru větranou dutinou	40
<b>6 CFD model účinku požáru ve větraném fasádním systému</b>	<b>41</b>
6.1 Referenční scénář	41
6.2 Model s hořlavým obkladem	49

---

6.3	Porovnání modelovaných případů .....	56
<b>7</b>	<b>Požární zkouška provětrávaného fasádního systému včetně porovnání s CFD modelem .....</b>	<b>59</b>
7.1	Konstrukce testovaného vzorku .....	59
7.2	Měřené veličiny.....	61
7.3	Diskuze získaných výsledků včetně porovnání s CFD modelem .....	62
7.4	Vyhodnocení .....	74
7.5	Možná kritéria pro hodnocení budoucích zkoušek .....	75
<b>8</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>76</b>
	<b>Příloha 1 – Zdrojový kód referenčního scénáře zadávaný do programu Pyrosim.....</b>	<b>78</b>
	<b>Příloha 2 – Zdrojový kód fasádního vzorku s dřevěnou deskou zadávaný do programu PyroSim.....</b>	<b>82</b>
	<b>Příloha 3 – Křivka uvolňování tepla pro dřevěnou desku zadávaná do programu PyroSim .</b> .....	<b>86</b>
	<b>Příloha 4 – Fotodokumentace z průběhu sestavování podkladní konstrukce fasádních vzorků .....</b>	<b>87</b>
	<b>Příloha 5 – Fotodokumentace z průběhu zkoušky fasády s kompozitním panelem.....</b>	<b>89</b>
	<b>Příloha 6 – Fotodokumentace z průběhu zkoušky fasády s OSB deskou.....</b>	<b>90</b>
	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>91</b>
	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>96</b>
	<b>Literatura .....</b>	<b>97</b>

---

## Prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Požární rizika provětrávaných fasádních systémů“ vypracoval samostatně pod odborným vedením Ing. Marka Pokorného, Ph.D. a veškeré informace jsem čerpal pouze z uvedené literatury. Pokud není uvedeno jinak, jsem autorem všech obrázků, schémat a grafů. Dále prohlašuji, že 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 6. 1. 2019

.....  
Bc. Richard Saldařák

---

## Poděkování

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Markovi Pokornému, Ph.D. za jeho rady, odborné konzultace při vedení této diplomové práce a jeho pomoc s realizací požární zkoušky. Také děkuji společnosti Ruukki CZ, s.r.o., jmenovitě panu Martinovi Valešovi, za dodání komponent a montáž vzorků pro požární zkoušku, poděkování též patří společnosti AVMI za finanční podporu. Tato diplomová práce vznikla s podporu požární laboratoře Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT v Praze, v jehož prostorách proběhly požární zkoušky, a tímto děkuji vedení za umožnění realizace provedených testů.

.....  
Bc. Richard Salad'ák

---

## Abstrakt

Fasády tvoří dominantní prvky budov z estetického hlediska. Pro tyto účely se často používají obkladové materiály z přírodních i umělých materiálů. Mezi obkladem a tepelnou izolací je vytvářena větraná mezera. Tento systém vyžaduje velkou míru pozornosti při návrhu vnitřního prostředí budovy. Nicméně s takovou konstrukcí jsou spojena rizika v oblasti požární bezpečnosti. Úvod práce shrnuje současný stav v oblasti znalosti šíření vzduchu stavebními dutinami a shrnuje používané materiály v oblasti dvouplášťových fasád. Následující část se zabývá požárními riziky větraných fasádních systémů a uvádí příklady skutečných požárů výškových budov a jejich specifika. Zkoušení fasádních systémů ve velkém měřítku a aktuálnímu vývoji evropské metodiky pro zkušební testy je vyčleněna další kapitola této práce. Poslední kapitola teoretické části rozebírá stávající normy českého požárního kodexu. Další část je věnována simulaci matematickému modelu, respektive požárnímu vzorku fasády s větranou dutinou se dvěma různými obkladovými materiály, které se liší svou reakcí na oheň. Prvním modelem je vzorek fasády s výhradně nehořlavými prvky a druhým modelem je stejný vzorek s obkladem z hořlavého deskového materiálu na bázi dřeva. Na obou modelech jsou sledovány teploty plynů v dutině a před obkladem, rychlost proudění horkých plynů v dutině, povrchové teploty obkladu a tlakové poměry v dutině. Tyto dva modely jsou porovnány s požární zkouškou, která zahrnovala vzorky odpovídající modelovaným scénářům. Požární zkoušce byl též podroben vzorek větrané fasády s obkladem z kompozitních sendvičových desek. Tyto hořlavé desky byly typu „bond“ s retardovaným polymerním jádrem. Výsledky modelu a požární zkoušky jsou porovnány a podrobeny diskuzi.

### **Klíčová slova**

Provětrávaná fasáda; dutina; požár; plamen; obklad; tepelná izolace; teplota plynů; rychlost proudění; povrchová teplota; tlak; minerální vata; kompozit; bond; Alucobond; CFD; FDS



---

## Abstract

Facades form dominant elements of buildings from an aesthetic point of view, for these purposes are often used cladding materials made on a natural and artificial base. Between a cladding and thermal insulation is a ventilated gap, which requires a great deal of attention for interior design of buildings. However, such a construction involves risks in the field of fire safety. The introduction of the article summarizes the current state of knowledge of an air distribution through building cavities and summarizes materials used in a field of double-skinned facades. The following section deals with the fire risks of ventilated façade systems and gives examples of real fires of high-rise buildings and their specifics. Examining the facade systems on a large scale and the current development of the European Testing Methodology is set out in the next chapter of this thesis. The last chapter of the theoretical parts analyzes the existing standards of the Czech Fire Code. The next part is devoted to the simulation of a mathematical model, respectively a fire sample of a ventilated cavity facade with two different cladding materials that differ in reaction to fire. The first model is a façade with non-flammable elements only, and the other is the same sample with a flammable wood-based cladding. Both models monitor gas temperatures in the cavity and before cladding, the flow rate of hot gases in the cavity, the surface temperature of the cladding and the cavity pressure changes. These two models are compared with a fire test that included samples corresponding to the model scenarios. The fire test was also subjected to a sample of a ventilate façade with a composite sandwich panel cladding. These combustible plates were of a “bond” type with a retarded polymer core. The results of the model and the fire tests are compared and discussed.

### Keywords

Ventilated façade; Cavity; Fire; Flame; Cladding; Thermal insulation; Gas temperature; Flow velocity; Surface temperature; Pressure; Mineral wool; Composite; Bond; Alucobond; CFD; FDS

---

## Seznam použitých symbolů a zkratek

### Latinské symboly

$c_d$	Měrná tepelná kapacita	J/(kg·K)
$d$	Tloušťka materiálu	m
$T_i$	Teplota vzplanutí	°C
$\Delta H_c$	Výhřevnost	kJ/kg

### Řecké symboly

$\lambda$	Součinitel tepelné vodivosti	W/(m·K)
$\rho$	Objemová hmotnost	kg/m <sup>3</sup>
$\varepsilon$	Emisivita	-

### Zkratky

ČSN	Česká technická norma
ČR	Česká republika
EU	Evropská unie
PUR	Polyuretan
PIR	Polyisokyanurát
EPS	Expandovaný polystyren
XPS	Extrudovaný polystyren
MW	Minerální vlákno
PVC	Polyvinylchlorid
PMMA	Polymethylmetakrylát
PE	Polyetylen
EPDM	Etylen–propylen–dienový kaučuk
UV	Ultrafialové (záření)
ETICS	External thermal insulation composite system – vnější kontaktní zateplovací systém
CHÚC	Chráněná úniková cesta
NP	Nadzemní podlaží

---

SHZ	Stabilní hasicí zařízení
EPS	Elektrická požární signalizace
VZT	Vzduchotechnika
CFD	Computational Fluid Dynamics
FDS	Fire Dynamics Simulator (software)
ČVUT	České vysoké učení technické
UCEEB	Univerzitní centrum energeticky efektivních budov
AVMI	Asociace výrobců minerální izolace
OSB	Oriented strand board – dřevoštěpková deska s různou orientací vrstev
SDK	Sádrokarton
HRR	Heat release rate – rychlost uvolňování tepla

# 1 Úvod

## 1.1 Motivace

Obvodový plášť tvoří dominantní prostředek v architektonickém výrazu budovy a rozhodující mírou se podílí na tvorbě vnitřního prostředí tím, že chrání budovy před exteriérovými klimatickými vlivy. Dlouhodobou bezporuchovou funkci obvodových plášťů může zabezpečit pouze správný návrh, důsledná realizace a vhodná údržba [1].

Jedním z druhů obvodových plášťů jsou fasádní systémy s provětrávanou vzduchovou mezerou, které i navzdory širšímu zastoupení kontaktních zateplovacích systémů mají důležitou pozici na poli výstavby. Jejich výhodou jsou zejména výborné vlhkostní parametry, tudíž jsou vhodné nejen do novostaveb, například vyšších administrativních objektů, ale i při rekonstrukcích budov s vyšší vlhkostí stávajících konstrukcí, kde vzduchová dutina umožňuje snadnější odvětrání vlhkosti. Do správného návrhu obvodové konstrukce patří i zhodnocení rizik v oblasti požární problematiky, jednak fasády samotné, tak i jejího vlivu na celou budovu. Stav poznání v oblasti provětrávaných fasádních systémů není dostatečně řešen, a to především s ohledem na novodobé materiály (zejména kompozitní). Též česká legislativa v oblasti požární bezpečnosti uvádí jen minimum požadavků.

## 1.2 Cíle

Hlavní cíle pro diplomovou práci lze shrnout do následujících bodů:

- 1) Současný stav poznání obecných principů dvouplášťových fasádních systémů, používaných materiálů a pohled na již provedené experimenty chování požáru ve stavebních dutinách.
- 2) Představení požárních rizik fasádních systémů zejména s ohledem na šíření účinků požáru obvodovým pláštěm. Rozbor požárů výškových budov a jejich specifik, především požáru budovy Grenfell Tower v Londýně, který nastal v roce 2017.
- 3) Analýza stávajících velkorozměrových zkoušek chování fasád při požáru, které jsou používány v evropských státech, a podat informace o evropském projektu zabývajícím se sjednocením metodiky zkoušení fasádních systémů.
- 4) Kritická rešerše stávajících norem českého požárního kodexu s ohledem na požadavky kladené na provětrávané fasádní systémy a podrobit diskusi možné materiály, které lze do zmíněné konstrukce použít.
- 5) Sestavení CFD modelu účinků požáru ve větrané dutině fasádního systému, do kterého jsou zahrnuty hořlavé prvky a porovnání s experimentálním fasádním vzorkem. Upozornění na jevy, které mohou vznikat při požární situaci větrané fasády.

## 1.3 Struktura

Diplomová práce je rozdělena do osmi kapitol a doplněna šesti tematickými přílohami.

„**Kapitola 1: Úvod**“ objasňuje, jaká byla motivace pro tuto diplomovou práci a důvod zvolení právě tématu požárních rizik v oblasti provětrávaných fasádních systémů. Dále je zde uvedeno, jaké cíle si tato práce stanovila a jak je strukturována do jednotlivých logických celků.

„**Kapitola 2: Současný stav poznání**“ zahrnuje obecné principy větraných fasád a uvádí již provedené požární zkoušky ve stavebních dutinách. Dále je věnován prostor popisu materiálům a výrobkům, které se používají v konstrukcích větraných fasád, a popisu požárních zkoušek dle velikosti zkoušených vzorků používaných v České republice.

„**Kapitola 3: Analýza požárních rizik a rozbor skutečných požárů výškových budov**“ ve své první části upozorňuje na problematiku šíření účinků požáru pomocí konstrukce fasádního obvodového pláště a shrnuje související požární rizika zejména v návaznosti na požár budovy Grenfell Tower v Londýně. Druhá část se věnuje rozboru nejen zmíněného požáru, ale též i dalším výškovým budovám a poukazuje na specifika daných požárních situací.

„**Kapitola 4: Analýza stávajících velkorozměrových zkoušek chování fasád při požáru**“ popisuje stávající zkoušky velkého rozměru, které se používají v evropských státech a je poukázáno na jejich odlišnosti. Kapitola se dále věnuje evropskému projektu pojednávajícím o sjednocení metodiky zkoušení fasádních systémů a popisuje projektem navrhované řešení.

„**Kapitola 5: Kritická rešerše stávajících norem požárního kodexu**“ poskytuje pohled na nesystematičnost v řešení požární bezpečnosti provětrávaných fasádních systémů, zejména v normě ČSN 73 0810. Jsou zde uvedeny požadavky na materiály, které lze do větraných fasád použít, při různých požárních výškách objektů. Kapitola též uvádí příklady skladeb fasádních obvodových plášťů, které jsou v souladu se zásadami stávajících norem požárního kodexu.

„**Kapitola 6: CFD model účinku požáru ve vzduchové mezeře**“ pojednává o matematickém modelu větrané fasády při požární situaci. Model je zasazen do prostředí vycházejícího ze zkoušky středního rozměru dle ČSN ISO 13785-1, avšak v upravených rozměrech. Model je zpracován ve dvou variantách, které se liší třídou reakce na oheň obkladového materiálu. První model, nazvaný referenční scénář, obsahuje tepelnou izolaci z minerálních vláken, kovový rošt obkladu a je opláštěn ocelovým plechem. Druhý model je totožný s předchozím, pouze pro obklad byla zvolena hořlavá dřevěná deska. Sledovanými parametry v obou případech jsou teploty plynů ve větrané dutině a před vzorkem, rychlost proudění horkých plynů a tlakové změny v dutině, povrchové teploty obkladu a sálavá složka tepelného toku nad vzorkem. Průběhy měřených veličin jsou popsány a porovnány.

„**Kapitola 7: Požární zkouška provětrávaného fasádního systému**“ se věnuje zkoušce, která proběhla v požární laboratoři UCEEB ČVUT v Praze. Zkouška svým charakterem kopírovala matematický model z předchozí kapitoly, navíc byla doplněna o třetí variantu s obkladem v podobě kompozitní sendvičové desky typu „bond“. Při zkouškách byly měřeny

veličiny shodné s modelem a též bylo sledováno chování požáru na vzorkách větrané fasády. Podobně jako v modelu, zkoušky poukázaly na důležitou oblast v konstrukci fasádního pláště, a tou je větraná dutina pod obkladem. V ní se hromadily horké plyny a pomocí komínového efektu se velkou rychlostí šířily směrem vzhůru, což by v případě požáru skutečné budovy mohlo zapříčinit rychlé přenesení účinku požáru po velké části fasády. Dalším neméně důležitým poznatkem bylo odpadávání malých hořících kapek z kompozitního panelu, které by mohlo způsobovat značné riziko pro zasahující či unikající osoby u skutečných požárů. Měřené veličiny jsou porovnány s matematickým modelem, podrobeny diskuzi a vyhodnoceny.

**„Kapitola 8: Závěr“** shrnuje podstatné poznatky z jednotlivých kapitol teoretické části této práce, především v ohledu na požární rizika související s požárem výškové budovy Grenfell Tower v Londýně. Též klade důraz na důležité aspekty v oblasti norem českého požárního kodexu. Kapitola dále poskytuje popis důležitých jevů, které byly zjištěny při požární zkoušce, respektive při simulaci matematického modelu.

**„Přílohy 1 a 2“** obsahují zdrojové kódy, které byly použity pro simulaci matematických CFD modelů. **„Příloha 3“** uvádí rychlost uvolňování tepla pro desku z borovicového dřeva, která byla použita pro matematický model provětrávané fasády s hořlavým obkladem. **„Přílohy 4, 5 a 6“** obsahují fotodokumentaci z přípravy fasádních vzorků pro požární zkoušku a průběh zkoušky u vzorků s hořlavým obkladem.

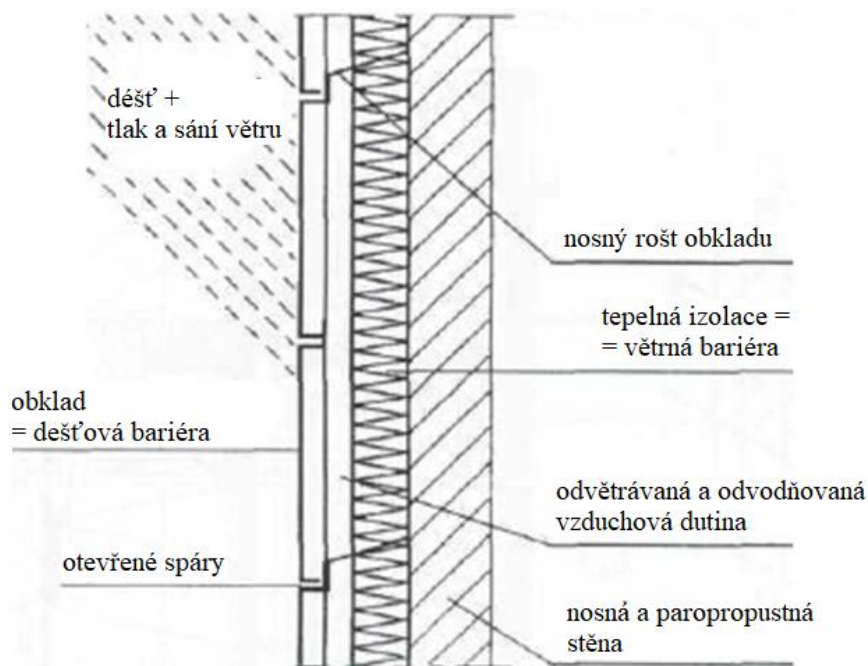
## 2 Současný stav poznání

Fasádní zateplovací systémy lze z hlediska konstrukce rozdělit do 2 kategorií – kontaktní zateplovací systémy a nekontaktní systémy s provětrávanou mezerou. Typickým znakem kontaktních systémů je celoplošné spojení tepelněizolačního materiálu s podkladem pomocí lepidla a pružnou pohledovou fasádní omítkou. U nekontaktních systémů je tepelná izolace k podkladu mechanicky kotvena nebo je vkládána do roštu, který slouží jako nosný prvek pro obkladovou část a prostor mezi tepelnou izolací a pohledovým prvkem je provětráván. Větrané fasádní systémy lze z konstrukčně statického hlediska na nosné, samonosné a nenosné výplňové [1].

Provětrávané fasádní systémy přináší několik výhod, a to zejména z hlediska tepelně technických vlastností. Bylo provedeno několik studií, které se zabývaly chováním a vlivem dvouplášťových fasádních systémů na energetické bilance, a to jak během vytápění, tak i během chlazení. Bylo zjištěno, že větrané dutiny mohou mít příznivou funkci pro správné odvětrání vnitřních prostor a zároveň mohou zvýšit teplotní komfort. Avšak navzdory pozitivním účinkům těchto systémů se vyskytují určité obavy ohledně jejich použití, jakými jsou náklady na konstrukci, přenos zvuku vzduchovou dutinou či požadavky požárních předpisů [2].

### 2.1 Skladba

Provětrávaná fasáda je vícevrstvý systém, ve kterém je ochranná protidešťová vrstva (vnější plášť) oddělená od ochranné protivětrné vrstvy (vnitřní plášť) větraným meziprostorem. Mezery jsou vytvořeny takovým způsobem, že většina náporové dešťové vody steče po vnějším povrchu obkladu.



obr. 1 Konstrukční princip provětrávané fasády [1]

Malé množství vody se však může v důsledku povrchového napětí, kapilárních účinků a rozdílů tlaku vzduchu způsobeným větrem dostat do větrané dutiny. Tato penetrace se neprojevuje jako problém, když může voda vniknutá do otvorů rychle odtéct otvory ve spodní části pláště a když odvětrání odstraní přebytečnou vlhkost. Po skončení působení náporového deště se tím meziprostor zcela vysuší [1]. Na obr. 1 je zobrazen základní princip provětrávané fasády s popisem jednotlivých prvků větrané fasády uvedených v předchozím odstavci. Pro upevnění kazet je potřeba pomocná konstrukce (rošt), která je vytvořena zpravidla z vertikálně probíhajících vyhlazených pásů hliníkových profilů. V zobrazené fasádě se předpokládají vertikální i horizontální předěly (obklad je tvořen jednotlivými dílci, jedná se o spáry mezi nimi). Těmito předěly se vytvářejí ve větrané dutině ohraničené a definované zóny, které umožňují rychlé vyrovnání rozdílů tlaku vzduchu mezi exteriérem a větranou dutinou způsobených větrem. Účel vyrovnávání tlaku spočívá ve snižování přechodu kapek vody od účinku náporového větru přes mezery do dutiny [1].

## 2.2 Vzduchová dutina

### 2.2.1 Princip

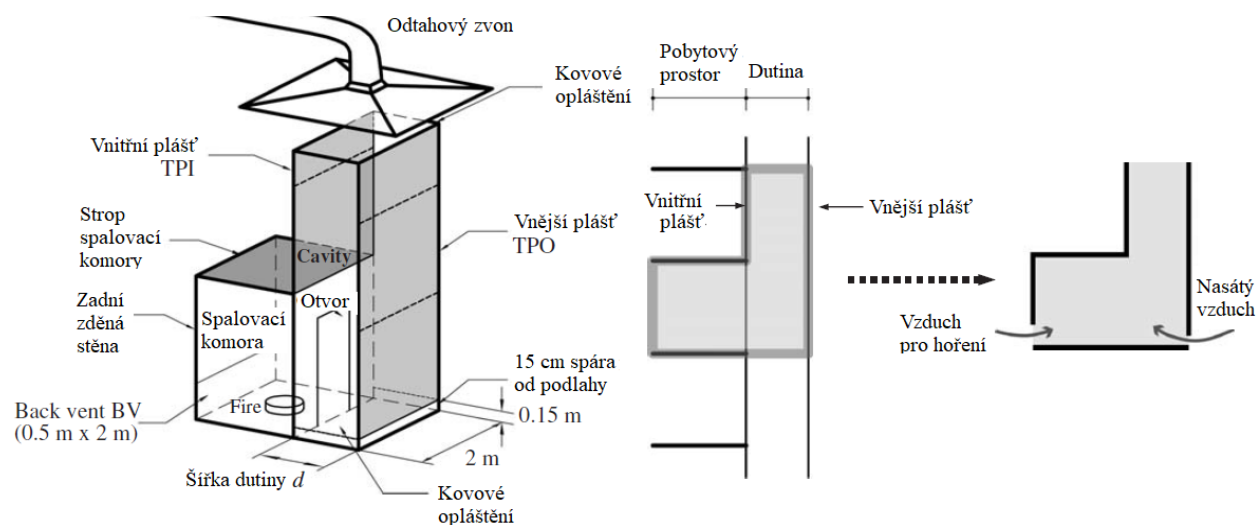
Klíčovým elementem pro zajištění funkčnosti větrané fasády je vzduchová dutina. Dosahuje šířky minimálně 20 mm, obvykle však 40–60 mm a primárně slouží k odvádění vlhkosti a kondenzující vodní páry, snižování tepelných zisků a tím i zmenšování teplotního gradientu, který způsobuje zatížení nosné konstrukce budovy vynuceným přetvořením vlivu teploty. Ukončení systému na spodní hraně se řeší pomocí perforované lišty, která má větrací funkci a současně zamezuje vnikání hmyzu, ptáků a hlodavců do dutiny. Důležité je posouzení potřeby osazení příčných překážek do dutiny zabraňujícím nadměrné tvorbě komínového efektu [1]. Právě toto proudění významně přispívá k vertikálnímu šíření účinků požáru dutinou (plamene, tepla, zplodin hoření, atd.) v případě požáru.

### 2.2.2 Provedené testy na celoskleněných fasádách se širokou větranou dutinou

Kolem roku 2005 již byly sledovány účinky vzduchové dutiny na dvouplášťových celoskleněných fasádách. Tento způsob provedení fasád byl od roku 1980 populární u staveb na dálném východě z estetických i environmentálních důvodů. Hlavním důvodem však bylo snížení tepelných zisků, čemuž měla dopomáhat především navržená dutina ve dvouplášťovém zasklení. Nicméně takovéto řešení přináší rizika z hlediska požární bezpečnosti a mnoho navržených staveb v tomto směru není vyhovujících. Pro hodnocení těchto fasád byl využit požárně inženýrský přístup, kdy byly provedeny experimenty na 4 různých modelech, každý z nich zahrnoval místnost se zdrojem hoření a na to navázanou dvouplášťovou skleněnou fasádu (obr. 2). Sledovanými parametry byly teploty povrchů a tepelný tok, vizuálně bylo možné sledovat praskliny na skleněných tabulích a jejich případné kolapsy a v neposlední řadě byl pozorován pohyb kouře [3].



Klíčovým faktorem pro pohyb kouře byla šíře dutiny (šíře dutiny dosahovala na prvním modelu 1,5 m, další model měl dutinu 1 m širokou a poslední měl dutinu šíře 0,5 m.). Hlavními zdroji pohybu kouře v dutině byl vztlak horkého kouře a komínový efekt. Jako významné hledisko se ukázalo odpadávání kusů skla, které by mohly ohrožovat osoby pohybující se v okolí objektu (evakuované osoby, záchranné složky), jako první vždy došlo ke kolapsu na vnější plášti. Z hlediska porušení byla nejhorší varianta s nejužší dutinou (0,5 m), kdy k porušení skla a prvnímu odpadnutí prasklého kusu fasády došlo již po 1 minutě a 45 sekundách po začátku zkoušky. Jako nejvhodnější se ukázala varianta s nejširší dutinou (1,5 m), kdy ke kolapsu vnější pláště došlo po 3 minutách a 25 sekundách, ve všech variantách se lokální praskliny objevily již před kolapsem. Nicméně tato varianta je prostorově nejnáročnější, dochází ke snižování podlahových ploch v objektu a v ČR se prakticky nepoužívá [3].



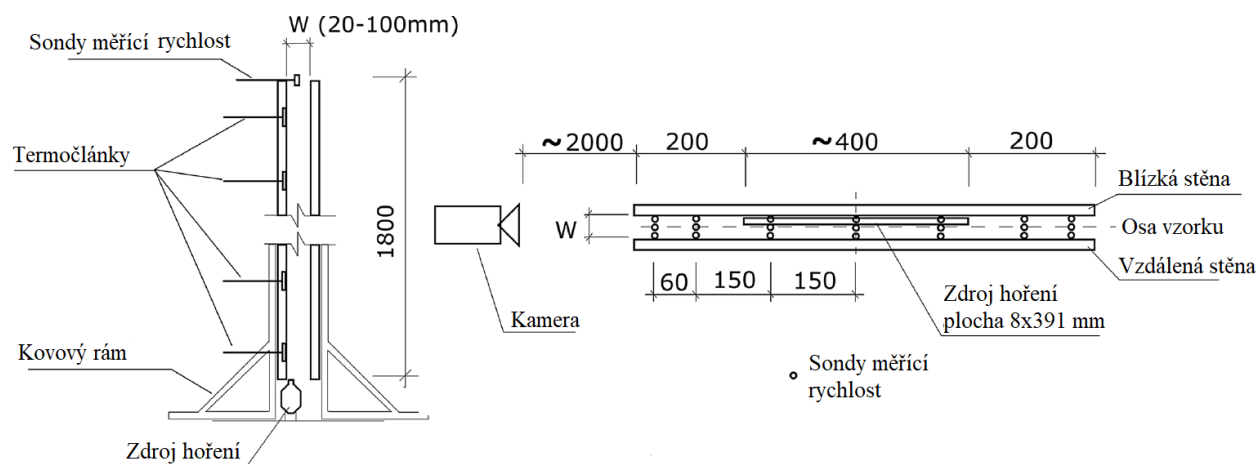
obr. 2 Schéma zkoušeného modelu vlevo; na pravé straně schématické zasazení do budovy [3]

### 2.2.3 Chování požáru v úzké stavební dutině

V roce 2017 byl proveden experimentální program za účelem zkoumání vlivu šířky stavební dutiny při požáru. Účelem programu [4] bylo obecné chování požáru v takovémto prostředí a sledována byla výška plamene, tepelný tok směrem vzhůru a dopadající teplo k vnitřním povrchům dutiny.

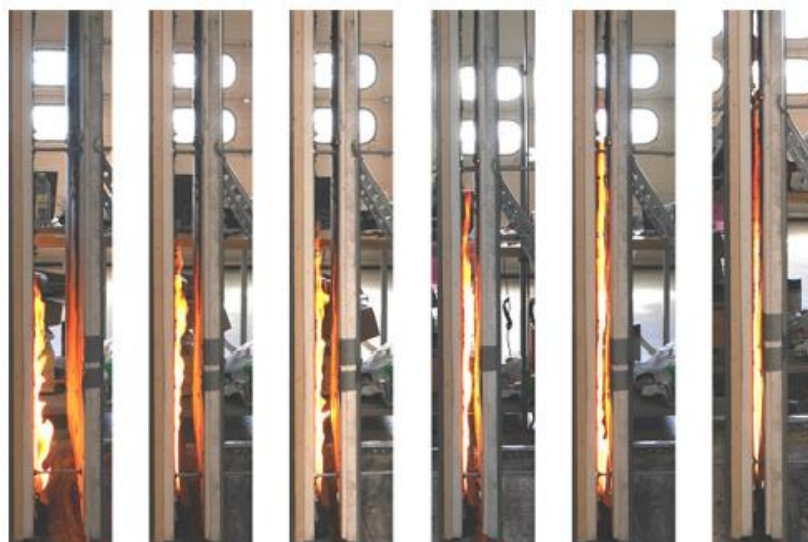
Jednalo se o několik sérií experimentů, ve kterých se měnily okrajové podmínky. Základní konfigurace na obr. 3 se skládala ze dvou nehořlavých vápenosilikátových desek tl. 20 mm, jejichž povrchy směrem do dutiny byly opatřeny vrstvou keramické izolace tl. 2 mm. Desky měly šíři 0,8 m, výšku 1,8 m a byly upevněny na kovové podpůrné konstrukci. Mezi deskami byl umístěn propanový hořák o délce 391 mm, šířce 8 mm a přiléhal těsně k vnitřnímu povrchu jedné z desek. Množství uvolněného tepla bylo nastaveno v rozmezí od 16,5 kW do 40,4 kW na metr délky hořáku. Vzájemná vzdálenost desek od sebe napříč sériemi byla proměnná (20, 30, 40, 50, 60 a 100 mm) a byl sledován její vliv na měřené veličiny. Taktéž byla zařazena varianta pouze s jednou deskou, která těsně přiléhala k hořáku. Použité termočlánky pro tuto studii byly typu

K a umístily se do vyvrtaných kruhových děr v desce přilehlé k hořáku do pěti sloupců po devíti kusech. Vertikální měření rychlosti bylo zaznamenáváno pomocí sond umístěných nad zkušební sestavou [4].



obr. 3 Základní sestava experimentu, boční pohled vlevo a pohled shora vpravo [4]

Uspořádání experimentu umožnilo obsáhnout celý plamen mezi deskami, plameny se nedostávaly ven po stranách. S dutinou šířky 40 mm a vyšší plameny nevyplňovaly celou šíři dutiny, namáhána byla zejména strana přilehlá ke zdroji (obr. 4). Naopak výška plamene příliš nezávisela na tepelném výkonu zdroje, pouze v konfiguraci s vysokým výkonem a úzkou dutinou došlo ke zvýšení plamene 2,2krát. Největší výšky plamene ve všech sestavách dosahovaly uprostřed vzhledem k poloze zdroje [4].



obr. 4 Fotografie z průběhu testování, proměnná šíře dutiny zleva: 100 mm; 60 mm; 50 mm; 40 mm; 30 mm a 20 mm [4]

Rychlost výtoku horkých plynů měla ve všech sestavách stejný průběh, po počátečním rychlém nárůstu se již výrazně neměnila po dobu simulace (3 minuty). Rychlost plynů se však měnila po vodorovném směru vzorku, kdy uprostřed byla nejvyšší a směrem k okrajům se výrazně snižovala [4].

Celkový tepelný tok na vnitřním povrchu desky přilehlé k hořáku byl dopočítáván z hodnot změřených termočlánky a nejvyšších hodnot bylo dosaženo při nižších výkonech zdroje. Nicméně autoři upozorňují na skutečnost, že vzhledem k použitým výpočetním postupům jsou tyto hodnoty aplikovatelné při komparaci s experimentálními výsledky, ale při reálné konstrukci na budově již nikoliv. Toto je způsobeno odchylkami měření samotných termočlánků, rozsahu přesnosti sběru dat, kalibračními testy a přenosy tepla konvekční složkou jsou pouze ve formě předpokladů [4].

Závěrem práce [4] je konstatování skutečnosti, že výsledky studie poskytují data pro validaci modelu a dávají podklad pro pochopení matematických a fyzikálních mechanismů stavební dutiny. Výzkumy týkající se větraných fasádních systémů by měly být orientované na charakter vstupu plynů do dutiny a též jejich simulaci jejich odvodu z toho prostoru [4].

## 2.3 Tepelná izolace

Tepelná izolace je v obecném pojetí nejdůležitější složkou vnější obálky budov, jelikož zajišťuje tepelnou stabilitu vnitřních prostor. Nejpoužívanějšími izolanty jsou expandovaný polystyren a minerální vlákno. Materiálem, který v současnosti zažívá velký rozmach, je polyisokyanuratová pěna (PIR), především díky svým výborným tepelně-technickým vlastnostem. Ostatní materiály, jako je polyuretanová pěna (PUR), extrudovaný polystyren (XPS), fenolická pěna, pěnové sklo, přírodní či recyklované výrobky, kombinace výše uvedených a další, jsou používány řádově méně.

### 2.3.1 Expandovaný polystyren

Jedná se o nejrozšířenější tepelnou izolaci ve stavebnictví, která se vyrábí z drobných kuliček, které se získávají polymerací styrenu. Pro kontaktní zateplovací systémy se standardně používá bílý fasádní polystyren EPS 70 F (obr. 5) s pevností v tlaku 70 kPa nebo EPS 100 F s vyšší pevností i lepšími tepelněizolačními vlastnostmi [5]. Protože se jedná o snadno hořlavý materiál a při spalování uvolňuje nebezpečné plyny, přidává se při výrobě retardér hoření [6].



obr. 5 Vzorek EPS ve skladbě kontaktního zateplovacího systému [7]

tab. 1 Požárně technické vlastnosti EPS [5]

<i>Charakter materiálu</i>	<i>Termoplastická hmota ropného původu</i>
<i>Výhřevnost</i>	<i>39 MJ/kg</i>
<i>Objemová hmotnost</i>	<i>13,5–18,0 kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Teplota měknutí</i>	<i>80–100 °C</i>
<i>Teplota vzplanutí</i>	<i>290–346 °C</i>
<i>Teplota vznícení</i>	<i>350–491 °C</i>

### 2.3.2 Extrudovaný polystyren

Vyrábí se za pomoci tekuté pěny, která je získána zahřátím polystyrenu současně s napěňovací přísadou a aditivy, posléze je zchlazena na výslednou podobu. Mezi velké výhody patří nenasákavost, odolnost vůči tlakům od zeminy a stálost vlastností při teplotách od -150 °C do +70 °C, nevýhodou je neschopnost vzdorovat UV záření. Oproti EPS vykazuje mnohem lepší mechanické vlastnosti a uplatňuje se zejména při zateplování spodní části stavby a soklových oblastí [8].

### 2.3.3 Minerální vlákno

Tepelná izolace z minerálních vláken se dá dělit podle základní suroviny při výrobě na kamenné vlákno a skelné vlákno. Obvyklou surovinou pro výrobu izolantu z kamenných vláken je čedič, který se používá zejména v plochých střeších a kontaktně zateplených fasádách, z důvodu větší pevnosti v tlaku, a jako zvukově izolační materiál. Pro použití ve větraných fasádách se používá též i vlákno skelné, z důvodu snazší manipulace při instalaci.



obr. 6 Vzorek izolantu z kamenných vláken [9]

Fyzikální vlastnosti minerálního vlákna se odvíjí od složení, respektive od množství organického pojiva. Jde o nehořlavý materiál s třídou reakce na oheň A1 (výjimečně A2 pro izolanty s vyšším obsahem pojiva). Důležitou vlastností je bod tání, který se v případě kamenných vláken pohybuje nad hranicí 1000 °C, což je hodnota, kterou nemá žádný jiný izolant

používající se ve fasádních konstrukcích. Při použití ve větraných fasádních konstrukcích se používá skelné vlákno s pevností tlaku přibližně 80 kPa, což je hodnota podobná jako u fasádního expandovaného polystyrenu. Hlavní nevýhodou minerální izolace je cena v porovnání s expandovaným polystyrenem i ostatními tepelnými izolanty [5].

tab. 2 Požárně technické vlastnosti minerálního vlákna [5],[9],[6]

<i>Požárně technické vlastnosti materiálu</i>	<i>Skelné vlákno</i>	<i>Kamenné vlákno</i>
<i>Výhřevnost</i>	<i>0,9 MJ/kg</i>	<i>0,9 MJ/kg</i>
<i>Objemová hmotnost</i>	<i>15–75 kg/m<sup>3</sup></i>	<i>40–200 kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Teplota tání</i>	<i>cca 450 °C</i>	<i>&gt; 1000 °C</i>

### 2.3.4 Polyisokyanurát

PIR je vytvořen chemickou reakcí podobnou při výrobě PUR, ale za použití odlišných aditiv. Na poli tepelných izolantů vykazuje mimořádně tepelně izolační vlastnosti při zachování podobné objemové hmotnosti, jako vykazuje PUR. Mezi plasty navíc vykazuje nejlepší požární vlastnosti, třída reakce na oheň je B. Nicméně tento materiál je poměrně mladý, struktura a jejím úpravám jsou v současnosti věnovány mnohé studie [6]. Nevýhodou v porovnání s EPS nebo PUR je vysoká cena.

### 2.3.5 Fenolická pěna

Vyrábí se ve formě dlouhých tuhých desek, které se řezají na přepravní rozměry. Výroba se uskutečňuje za použití tekuté fenologické směsi mezi netkanými textiliemi na bázi skla či hliníku, které tvoří výsledný povrch desek. Takto vytvořené souvrství se nadále nechá vytvrdit do konečné podoby. Fenolická pěna má výborné tepelně technické vlastnosti a je příznivá z požárního hlediska, vykazuje třídu reakce na oheň C (ve speciálních případech je dokonce klasifikována jako B) [8].

### 2.3.6 Pěnový polyuretan

Existují dva typy, oba založené především na organické bázi. Jedním z typů je měkká deska (molitan) a druhý typ je tvrdý PUR. Výroba probíhá za chemické reakce mezi specifickými alkoholy a izokyanáty a pomocí aktivátorů či nadouvadla dochází k napěnění, při kterém se vytvoří buněčné struktury mající uzavření buňky a suroviny se nalévají do forem nebo se při aplikaci nechají volně vypěnit. PUR má k dispozici velmi dobré vlastnosti v podobě chemické odolnosti, odolnosti proti kyselinám, organickým rozpouštědlům, louchům, olejům, bakteriím, mikroorganismům a plísním. Nežádoucími účinky na PUR jsou ultrafialové záření a povětrnostní vlivy. PUR lze aplikovat nejen ve formě desek, ale i ve stříkané podobě [8]. Nevýhodou, podobně jako u dalších plastů, je třída reakce na oheň E.

### 2.3.7 Pěnové sklo

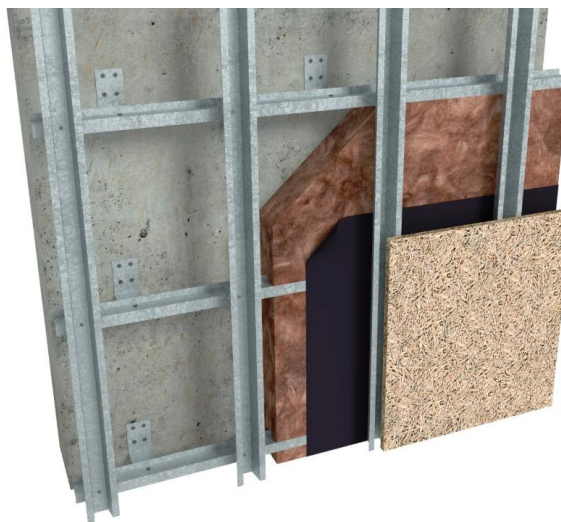
Získává při roztavení skla a následného zpěnění za pomoci přidání uhlíku a při teplotě 1000 °C se zahřeje a namele na prášek, který se po vychladnutí nařeže na transportní desky. Disponuje řadou výhod, mezi které patří vysoká pevnost, nenasákavost, mechanická stabilita, odolnost proti škůdcům a nehořlavost (třída reakce na oheň A1). Neméně velkou výhodou je jeho plná recyklovatelnost, jedná se o ekologický materiál. Značnou nevýhodou, která zabraňuje většímu rozšíření pěnové skla, je vysoká cena [8].

### 2.3.8 Ovčí vlna

Jedná se o zástupce obnovitelných přírodních živočišných materiálů, který se získává z ovčích srstí, a je recyklovatelný. Zvláštní vlastností tohoto materiálu je schopnost absorbovat vzdušnou vlhkost v rozsahu 30 % vlastní hmotnosti, vyniká i výbornými zvukově izolačními schopnostmi. Zasluhou vysokého obsahu oxidu uhličitého patří k těžce hořlavým produktům (třída reakce na oheň E), ale má sklon k biologické degradaci [8].

## 2.4 Difúzně otevřená větrotěsná vrstva

Pro funkčnost a životnost větrané fasády je důležitá difúzně otevřená vrstva na vnější straně izolace, která zajišťuje správný chod souvrství a zabraňuje pronikání vody do tepelné izolace. Paropropustnost této části je důležitá zejména u stávajícího zdiva či dřevostavby, v jejíž konstrukci je zabudovaná vlhkost a difúzně otevřená vrstva umožní odvětrání.



obr. 7 Skladba s černou difúzní fólií se spárovým obkladem [10]

Nejčastěji se jedná o polymerové fólie černé barvy z polypropylenu, a to v případě bezspáreho obkladu, kdy není nutná vysoká mechanická odolnost. V případě obkladů z kazet, či dílců se spárami, se používá robustní netkaná fólie z polyesteru s ochranným nátěrem, která je vysoce odolná proti protržení a ultrafialovému záření (obr. 7). Pro spárově uzavřené zdivo lze použít i desky tepelné izolace, které mají vnější povrch opatřený nakaširovanou ochrannou fólií.

Případně lze od difúzně otevřené fólie zcela upustit, pokud se použije tepelná izolace z plně hydrofobizovaných desek [10].

## 2.5 Obklad

Vnější plášť větraných fasád plní více funkcí současně. Mezi základní požadavky a kritéria kladená na vnější obklady patří esteticko-architektonické, konstrukčně-statické, tepelně-technické, akustické, aerodynamické, hydrodynamické, hygienické a též požadavky z hlediska požární bezpečnosti [1].

Obkladové dílce dosahují široké škály rozměrů, lze se setkat s menšími dílci o rozměrech v řádech desítek centimetrů až jednotek metrů. Na základě těchto rozměrů mají výrobci navržen nosný kovový rošt, který obsahuje prvky o dostatečné dimenzi i vzdálenostech, ale je zároveň úsporně navržený, vzhledem k eliminaci tepelných mostů.

### 2.5.1 Dřevo

Dřevěné obklady patří mezi nejstarší obklady fasád, používá se nejen deskové řezivo nebo fošny, ale též zušlechtěné dřevo (vrstvené lisované, lamelové a další) a aglomerované dřevo (dřevovláknité desky, dřevotřískové desky, sendvičové konstrukce, desky z dřevité vlny a cementu). Estetický vzhled, kvalitu a životnost dřevěných obkladů výrazně ovlivňuje povrchová úprava, dřevo použité pro vnější obklady je nutné chránit před rostlinnými (hniloba) a živočišnými (hmyz) škůdci, před nasáváním vlhkosti a před objemovými změnami. Tuto ochranu zajišťují polyakrylátové a polyuretanové nátěry, případně napuštěním dřeva chemickými roztoky. Z hlediska trvanlivosti je však účinnější impregnace organickými či anorganickými látkami.

Pro vnější obklady jsou nejvýhodnější prvky z tvrdého dřeva (buk, dub, jasan, ořech) s vysokým obsahem živic, jelikož jsou odolnější vůči povětrnostním vlivům, avšak z hlediska dostupnosti se používá i dřevo měkké (smrk, jedle, borovice). Na obklady fasád je velmi vhodné tvrdé exotické dřevo, které se pro svoji vysokou cenu příliš nepoužívá [1]. V poslední době však přišly na český trh obklady, které mají z tropického dřeva pouze povrchy, a vnitřní výplň je z polymerů, cena takovýchto výrobků je mnohem nižší.

### 2.5.2 Keramika

Jedná se o tenkostěnné obkladové prvky vyrobené ze semleté zhomogenizované směsi jílu, písku a tavidla vytvarováním, sušením a pálením. Keramické dílce používané pro fasádní obklady jsou mrazuvzdorné, kyselinovzdorné a nízkou nasákavostí (zpravidla max. 3%) a chrání konstrukci před pronikáním vlhkosti, zabezpečují hygienické parametry a umožňují udržovat povrch v čistém stavu. Dále zvyšují odolnost konstrukce proti povětrnostním vlivům a proti mechanickému opotřebování a vytvářejí příjemné a estetické prostředí. Novodobým stylem obkladu jsou

neglazované slinuté střepy, které se vyznačují v prakticky nulovou hmotnostní nasákavostí, zvýšenou tvrdostí a pevností, chemickou odolností a rozměrovou přesností [1].

### 2.5.3 Kámen

Patří mezi nejstarší stavební materiály, pro svoji vysokou pevnost, nízkou nasákavost, odolnost proti mrazu a trvanlivost se používá dodnes. Kámen má důležitou roli ve fasádních obkladech důležitou roli zejména z architektonického hlediska, dnešní technologie výroby umožňuje uplatnění nových výtvarných a dekorativních záměrů. Na výrobu obkladů z kamene se používají tvrdé horniny (žula, gabra, diority a další), středně tvrdé (vápence, mramory, travertiny) a měkké (pískovce, trachyty).

Hlavním prvkem z estetického hlediska je povrchová úprava, která může mít mnoho podob od lámavých a hrubých ploch, přes plasticky zvýrazněné povrchy až po hladké broušené a leštěné povrchy. Novodobé kamenné obklady sestávají z mramorových nebo granitových plátů (tloušťky cca 5 mm) vzájemně spojený voštinovou výplní. Takovéto dílce jsou lehké na transport a manipulaci, taktéž se dají ohnout a použít na stěny půdorysně zakřivené [1].

### 2.5.4 Kov

Kov se pro fasádní obklady začal používat především na průmyslových budovách, dnes se uplatňuje i na občanských stavbách velkých výšek ve snaze o co největší odlehčení stavby. Mezi výhody patří snadná opracovatelnost a tvarování, vhodné statické vlastnosti, rychlá montáž a demontáž nebo dlouhá životnost, hlavní nevýhodou je vysoké riziko koroze. Pro obklady se používají těžké kovy (ocel, měď, titan-zinek a další), taktéž lehké kovy (hliník a jeho slitiny).

Pro použití na fasádní obklad je podstatná mírná koroze materiálu, avšak zásadní vlastností pro použití kovových dílců na fasádách je ochrana proti korozi, která by byla v přílišném rozsahu. To se zajišťuje kovovými nebo nekovovými, organickými nebo anorganickými povlaky, jedná se o pasivní ochranu proti korozi. Do těchto skupin patří nátěry, které nemají vysokou životnost, pokovení oceli jiným kovem (niklem, zinkem), poplastování, metalíza a další. Druhou variantou je aktivní ochrana proti korozi, která je uskutečněna přidáním příměsí do ocele – legováním. Na obklady se často používá chromoniklová ocel [1].

### 2.5.5 Plast

Pro obklady se používají syntetické polymery, zejména vytvrzený polyvinylchlorid (PVC), polyesterové lamináty zpevněné skelným vláknem (GUP) a polymetylmakrylát (PMMA). Tvrzené PVC má nízkou pevnost v tahu a modul pružnosti, proto se vyztužuje skelnými vlákny, u sklolaminátů je výhodou nízká objemová hmotnost, vysoká pevnost v tahu a velký modul pružnosti. Obecným plusem plastů jako obkladových prvků jsou dobré tepelně izolační vlastnosti, minimální údržba, vysoká životnost, odolnost proti povětrnostním vlivům a dobré možnosti

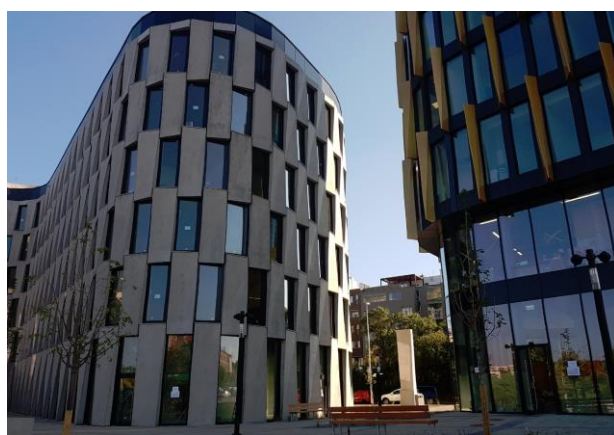


tvárování. Nevýhodou je velká objemová roztažnost při změnách teplot, která se musí zohlednit v konstrukčním řešení fasády a především vysoká hořlavost plastů (třída reakce na oheň E ve většině případů) [1].

Moderním typem obkladu jsou kompozitní sendvičové desky, známé pod pojmem „bond“. Jedná se o dvojici tenkých plechů, mezi kterými je umístěno polymerní jádro, či výplň z minerální izolace. Kompozitní desky s minerálním jádrem bývají zpravidla nehořlavé (třída reakce na oheň A1 nebo A2), pokud jde o desky s polymerním jádrem (často PE), může se třída reakce na oheň pohybovat v rozmezí B–F. Tento rozsah udává míra retardace polymerního jádra desek. Dalším typem obkladu, který se v současné době uplatňuje, jsou desky ze sklolaminátu. Jedná se též o kompozitní materiál, který tvoří skleněná vlákna s vytvrzenou umělou pryskyřicí. Avšak nevýhodou je třída reakce na oheň E. Příklady staveb s obkladem ze zmíněných materiálů jsou na obr. 8.



(a)



(b)

obr. 8 Budovy s obkladem z kompozitních desek: (a) Desky "bond"<sup>1</sup>; (b) Sklolaminátové průhledné desky ve funkci oken na budově AFI Vokovice v Praze

## 2.5.6 Silikát

První skupinou silikátových obkladů jsou dílce na bázi cementu vytvořené jako směs cementu, anorganických nebo organických vláken a vody. Jedna so kvalitní vibrovaný beton, který se při výrobě doplňuje barevnými pigmenty zajišťujícími barevnou stálost. Jednotlivé dílce se lepí k podkladu lepícími maltami a mezi jejich hlavní přednosti patří vysoká paropropustnost. Druhou skupinou jsou obklady ze sklosilikátových dílců, které se vyrábí ze skla a z křemičitého písku technologií sintrování (slnutí částic za vysokých teplot). Jejich výsledný vzhled navozuje dojem broušeného kamene nebo keramiky a velkou výhodou je dlouhá životnost. Poslední skupinou jsou obklady z vyztuženého betonu, jedná se o velkorozměrové dílce s výztuží ve formě ocelových vložek nebo sítí [1].

<sup>1</sup> Zdroj obrázku: <https://cz.prefa.com/katalog-produktu/fasadni-systemy/reynobond/>

## 2.6 Zkoušky zateplovacích systémů

V České republice se fasádní zateplovací systémy testují pomocí zkoušek, které lze rozdělit do tří kategorií, kterými jsou zkoušky malého rozměru, zkouška středního rozměru a zkouška velkého rozměru. Zkoušky malého rozměru (pro stanovení třídy reakce na oheň) jsou celkem 4, zkouška středního a velkého rozměru je jen jedna [5].

### 2.6.1 Zkoušky malého rozměru

Slouží pro určení třídy reakce na oheň (A-F) u výrobků, jež se používají do fasádních systémů či jiných konstrukcí, a doplňkové klasifikace (d0, d1, d2, s1, s2, s3). Každá ze zkoušek slouží pro stanovení některých kategorií, jednotlivé zkoušky se navzájem doplňují. Při zatřídění výrobku do třídy reakce na oheň se neprovádí všechny zkoušky, ale dle předpokládaných vlastností jen zkoušky vybrané pro danou třídu reakce na oheň. Druhy zkoušek a jim náležící třídy reakce na oheň jsou patrné z tab. 3 [5].

tab. 3 Přehled zkoušek pro stanovení tříd reakce na oheň [5]

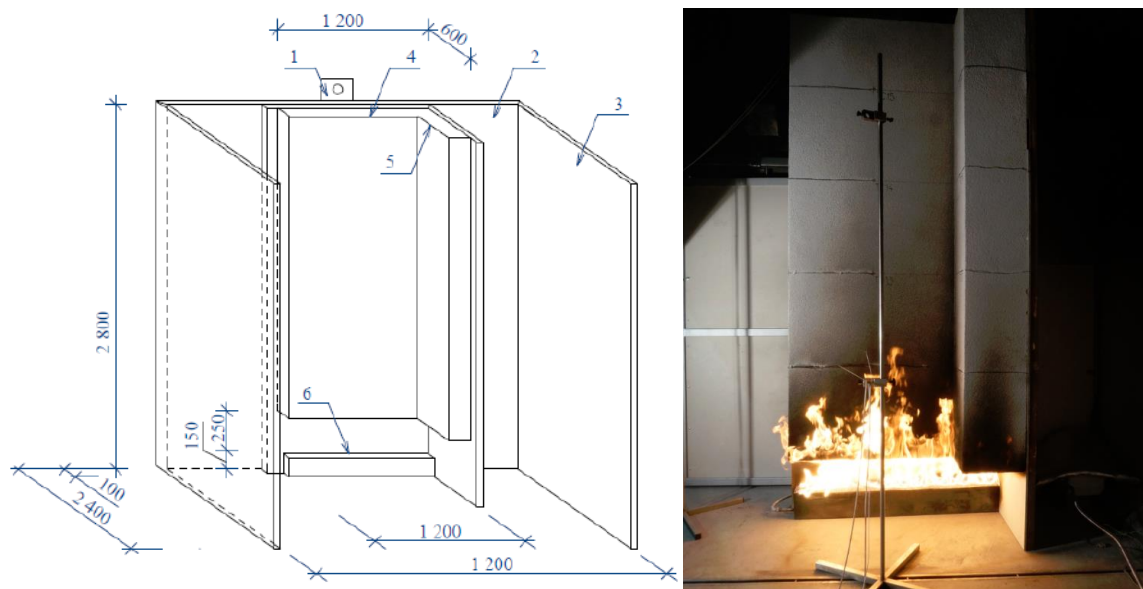
<i>Výrobky</i>	<i>Třída reakce na oheň</i>	<i>Zkouška nehořlavosti</i>	<i>Kalorimetrická zkouška</i>	<i>SBI test</i>	<i>Zkouška malým plamenem</i>
<i>Nehořlavé</i>	<i>A1</i>				
	<i>A2</i>				
<i>Hořlavé</i>	<i>B</i>				
	<i>C</i>				
	<i>D</i>				
	<i>E</i>				
	<i>F</i>	<i>Výrobky netestované nebo nevyhovující ostatním třídám</i>			

### 2.6.2 Zkouška středního rozměru

Tato zkouška dle ČSN ISO 13785-1 [11] se v současnosti používá pro zkoušení kontaktních zateplovacích systémů a ČSN 73 0810 [12] stanovuje kritéria hodnocení podle této zkoušky. Tato zkouška reprezentuje scénář vnitřního požáru působícího přímo na svislých fasádních výrobcích. Vzorek je půdorysného tvaru písmene „L“, 2,4 m vysoký. Hlavní rameno je dlouhé 1,2 m, vedlejší 0,6 m. Výkon hořáku je oproti hodnotám, které lze zaznamenat například při požáru bytu (při plně rozvinutém požáru může výkon dosahovat 5 MW), redukováný na 100 kW. Zdrojem tepla je pískový plynový hořák, zkouška trvá 30 minut.

Česká národní příloha určuje jako jediné kritérium, pokud nedojde k rozšíření plamene (po povrchu nebo vnitřkem tepelné izolace) přes úroveň 0,5 m od spodní hrany vzorku. Číselně: průměrná teplota ze tří termočlánků na povrchu nebo průměrná teplota ze tří termočlánků uvnitř hlavní stěny vzorku ve výšce 0,5 m od dolní hrany zkušební tělesa nepřesáhne hodnoty 350 °C, což odpovídá horní hranici teplotního intervalu pro vzplanutí EPS – cca 290 až 346 °C [13].

Tato zkouška se v současné době používá výhradně pro ETICS a zkouší se hlavně z důvodu zateplení specifických částí objektů. Pokud daná ucelená sestava kontaktního zateplení vyhoví zkoušce středního rozměru dle ČSN ISO 13785-1 [11], nemusí se např. zřizovat požární pás nad soklovou oblastí či nad stavebními otvory (u budov s  $h \neq 0$ m) nebo okolo technologických vyústění a v dalších případech, které udává ČSN 73 0810 [12].



obr. 9 Schéma zkoušky středního rozměru dle ČSN ISO 13785-1[11] a ukázka reálného zkoušení vzorku kontaktně zateplené stěny [5]

### 2.6.3 Zkouška velkého rozměru

Tento typ zkoušky není prozatím zaveden do systému ČSN. Zkušební norma ISO 13785-2 [14] se zabývá zkoušením celé fasády, kdy se plameny dostávají na fasády prostřednictvím oken z místnosti. Rozmístěním a tepelným výkonem se zkouška přibližuje skutečným situacím [5].

Zdroj hoření je umístěn ve zkušební místnosti, ze které se zplodiny a teplo dostávají na fasádu, která má půdorysný tvar písmene „L“. Zkušební místnost při použití propanového hořáku a nádrže s heptanem má půdorys 3 x 4 m a výšku 1,7 m, místnost pro dřevěné hranice je větší s půdorysem 4 x 4 m a výšky 2 m. Jako standardní palivo je v [14] Příloze A předepsán propan ve 4 hořácích, do kterých palivo přitéká podle stanovené křivky, délka zásobování hořáku je 25 minut. Příloha B též normy umožňuje použití nádoby o objemu 60 l s heptanem či acetonem, druhou alternativou k propanu je 16 dřevěných hranic o celkové hmotnosti 400 kg [5].

Během zkoušky se zaznamenává teplota povrchových a vnitřních termočlánků, tepelný tok měřený radiometry a další vizuálně pozorovatelné jevy. V [14] nejsou stanovena kritéria pro hodnocení fasád a ani nejsou stanoveny žádné požadavky pro hodnocení této zkoušky [5].

## 3 Analýza požárních rizik a rozbor skutečných požárů výškových budov

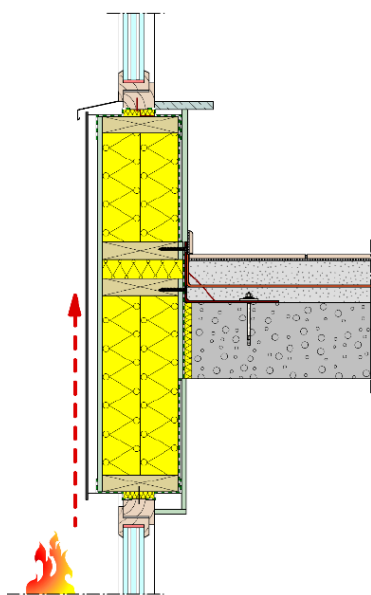
Základní a největší rizika v oblasti fasádních systémů jsou řazeny do 2 skupin. První skupinou je vnitřní požár, kde problematika spočívá u otvorů ve fasádě, a druhou skupinou je vnější požár, který může vzniknout od okolních předmětů [15].

Vnější požár je riziko zejména v oblasti založení fasádního souvrství. Toto místo může být namáháno plameny od vnějšího požáru, který mohl vzniknout od hořících předmětů na ulici, např. kontejner na odpad, keč, auto apod. Následné přeskočení plamene na fasádu může poškodit vnější plášť či dokonce celé souvrství zateplovacího systému, případně může dojít pronikání plamene do větrané dutiny. Vnitřní požár, který vznikne v objektu (např. v bytě), je velice nebezpečný, zejména pokud dojde k celkovému vzplanutí (flashover), tzn. že v bytě začne nekontrolovatelně hořet veškeré hořlavé vybavení [15]. Požár bude dosahovat vysokých teplot a popraskají okenní skleněné výplně, přes které budou plameny prošlehávat do vzduchové dutiny pod obkladem, případně může dojít k zahoření vnějšího pláště [4].

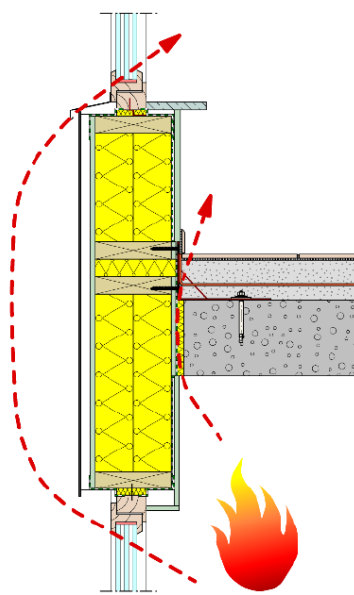
### 3.1 Šíření účinků požáru konstrukcí fasády a rizika spojená s těmito jevy

Pod záštitou Belgian Building Research Institute vznikla zpráva pojednávající o rizicích šíření účinků požáru prostřednictvím fasádního obvodového pláště [16]. Zpráva přináší rozbor požárních rizik dané problematiky a staví je do souvislosti s nedávnými událostmi z roku 2017, kdy došlo k požáru výškové budovy Grenfell Tower v Londýně. Zpráva uvádí, že šíření požáru v konstrukci fasádního systému je velmi rizikový jev, při němž může dojít k velmi rychlému rozšíření požáru do vyšších pater a sousedních požárních úseků. Šíření může probíhat až třemi způsoby:

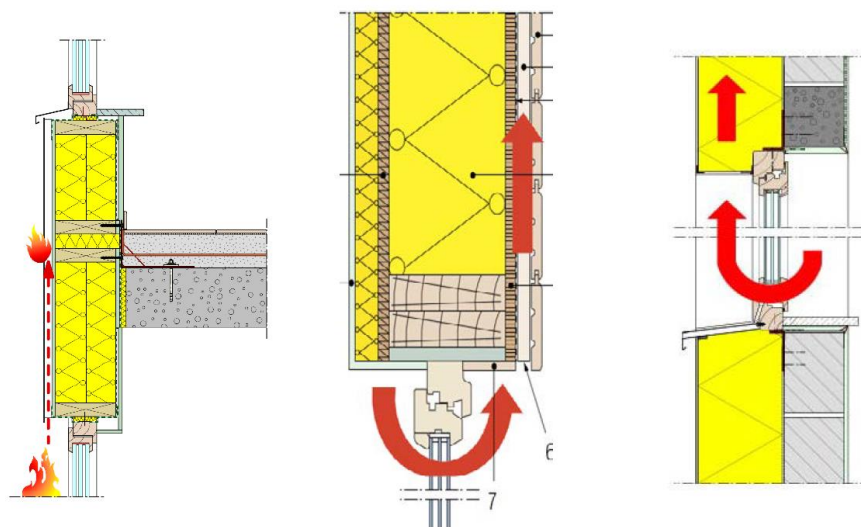
- 1) Pomocí hořlavých obkladových dílců či jejich povrchů, např. dřevěná prkna či plastové kompozitní kazety (obr. 10). K zamezení tohoto přenosu je nutné použít materiály třídy reakce na oheň A1 či A2.
- 2) Rozšíření požáru do vyššího podlaží interiérem přes styk stropu a podlahy s obvodovým pláštěm nebo exteriérem, kdy plameny prochází přes prasknuté okenní výplně a míří do okenních otvorů o patro výše, jak je zobrazeno na obr. 11. Z hlediska zamezení těchto přenosů je nutné zajištění požární odolnosti v rámci styku stropu a podlahy s obvodovým pláštěm (např. z nehořlavé minerální izolace) a předělu z nehořlavých prvků na fasádě.
- 3) Pomocí hořlavých prvků uvnitř fasádní konstrukce (např. hořlavá tepelná izolace, polymerní difúzní fólie atd., obr. 12) a ventilační vzduchové dutiny pod obkladem. Tento způsob se jeví jako velice závažný z hlediska rozšíření požáru i z hlediska času zpozorování požáru, kdy se plameny mohou skrytě pod obkladem šířit po fasádě a pomocí komínového efektu v kombinaci s hořlavými výrobky může docházet k extrémně rychlému šíření [16].



obr. 10 Šíření požáru po povrchu obkladu [16]



obr. 11 Šíření požáru spárou mezi stropem  
s podlahou a fasádním systémem;  
šíření požáru exteriérem [16]



obr. 12 Šíření požáru konstrukcí fasádního systému [16]

S bodem 3 jsou spojená další rizika podporující požár, a která ztěžují represivní zásah či bezpečný únik osob z objektu:

- obkladový materiál je exponován z obou stran – v případě hořlavých materiálů dochází k rychlejšímu šíření plamene;
- hašení požáru v dutině limituje vnější obklad;
- padající části fasádní konstrukce, zejména obkladové dílce – vysoké riziko zejména pro zasahující osoby, často tyto části mohou být hořící;
- žhnutí použitých materiálů a s tím spojené skryté ohnisko požáru – obklad opět limituje možnosti zpozorování vznikajícího nebezpečí;

- detaily – zejména provedení připojovacích spár kolem okenních výplní, tyto styky se stávají důležitými zejména u předsazené montáže oken; spáry by měly být ideálně vzduchotěsné a neměly by umožnit šíření horkých plynů [17].

Speciálním příkladem šíření účinků požáru konstrukcí fasády je komínový efekt vzniklý špatným provedením fasádního systému. Pokud dojde ke špatnému technologickému postupu při lepení desek tepelného izolantu k podkladu pouze bodově (na „bucht“), bez lepidla na obvodu desek, tak se může plamen dostat trhlinou (např. v nadpraží otvoru při vnitřním požáru) dovnitř ETICS pod tepelnou izolaci a v místech bez lepidla se plameny rozšíří vzniklou dutinou (obr. 13) [15].

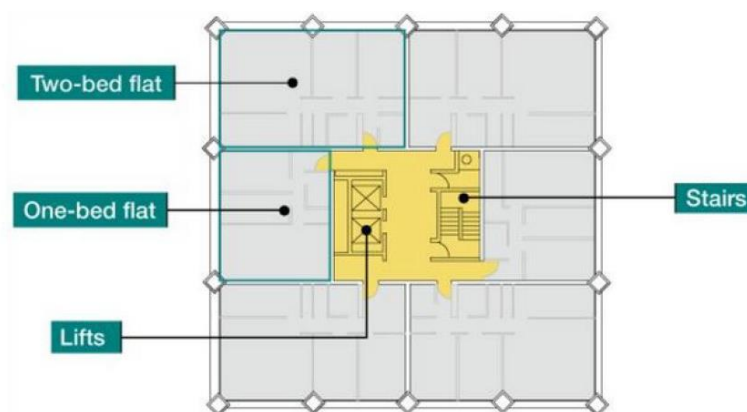


obr. 13 Fasáda bytového domu v Kroměříži po vnějším požáru, desky tepelného izolantu lepeny pouze na "bucht", požár se rozšířil spárami mezi tepelnou izolací a stěnou [17]

## 3.2 Rozbor skutečných požárů

### 3.2.1 Grenfell Tower, Londýn, 2017

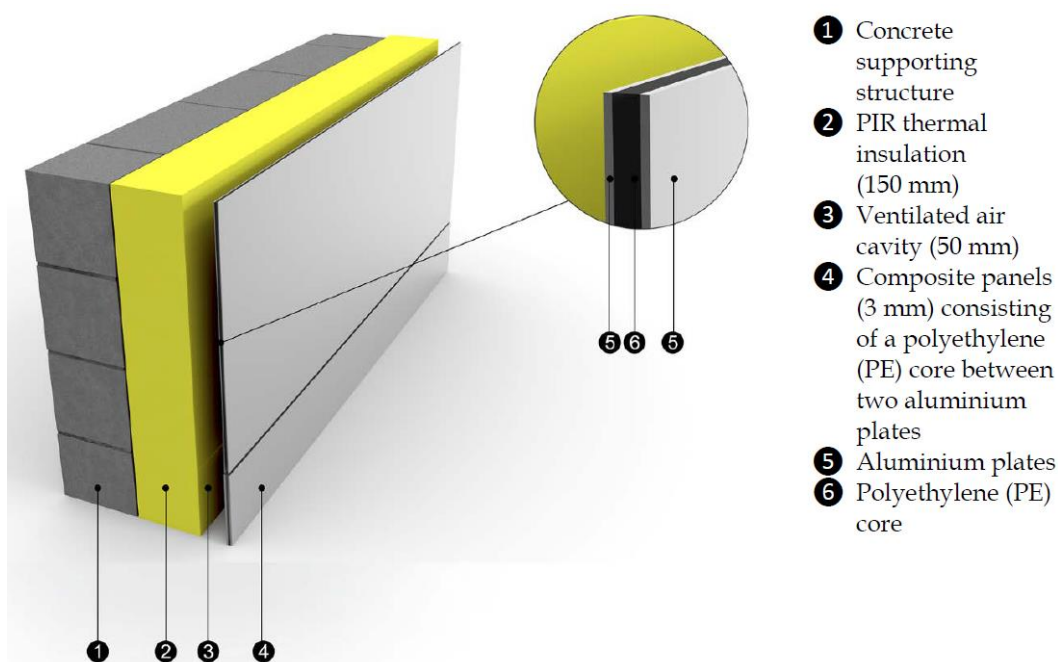
Během noci mezi 13. a 14. 6. 2017 vypukl požár v budově známé jako Grenfell Tower v Londýně, která byla postavena v 70. letech 20. století. Šlo o výškovou budovu o 24 nadzemních podlažích celkové výšky 67 m, nosný systém sestával z betonových stěnových jader a obvodových pilířů.



obr. 14 Typické podlaží v budově Grenfell Tower [16]

Objekt obsahoval celkem 127 bytů, z toho 6 bytů na každém podlaží, a veřejnou komunální část situovanou v 1. až 3. nadzemním podlaží. Ve středu dispozice se nacházelo jediné schodiště a dvojice výtahů (obr. 14), celý objekt nebyl vybaven SHZ (či ochranou na podobném principu) ani požární signalizací. Již během funkčního období dotčeného objektu se objevovala častá kritika obyvatel na stav požární prevence [16], [17].

V roce 2016 proběhla rekonstrukce objektu, při níž proběhla renovace celého obvodového pláště. Nová skladba sestávala z tepelné izolace ve formě PIR desek tloušťky 150 mm, které byly nalepeny na nosnou betonovou konstrukci, vzduchové mezery šířky 50 mm a obkladu ve formě kompozitních sendvičových desek typu „bond“. Tyto desky sestávaly z polyetylenového jádra šířky 3 mm umístěného mezi 2 hliníkové plechy, celá skladba patrna na obr. 15. Z hlediska hořlavosti materiálů se jedná třídu reakce na oheň E či F v případě PE jádra v sendvičových deskách, a u PIR desek záleží na aplikaci, ale v obecném pojetí se jedná o třídu reakce na oheň B nebo C.

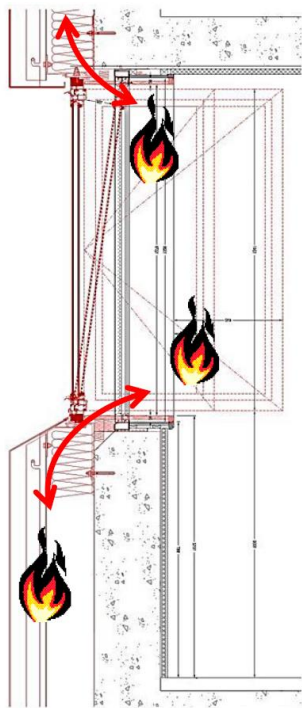


obr. 15 Obvodový plášť použitý na budově Grenfell Tower; legenda: 1 – nosná betonová konstrukce, 2 – PIR desky, 3 – větraná mezera, 4 – sendvičové desky, 5 – hliníkové plechy, 6 – PE jádro [16]

Požár samotný vznikl v bytě na 4. NP v čase cca hodinu po půlnoci a byl způsoben závadou na lednici. Již 4 minuty po iniciaci byl požár ohlášen a hasičské jednotky brzo dorazily na místo, přesto se požár velmi rychle a viditelně rozšířil přes fasádu do vyšších podlaží, již po 39 minutách plameny dosahovaly střešní úroveň. Další šetření ukázalo, že požár se navíc šířil i vnitřními prostory schodiště a instalačními šachtami. Kvůli tomuto šíření, též i prostřednictvím fasádního systému, se rychle v krátkém časovém období objevily požáry i v dalších bytech. Obyvatelé z těchto bytů se nemohli včas evakuovat, protože jediné schodiště v objektu bylo již značně zakouřené a viditelnost nevyhovující. Z celkového počtu 293 osob v objektu v době požáru je

evidováno 72 úmrtí, z tohoto počtu více než polovina na únikové cestě. 65 osob bylo zachráněno až prostřednictvím záchranných složek, z toho 48 lidí až po uplynutí více než 1 hodiny od začátku požáru [16], [17].

Klíčovou roli sehrál obvodový plášť vnějších stěn, který se stal hlavním prostředkem masivního rozšíření požáru. Prostřednictvím prasknutí okenní výplně, též i nedostatečně vyřešenými spárami kolem rámu okna, se plameny rozšířily rychle na fasádu a do její konstrukce (obr. 16). Rychle se šířily větranou mezerou, navíc umocněné o hořlavý tepelný izolant a jádro obkladových desek. Kvůli úspoře finančních prostředků byl použit levnější fasádní systém v porovnání s původním návrhem, a ten navíc zahrnoval i absenci požárních bariér ve větrané dutině pod obkladem. Dalším prvkem napomáhajícím komínovému efektu při šíření požáru byl i obvodový pilíř na obr. 17, též s větranou dutinou pod obkladem. Při porovnání k platné české legislativě lze zjistit, že v ČR u takovéto výškové stavby je možno použít výhradně nehořlavé výrobky, tzn. že PIR desky ani obklad s polymerním jádrem nelze navrhnout ani aplikovat [17].



obr. 16 Schéma přestupu požáru prostřednictvím předsazeného okna na fasádu [17]



obr. 17 Pohled na budovu, pilíře fungovaly jako komíny [17]

Druhým klíčovým faktorem na této události bylo řešení úniku osob, která zajišťovalo pouze jediné schodiště umístěné uprostřed dispozice. Obyvatelé bytů se na něj mohli dostat přes chodbu bez jakékoli předsíně, z této chodby byly přístupné dva osobní výtahy. Z pohledu české legislativy, zejména ČSN 73 0802 a ČSN 73 0833, je takovéto řešení naprosto nedostatečné. U objektů této výšky a kapacity osob je nutné zřídit chráněnou cestu typu C (která zahrnuje přetlakově větraný prostor schodiště, též i zřízení přetlakově větrané předsíně v každém podlaží) a také druhou, obvykle vnější, chráněnou únikovou cestu typu B. Dosud není známo, jakým způsobem bylo



větráno schodiště v Grenfell Tower, avšak z dostupných podkladů lze soudit, že bylo větráno pouze nuceně, tedy nedostatečně. Avšak při nastalých podmínkách, kdy se požár rozšířil do mnoha požárních úseků, by ani přetlakové větrání nemuselo přinést požadované podmínky pro evakuaci. České předpisy u těchto staveb dále požadují instalaci zařízení EPS, evakuačního výtahu či střešní požární nádrže pro systém SHZ, ani jedno z těchto zařízení nebylo instalováno [17].

Z pohledu evakuace osob je závažným nedostatkem i způsob řešení opuštění budovy v rámci dokumentace požární ochrany. Ve Velké Británii, kvůli obavám z ovlivnění efektivnosti hasičského zásahu uvnitř objektu, je zavedena obecná strategie pro výškové stavby a nese název „Stay put policy“. Obyvatelé mají zůstat ve svém bytě, pokud požárem není zasažen právě jejich byt, a předpokládá se nešíření požáru z jiného požárního úseku. Tato řešení evakuací byla v případě Grenfell Tower na doporučení vlastníka i záchranných složek. Dnes jsou tyto postupy pod policejním vyšetřováním [17].

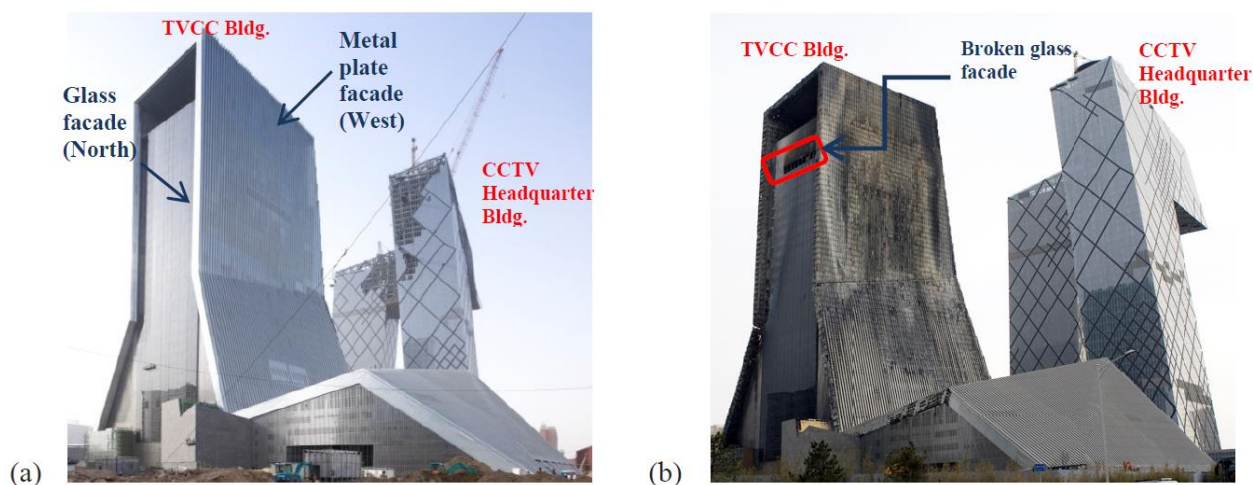
Tato událost byla natolik rozsáhlá a alarmující, že vyzvala zúčastněné strany (vlastníky projektů, architektky, projektanty, dodavatele, normotvůrce atd.) v Evropě provést důkladné hodnocení regulačního rámce týkající se požární bezpečnosti. U hodnocení fasádních systémů tato jednání již přešla do projektu, který má za cíl sjednotit zkoušky fasád ve velkém měřítku rámci Evropy [18].

### 3.2.2 Televizní kulturní centrum, Peking, 2009

Při příležitosti oslav čínského nového roku, v noci 9. února 2009, zachvátil požár výškovou budovu Televizního kulturního centra, označovanou zkratkou TVCC a vlastněnou Čínskou Centrální televizí (CCTV), požár. Konečná bilance je jeden mrtvý hasič a 7 zraněných osob. Budova Televizního kulturního centra byla postavena vedle sídla CCTV, jak je znázorněno na obr. 18a, ale ještě nebyla dokončená a tudíž nebyla obsazena osobami. Budova má 32 podlaží o celkové výšce 159 m a sestává ze 3 objektů. Prvním je hlavní věž v ústřední části a zbylými dvěma jsou nižší boční křídla. Hlavní věž, která obsahuje atrium a probíhá od 5. do 26. podlaží, měla sloužit jako hotel s restaurací. Obvodový plášť na jižní a severní fasádě byl tvořen skleněnými závěsnými stěnami, zatímco východní a západní stěny byly opatřeny obkladem z kovových panelů a kazet zhotovených ze slitiny titanu a zinku [19].

Požár byl iniciován ohňostrojem, který probíhal na střeše budovy. Částice z pyrotechniky o vysoké teplotě přistály za západní stranu střechy, pronikly do kovových panelů a zapálily tepelně izolační desky a hydroizolační fólie pod panely. Jednalo se desky z XPS a pryžové EPDM fólie, požár byl navíc podporován vzduchovými mezerami mezi kovovými panely a izolacemi. Oheň se šířil po střeše na východní a západní straně, bylo hlášeno, že když požár dosáhl okrajů střechy, hořící kapky a kusy XPS létaly vzduchem a dopadaly na fasády. I za pomoci silného větru se požár rychle rozšířil a celá věž byla v plamenech do 20 minut. Oheň se též rozšířil i do interiéru, jelikož některé pokoje již byly vybaveny nábytkem a kouř se dostal do hlavního 20podlažního atria, kde zvýšení tlaku a vysoké teploty způsobily rozbití skleněné fasády na horních podlažích budovy, jak

je znázorněno na obr. 18b. Většina skleněné fasády nakonec nebyla porušená, protože mnoho pokojů nebylo vybaveno nábytkem a požár neměl dostatek paliva na to, aby způsobil větší šíření požáru a poškození konstrukcí [19].



obr. 18 (a) Budova Televizního kulturního centra před požárem; (b) po požáru, vyznačena oblast rozbití skleněné fasády [19]

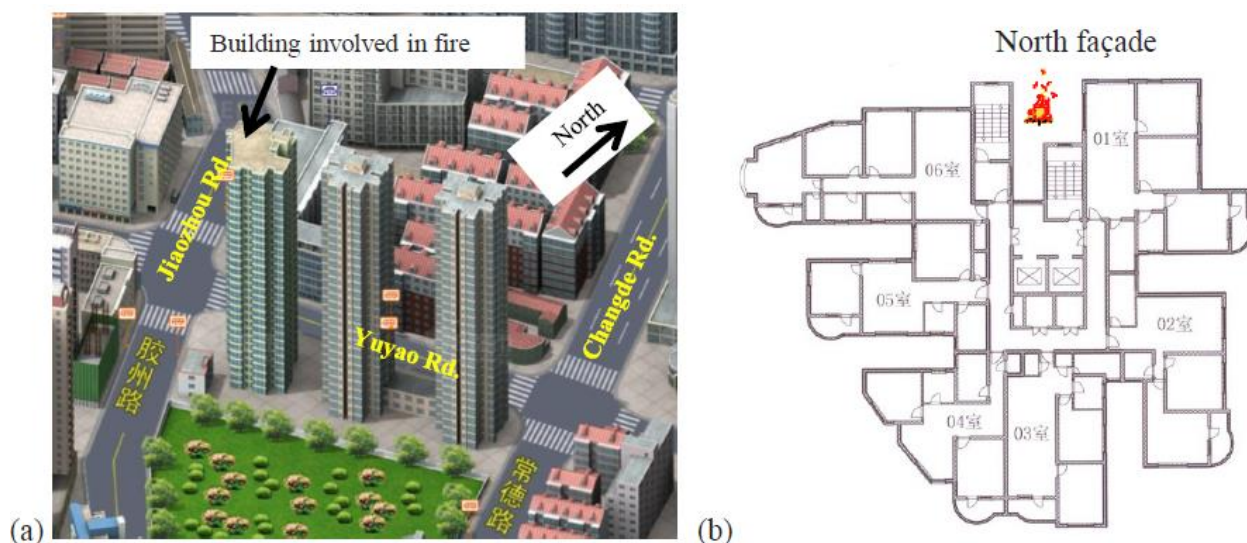
V běžných případech se obvykle požár rozšiřuje směrem od spodních podlaží k horním a od interiéru do exteriéru. Požár televizní budovy v Pekingu však vykazoval zcela obrácený postup, od střechy směrem dolů a od obvodového pláště směrem dovnitř budovy. Rozsáhlé využití hořlavých izolantů a použití velkých dutin bez zábran významně přispěly k rychlosti šíření požáru. Tavení a odpadávání termoplastické izolace (XPS) urychlila šíření požáru směrem do spodních pater budovy [19].

### 3.2.3 Pátý blok bytové výškové budovy, 2010, Šanghaj

Dne 15. listopadu 2010 došlo k požáru ve výškové budově v Šanghaji, zničeno bylo 58 bytů a poškozeno 71 bytů. Stavba, která byla postavena v roce 1997, měla železobetonovou nosnou konstrukci a 28 nadzemních podlaží. Požár zasáhl budovu, v jejíž těsné blízkosti se nacházely další dvě výškové budovy, které nebyly zasaženy (obr. 19a, požárem zasažena byla budova vlevo). K incidentu došlo při rekonstrukci obvodového fasádního pláště, která probíhala na všech třech budovách. Všechny budovy byly zakryty ocelovými lešenými, která byla pokryta dřevěnými a bambusovými deskami a celé lešení bylo zabaleno do plastové nylonové síťoviny z důvodu zabránění pádu stavebních výrobků [19].

Jak je znázorněno na obr. 19b, požár měl ohnisko v ustoupené části tvaru písmene L na severní fasádě mezi 9. a 10. podlažím. Při svařovacích pracích létaly jiskry na PUR pěnu a její části padaly na dřevěné a bambusové podlahy na lešení. Hořící PUR pěna brzy zapálila i nylonové síť a požár se rychle rozšířil, i za pomoci hořlavého obkladu. Bylo zjištěno, že během 3 minut plameny dosáhly 20. podlaží, a trvalo jen 4 minuty, než došlo k rozšíření požáru až na střechu.

14 minut po iniciaci došlo k vyhoření téměř celé severní fasády, načež se požár rozšířil i do interiérových prostor bytů na 6.–27. podlaží, zasáhl i západní a východní části fasád [19].



obr. 19 (a) Bytová výšková budova zasažená požárem, (b) Půdorys budovy s vyznačením ohniska požáru [19]

Natolik rychlé rozšíření požáru je přisuzováno nejen hořlavým prvků ve fasádní konstrukci a na lešení, ale i na tvaru konstrukce budovy. Ustoupení v půdorysném tvaru L se při požáru chovalo jako komín, byť byl obalen konstrukcemi jen z 3 stran, a změna tlaků a teplot v této oblasti způsobila velmi rychlý posun požáru směrem ke střeše. Vnitřní prostory 1.–4. podlaží byly vybaveny samočinným sprinklerovým systémem a ve chvíli rozšíření požáru do vnitřních prostor došlo k jejich aktivaci, nicméně tato skutečnost nikterak nepomohla dostat pod kontrolu požár obvodových stěn [19].

### 3.2.4 Hotelový komplex Wanxin, Šen-jang, Čína, 2011

Dne 3. února 2011 proběhlo množství ohňostrojů v blízkosti hotelového komplexu Wanxin při příležitosti oslav čínského nového roku. Nově postavená soustava 4 budov byla uvedena do provozu v roce 2009 a zahrnuje 3 výškové budovy a jednu nižší, která propojuje celý komplex. Tato nižší budova je na obr. 20 označena jako D, je 46,8 m vysoká (od země), obsahuje 10 podlaží nadzemních a 3 podzemní. Věže jsou na obr. 20 označeny písmeny A, B, C. Budova A je 180 m vysoká, má 45 podlaží a je využívána jako hotel, části B a C jsou 140 m vysoké o 37 podlažích. Věž B byla využívána jako bytový dům, zatímco věž C jako administrativní budova, a horizontální vzdálenost mezi oběma objekty je 63 m. Vnější stěny všech tří výškových budov byly obloženy hliníkovými fasádními panely a též kompozitními panely. U nejvyšší budovy A byla tepelná izolace na vnějších stěnách ve formě desek z EPS a dutina pod obkladem se pohybovala od 170 do 600 mm, zatímco pro fasády věže B byl použit XPS a dutina byla v rozmezí od 190 do 600 mm. Vyšetřování ukázalo, že použitý XPS byl testován na třídu hořlavosti B2

a EPS byl testován na třídu hořlavosti B1<sup>2</sup>. U věže A byly otvory ve fasádě naproti zbylým dvěma budovám vybaveny požárně odolnými výplněmi a zbytek oken byl vybaven tvrzeným třívrstevným zasklením [19].

Požár, v důsledku probíhajících oslav, vypukl po půlnoci. Částice z pyrotechniky přistály na střeše nízkého objektu D a zapálily dekorace z plastové trávy v blízkosti 11. podlaží budovy B. Posléze se během několika minut oheň rozšířil na fasádu budovy B, pronikl do kompozitních fasádních panelů a zapálil izolaci z XPS. Po zapálení izolace vysoké teploty způsobily selhání hliníkových kompozitních panelů a to umožnilo, aby se zvýšil přísun kyslíku pro hoření XPS. Požár se šířil velmi rychle směrem vzhůru a po 20 minutách plameny dosahovaly vrcholu budovy B na jižní straně a začaly se šířit na východní a západní fasádu. Oheň též proniknul do interiéru rozbitými okny, ale byl potlačen výstřikem ze sprinklerových hlavice ve spodních patrech budovy B. Nicméně, sprinklerový systém nebyl schopen ovládnout velký vnitřní požár kompletně, protože postupně se požár dostával do vyšších podlaží a v nejvyšších patrech způsobil značné škody. Asi hodinu po iniciaci požár přeskočil i na fasádu budovy A, která byla od budovy B vzdálena pouze 6,5 m. Toto rozšíření požáru pravděpodobně způsobily padající a hořící části z fasády budovy B a taktéž vysoký tepelný tok dopadající na fasádu budovy A. Požár se začal šířit po jižní fasádě, ale byl úspěšně potlačen hasičským zásahem, a tak se plameny rozšířily jen částečně na část východní a západní fasády budovy, na severní nebylo pozorováno žádné poškození. Věž C nebyla požárem dotčena vůbec [19].



obr. 20 Hotelový komplex Wanxin [19]

<sup>2</sup> Třídy hořlavosti dle německého předpisu DIN 4102-1: B1 – nesnadno zápalné, B2 – normálně zápalné

## 4 Analýza stávajících velkorozměrových zkoušek chování fasád při požáru

Zkoušky velkého rozměru mají za úkol, svým rozmístěním prvků, tepelným výkonem a celkovým charakterem se přiblížit skutečným požárům. Rozdíl zkoušky velkého rozměru, oproti středněrozměrové zkoušce, je v požárním scénáři a velikosti zkoušeného vzorku.

tab. 4 Zkušební metody velkorozměrových zkoušek fasád v rámci Evropy [20]

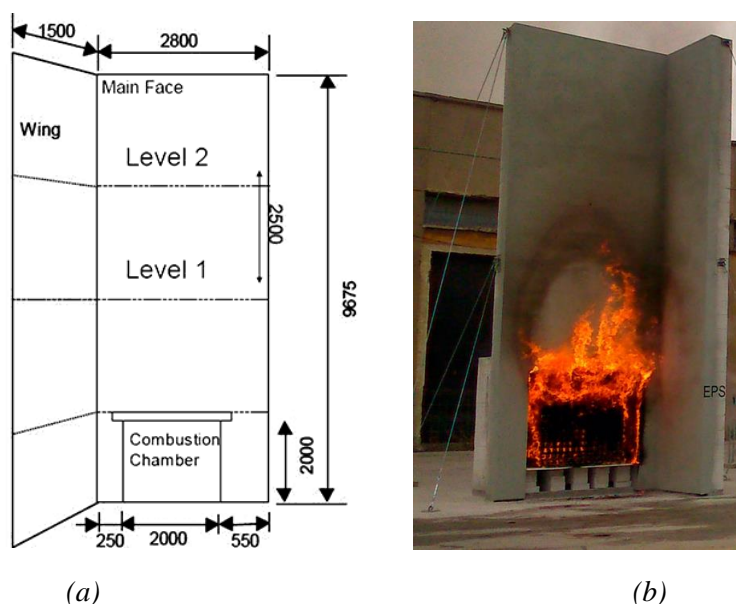
<i>Zkušební metoda</i>	<i>Země</i>
<i>BS 8414-1:2015 a BS 8414-2:2015</i>	<i>Velká Británie, Irsko</i>
<i>ÖNorm B 3800-5</i>	<i>Švýcarsko, Rakousko</i>
<i>Prüfbestimmung für Aussenwandbekleidungssysteme</i>	<i>Švýcarsko</i>
<i>Technical regulation A 2.2.1.5</i>	<i>Německo</i>
<i>Lepir 2</i>	<i>Francie</i>
<i>MSZ 14800-6:2009</i>	<i>Maďarsko</i>
<i>SP Fire 105</i>	<i>Švédsko, Norsko, Dánsko</i>
<i>Engineering guidance 16</i>	<i>Finsko</i>
<i>ISO 13785-2</i>	<i>Slovensko</i>

Různé země mají odlišné předpisy a existuje mnoho různých zkoušek používaných pro ověřování a klasifikaci fasádních systémů, od zkoušek v malém měřítku až po velkorozměrové zkoušky. Seznam metod používaný v rámci Evropy a konkrétní státy uvádí tab. 4. Jelikož každá z uvedených zemí má vlastní regulativy v oblasti výstavby budov, existuje velká škála požadavků na zkoušky i na jejich hodnocení. Rozdíly v klasifikaci a zkušebních metodách často vyvolávají překážky v rámci obchodu se stavebními prvky mezi zeměmi [20].

### 4.1 BS 8414-1:2015 a BS 8414-2:2015

Ve Velké Británii a Irsku se používá metoda založená na BS 8414 (British Standard) a je rozdělená na 2 části. Část 1 popisuje zkoušky velkého rozměru pro nenosné kontaktní zateplení, Část 2 se zakládá na zkoušce nenosného opláštění obvodové zdi na konstrukčním ocelovém rámu. Dispozičně se jedná fasádu půdorysné tvaru L, hlavní křídlo je šířky 2,6 m a výšky 8,0 m, vedlejší o rozměrech 1,5 x 6,0 m je kolmé na hlavní (obr. 21). Ve fasádě se nenachází otvory [18].

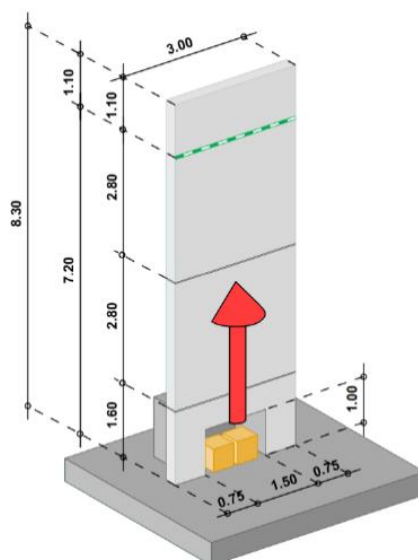
Spalovací komora je umístěna na základní ploše celého vzorku a horní hrana otvoru je ve výšce 2 m, přičemž šířka je stejné hodnoty. Jako zdroj hoření slouží hranice z měkkého dřeva o objemové hmotnosti 400–650 kg/m<sup>3</sup> o celkové hmotnosti 400 kg. Celkové rozměry hranice jsou 1,5 x 1 x 1 m a je postavena na plošině 0,4 m nad podlahou zkušební místnosti, půdorysně je umístěna uprostřed dispozice. Výkon je po dobu zkoušky nastaven na 4500 MJ za 30 minut, výsledná nejvyšší hodnota se pohybuje okolo 3 MW. Po procesu zahřívání vzorku následuje dalších 30 minut vizuálního pozorování a hodnocení [18].



obr. 21 (a) Schéma zkoušky dle BS 8414<sup>3</sup>, (b) Ukázka požární zkoušky z Barcelony [20]

## 4.2 Prüfbestimmung für Aussenwandbekleidungssysteme

Tato metoda užívaná ve Švýcarsku se používá pro hodnocení chování požáru obvodových pláštů vnějších stěn ve skutečném měřítku. Vzorek fasády je vystaven požáru, který směřuje otevřeným oknem ze simulovaného bytu. Metoda je aplikovatelná na pro fasádní konstrukce s obkladem a povrchovými vrstvami používaných na obvodové pláště, zahrnuty jsou i dekorativní prvky fasády, římsy či balkonová zábradlí. Zdroj hoření je formě dřevěné hranice o hmotnosti 50 kg, kterou tvoří smrkové latě průřezu 40 x 40 mm a délky 0,5 a 1 m [18].



obr. 22 Schéma zkoušky dle Prüfbestimmung für Aussenwandbekleidungssysteme [17]

<sup>3</sup> Zdroj obrázku: <https://ifpmag.mdmpublishing.com/testing-times-for-tall-buildings/>

Výřez fasády je přímý, nejedná se o rohové uskupení. Stěna dosahuje rozměrů 3,8 x 8,3 m a je bez otvorů (obr. 22). Zkouška probíhá po dobu 40 minut [18].

### 4.3 Lepir 2

Francouzská zkušební metoda nese název Lepir 2 a je určena ke stanovení chování fasády s okny při požáru, zahrnuje též klasifikační kritéria a je aplikovatelná pro všechny fasádní systémy obsahující okenní otvory. Dispozice zkoušky obsahuje 2 kompletní místnosti nad sebou (ve spodní je zdroj hoření), a podlahu třetí místnosti ve třetím podlaží. Vnitřní šířka místností je 4,85 m, délka 2,65 m a výška 2,35 m [21]. Palivo je formě 2 dřevěných hranic o celkové hmotnosti 600 kg, každá hranice má rozměry 1 x 1 x 1,8 m a je z borových latí o objemové hmotnosti 480 kg/m<sup>3</sup> a obsahem vlhkosti 9 až 15 % [18].



obr. 23 Schéma zkoušky dle Lepir 2, zleva: pohled na vzorek fasády, svislý řez a půdorys [21]

Přímý výřez fasády má rozměry 4,85 x 7,08 m (rozměry se mohou v řádech dm měnit) a je orientován delší stranou vzhůru (obr. 23). Není zde kolmé vedlejší křídlo, okenní otvory šířky 1 m a výšky 1,5 m jsou dva nad sebou, na každé vyšší podlaží jedno. Hodnocení zkoušky probíhá po dobu 30 minut, druhé hodnocení je pouze pro kontaktně zateplené fasády a probíhá po dobu 60 minut [18].

### 4.4 MSZ 14800-6:2009

Maďarská zkušební metoda pro velkorozměrové zkoušky fasádních systémů obsahuje 3 části, každá pro určitý typ konstrukce. První část se věnuje zkoušení hořlavých a větraných obvodových pláštů, které jsou umístěvané na nehořlavé nosné stěny. Druhá část zahrnuje fasádní systémy s velkým množstvím otvorů umístěných v těsné blízkosti (mezi otvory je vzdálenost obvykle menší než 1,3 m, často se jedná o francouzská okna). Poslední část se věnuje fasádním konstrukcím, které jsou z hlediska požární bezpečnosti odlišné od současných standardních řešení, jedná například o konstrukci zahrnující požární bariéry ve větrané dutině či na povrchu vnějšího

pláště. Avšak v maďarské legislativě dále neexistují žádná ustanovení pro použití výsledků získaných při zkoušce [18].



obr. 24 Ukázka zkoušky dle MSZ 14800-6, zleva: fasáda před zkouškou, fasáda při zkoušce<sup>4</sup>

Zkušební zařízení tvoří třípodlažní budova, zdroj hoření je ve spodním podlaží. Vzorek fasády v podobě stěny je 4,4 m široký a 7,27 m vysoký, bez vedlejšího křídla. Okenní otvory jsou dva (1,2 x 1,2 m) nad sebou, na každé podlaží jeden (obr. 24). Jako zdroj hoření slouží dřevěná hranice z latí 50 x 30 mm délky 1,5 a 2 m o celkové hmotnosti 650 kg, maximální tepelný výkon během zkoušky je 3,25 MW. Zkouška trvá nejdéle 45 minut, i když dřevěná hranice hoří více než hodinu [18], [22].

## 4.5 ÖNORM B 3800-5

Jedná se o metodu používanou v Rakousku. Umístění této metody do seznamu zkoušek velkého rozměru je diskutabilní, jelikož bývá uvažovaná jednak jako středněrozměrová zkouška [18], též jako zkouška v plném měřítku [20], nicméně svým rozsahem zapadá mezi zde zmíněné zkoušky.



obr. 25 Ukázka zkoušky dle Önorm B 3800-5; zleva: fasádní vzorek před zkouškou a během zkoušky<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Zdroj obrázku: <http://www.proidea.hu/termekalkalmazasok-5/prefa-siding-tuzterjedesi-vizgalat-10590.shtml>

<sup>5</sup> Zdroj obrázku: <http://www.fassadenkleben.com/aktuelles/>

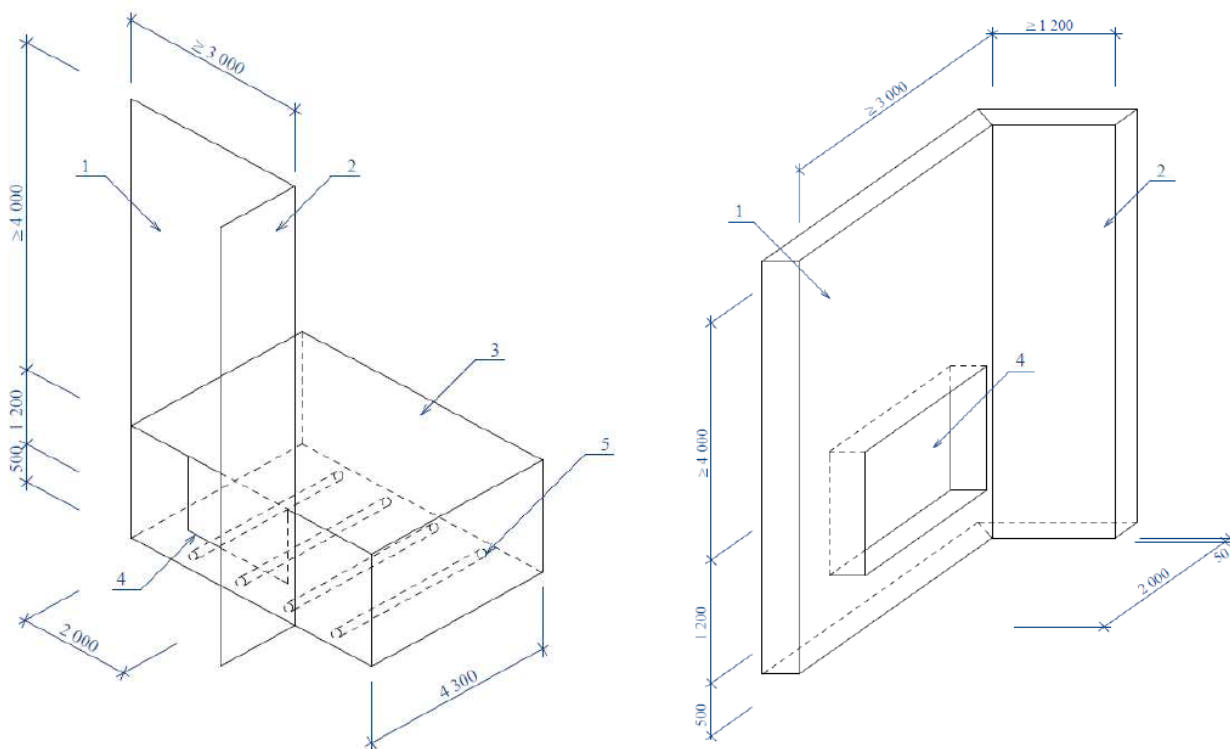


Zkouška simuluje požár v bytě a hlavním hodnoceným prvkem je výška plamene, u které se sleduje dosažení podlaží nad zdrojem hoření. Dalšími hodnocenými prvky jsou chování konstrukce a rozšíření plamene do konstrukce stěny či obkladu. Tato zkouška je vhodná pro větrané fasádní systémy i pro kontaktně zateplené vnější stěny. Dispozičně se zkoušený vzorek fasády půdorysně podobá písmenu L, hlavní stěna je 3,5 m široká a 6,0 m vysoká, vedlejší kolmé křídlo stejné výšky je 2,0 m široké. Ve fasádě se nenacházejí otvory [18].

Jako palivo slouží dřevěná hranice, je definována velmi přesně – 72 hoblovaných dřevěných latí 40 x 40 x 500 mm je připevněno křížem k hranici o rozměrech 0,5 x 0,5 x 0,48 m. Účelem tohoto uspořádání o hmotnosti 25 kg je docílení celkového poměru objemu vzduchu a dřeva 1:1. Zkouška samotná trvá 30 minut, pokud fasáda i po uplynutí této doby stále hoří, probíhá její pozorování do okamžiku zhasnutí plamene [18].

## 4.6 ISO 13785-2

Jedná se mezinárodní standard pro zkoušky velkého rozměru v rámci EU používaný v České republice a na Slovensku. Tato norma popisuje zkušební metodu pro chování obvodových plášťů vnějších stěn za požáru, avšak nedefinuje klasifikační kritéria pro vyhodnocení. Ve slovenské legislativě je uvedeno, že tuto metodu lze použít pouze pro kontaktní zateplení. Půdorysně jsou stěny ve tvaru L, hlavní stěna je 3 m široká a 5,7 m vysoká, vedlejší křídlo je 1,2 m široké a 5,7 m vysoké (obr. 26). Na fasádě nejsou otvory [18].



obr. 26 Dispozice zkoušky velkého rozměru dle ISO 13785-2; legenda: 1 – hlavní stěna, 2 – boční stěna, 3 – spalovací komora, 4 – otvor pro šlehání plamenů, 5 – zdroj hoření (tyče s propanem) [5]

Místnost se zdrojem hoření (na obr. 26 číslo 3) je z betonu či zdiva a dosahuje objemu 20–100 m<sup>3</sup>, např. 4 x 4 x 2 m, a otvor ve stěně je 2 m široký a 1,2 m vysoký. Základním typem paliva je propan, alternativně norma umožňuje použití heptanu či dřevěné hranice o hmotnosti 400 kg. Expozice během zkoušky trvá 15 minut, rostoucí fáze trvá 4–6 minut, po ní následuje fáze maximálního výkonu, a na závěr je fáze chladnutí délky 4–6 minut. Zkouška je ukončena samovolným vyhasnutím paliva [18].

#### **4.7 Technical regulation A 2.2.1.5**

V Německu používaná zkušební metoda pro fasády v plném měřítku má značná omezení. Lze ji použít pouze pro kontaktní skladby s izolantem z EPS. Požární scénář zahrnuje vnější požár kontejneru na odpadky, který zastupuje dřevěná hranice o hmotnosti 200 kg. Hranice má půdorysnou plochu 1,1 x 1,1 m a je tvořena ze smrkových latí 40 x 40 x 1100 mm o objemové hmotnosti 475 kg/m<sup>2</sup>, výsledný poměr objemu dřeva a vzduchu je 1:1. Obvodové stěny s opláštěním jsou v půdorysném tvaru L, hlavní stěna má šířku 4,25 m a výšku 9,8 m, vedlejší křídlo stejné výšky je 2,25 m široké. Ve fasádě se nenacházejí otvory [18].

#### **4.8 Engineering guidance 16**

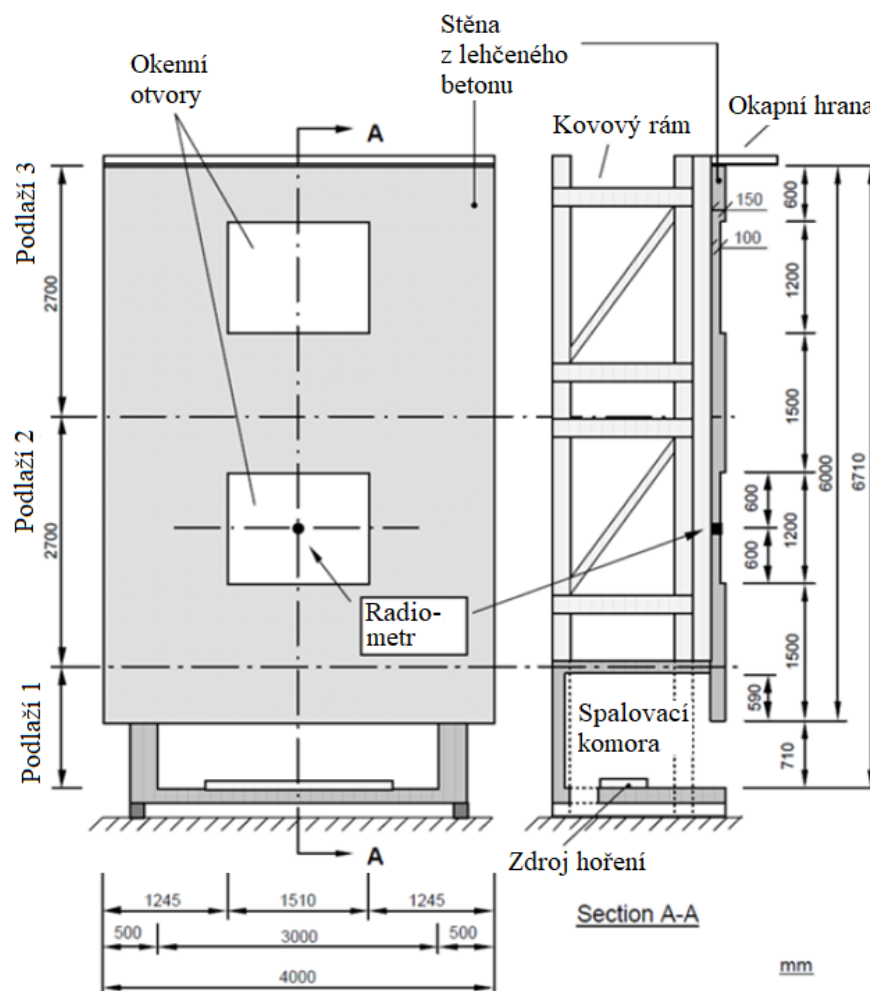
Jedná se o finskou zkušební metodu určující požární bezpečnost fasádního systému s hořlavým tepelným izolantem. Vyhodnocuje se šíření plamene po povrchu stěny a uvnitř konstrukce obvodového pláště. Zkouší se na budovách, které mají 3–8 podlaží, v praxi často pro dřevostavby. Jsou uvedeny minimální rozměry zkoušeného vzorku fasády, a to 4,0 x 8,0 m na výšku bez vedlejšího křídla. Nachází se zde 2 otvory nad zdrojem, v každém dalším podlaží jeden [18].

Palivem jsou dřevěné desky a hranice připevněné na stěny zkušební místnosti. Celkové požární zatížení musí být min. 5000 MJ (tato hodnota přibližně odpovídá 600 MJ/m<sup>2</sup> vzhledem k podlahové ploše zkušební místnosti), průběh požáru musí odpovídat fázi kolem flashover efektu (plameny musí šlehat ven otvorem ve fasádě). Proces zkoušky probíhá až po proběhnutí flashover efektu po dobu 30 minut, doba hoření se pohybuje mezi 15 a 20 minutami a fáze chladnutí trvá 10 minut [18].

#### **4.9 SP Fire 105**

Zkušební metoda používaná ve Švédsku se označuje SP Fire 105 a je určena pro stanovení chování fasádních sestav a obkladů vystaveným požáru v bytě. Tato metoda vyhodnocuje rozsáhlý požár fasády, kterou reprezentuje její výřez 4 m široký a 6 m vysoký (obr. 27), ve kterém jsou 2 otvory o rozměrech 1,51 x 1,2 m. Fasádní vzorek je umístěn na kovovém rámu, pod ním se nachází prostor se zdrojem hoření, kterým je 60 l heptanu. Celá zkouška trvá 15–20 minut a účelem je zjistit, zda fasádní systém příliš velkou měrou nepřispívá k rozvoji požáru a že neumožňuje rozšíření do vyššího patra. Hodnotícími kritérii jsou teploty plynů v místě okapní

hrany (římsy) a tepelný tok na vzorek uprostřed spodního otvoru. Rozptyl požáru se posuzuje v průběhu zkoušky a nesmí se rozšířit více, než je daná vzdálenost od zdroje hoření a maximální vzdálenost je nastavena takovým způsobem, aby se plameny nedostaly do okna umístěného výše. Po průběhu zkoušky se zkoušený vzorek fasády rozřezá na kusy za účelem vyhodnocení šíření požáru uvnitř konstrukce. Během testování se vizuálně vyhodnocuje odpadávání částí fasády a výskyt hořících kapek [20].



obr. 27 Zkušební sestava podle SP Fire 105 [20]

#### 4.10 Vývoj jednotné evropské metodiky

V současné době probíhá evropský projekt, jehož úkolem je nalezení cesty k harmonizované jednotné metodice zkoušení fasád s názvem „Vývoj evropské metodiky pro hodnocení chování fasád při požáru“. Závěrečná zpráva z tohoto projektu shrnuje oblast zkoušení fasádních systémů v rámci Evropy a obsahuje podněty zúčastněných států [18], [17].

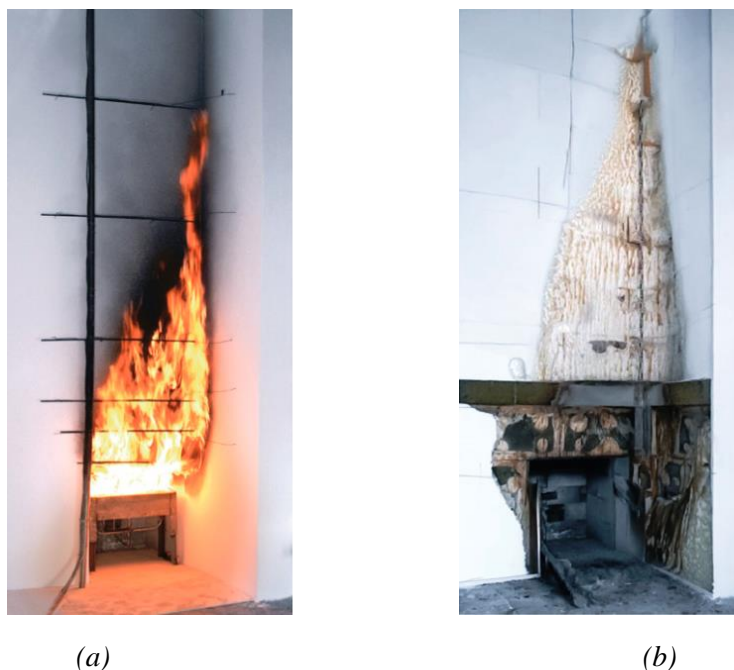
Zpráva mimo jiné poukazuje na skutečnost, že mnoho zemí ze 31 zainteresovaných států nemá definici fasády či fasádního systému. Výsledky průzkumu uvedeného ve zprávě ukazují, že výraz „fasáda“ je v rámci předpisů a regulativů napříč zúčastněnými zeměmi užíván jen velmi zřídka, častější se užívají výrazy „vnější stěna“, „obložení“ či podobné. Také Česká republika

v kodexu požární bezpečnosti staveb používá termín „fasáda“, ale není uvedena její přesná definice. Termín je pouze běžně používán ve spojení „vnější plášť obvodových stěn“ (např. kontaktní zateplovací systém nebo větraná fasáda), „obklad obvodových stěn“ či „lehký obvodový plášť“. Výsledkem bylo navržení nové definice termínu „fasáda“, kterou přijala většina států, protože odpovídá jejich národním předpisům a zní „Kompletní konstrukce vnější stěny jakéhokoli typu (masivní stěna, zavěšená stěna atd.) nebo konstrukce (zdivo, hořlavý materiál atd.)“ [18].

#### 4.10.1 DIN 4102-20

Zkušební metoda používaná v Německu a ve Švýcarsku pro zkoušky středního rozměru je platná jako doplňková metoda pro zkoušení obvodových plášťů vnějších stěn. Ve finální zprávě evropského projektu pro sjednocení zkoušek fasádních systémů [18] zaujímá klíčovou pozici a proto je jí věnován prostor v této práci.

Pro hodnocení celého fasádního systému jako málo hořlavého je potřeba, aby každý prvek hodnoceného vzorku fasády byl málo hořlavý či nehořlavý. Dispozičně se jedná o vzorek fasády půdorysného tvaru L, hlavní stěna je 2,5 m široká a 6 m vysoká, vedlejší kolmá stěna o stejné výšce je 1,5 m široká. Ve stěně nejsou otvory [18].



obr. 28 (a) Ukázka zkoušky dle DIN 4102-20, (b) Konstrukce fasády po zkoušce

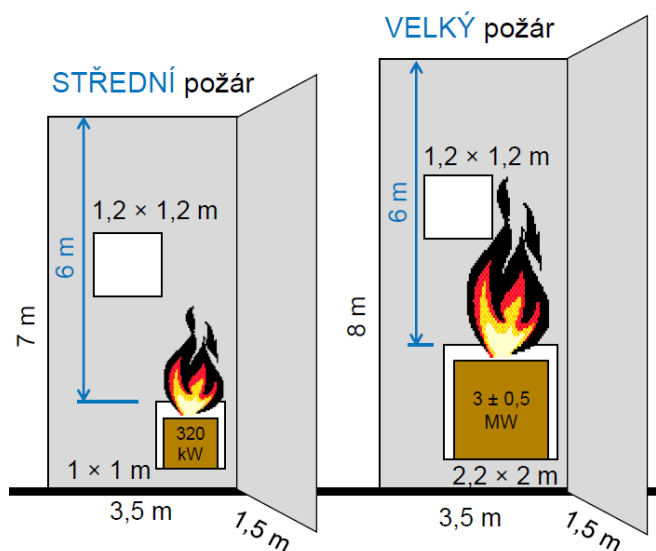
Spalovací komora je rozměrů 1 x 1 x 0,8 m s otvorem 1 x 1 m (obr. 28). Jako zdroj hoření jsou možné dva typy paliv, prvním je plynový hořák vyrobený z ocelových plechů tloušťky 2 mm o celkových rozměrech 0,8 x 0,312 x 0,2 m, palivem je propan a rychlost dodávky během zkoušení je 7,4 g/s propanu a 24 m<sup>3</sup>/h vzduchu o tlaku 4 bar. Druhým typem je hranice z měkkého dřeva o rozměrech 0,5 x 0,5 x 0,5 m s poměrem dřeva a vzduchu 1:1 a přívod vzduchu do spalovací

komory během zkoušky je  $400 \text{ m}^3/\text{h}$ . Proces zkoušky obsahuje zahřívání fasádního vzorku po dobu 20 minut, po kterých následuje nejméně 40 minut vizuálního pozorování a hodnocení (nejdéle však 15 hodin) [18].

#### 4.10.2 Velký a střední požár

Finálním návrhem celého projektu je uzpůsobení dvou stávajících zkušebních metodik, které jsou založeny na zkoušce velkého rozměru podle Velké Británie („Velký požár“, BS 8414, viz předchozí kapitola) a na zkoušce středního rozměru („Střední požár“, DIN 4102-20). Zvoleny byly tyto dvě metody, protože svým členěním jsou si velmi podobné, výška vzorku nad spalovací komorou je 6 m, obě obsahují vedlejší kolmé křídlo stěny a i tepelný tok, který zatěžuje vzorek fasády, je velmi podobný [18].

Obě metody jsou založeny na scénáři vnitřního požáru, kdy požár z místnosti vystupuje do exteriéru prostřednictvím okenních otvorů. Celý průběh je směřován na dosažení flashover efektu v místnosti se zdrojem hoření. Do určité míry požárního zatížení je možné i britskou metodou BS 8414 pokrýt scénář vnějšího požáru. Schématické zobrazení včetně rozměrů je patrné z obr. 29, povinnou částí zkoušky je otvor o rozměrech  $1,2 \times 1,2 \text{ m}$  simulujícího okenní otvor v dalším podlaží (v základních metodách BS 8414 a DIN 4102-20 je otvor pouze volitelnou položkou). Hodnocená je taktéž úprava styku mezi stropem nad místností se zdrojem hoření a fasádou. Doba trvání zkoušky zůstává stejná jako v případě stávajících metod [18], [17].



obr. 29 Schématické zobrazení obou navrhovaných zkušebních metod [18], [17]

Navrhovaná kritéria pro hodnocení:

- vertikální i horizontální šíření plamene po vzorku fasády,
- odpadávání částí fasády a hořících kusů,
- styk mezi stropem nad spalovací místností a fasádním systémem (viditelné pronikání plamene touto spárkou či vysoký nárůst teploty na neexponované straně),

- povrchové teploty na fasádě a uvnitř konstrukce fasády či v dutinách,
- žhnutí či doutnání použitých materiálů [18], [17].

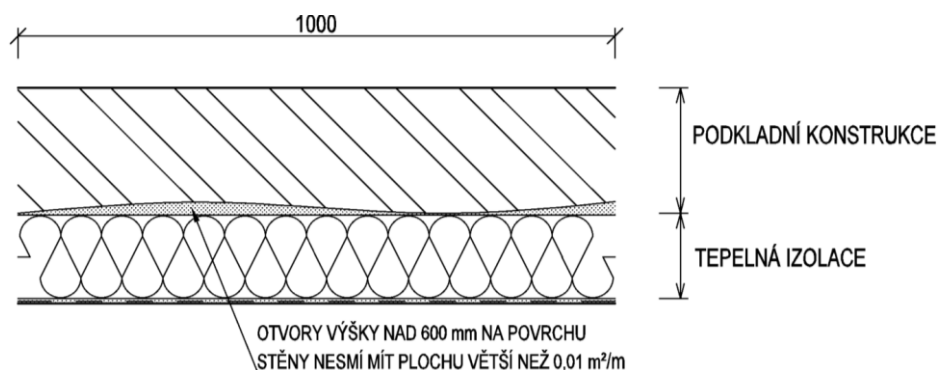
V dalším období budou metody velkého a malého požáru podrobeny zkoušení a diskuzi, jejímž závěrem by mělo být usnesení o uvedení do praxe a hlavně o zavedení do jednotné evropské legislativy. Každý členský stát si nadále určí požadavky na určení a zařazení výsledků těchto zkoušek z hlediska použití na budovy.

## 5 Kritická rešerše stávajících norem požárního kodexu

Požadavky na požární bezpečnost staveb v oblasti fasádních systémů řeší dvě kmenové normy pro nevýrobní objekty ČSN 73 0802 [23] a výrobní objekty ČSN 73 0804 [24] a zejména norma o společných ustanoveních ČSN 73 0810 [12]. Tato norma je aktuálně platná od roku 2016 a věnuje se zejména požadavkům na kontaktní zateplovací systémy (ETICS).

### 5.1 Kontaktní spojení tepelné izolace s povrchem konstrukce

V normě ČSN 73 0810 [12] se pracuje s výrazem „kontaktní spojení“ tepelněizolačního výrobku s povrchem konstrukce, případně s výrazem opačným „nekontaktní spojení“. Tyto dva termíny jsou důležité pro následující rozbor. Kontaktní spojení znamená nejen celoplošné připevnění tepelného izolantu k podkladní konstrukci, ale též i případy, kdy mezi tepelněizolačním materiálem a povrchem konstrukce jsou průběžné (tj. s výškou nad 0,6 m) vertikální otvory (např. vlivem profilovaného povrchu obvodové stěny), jejichž průřezová plocha v horizontální úrovni není větší než 0,01 m<sup>2</sup> na běžný metr. Podmínka je znázorněna na obr. 30. Ostatní případy jsou považovány za nekontaktní spojení.



obr. 30 Zděná stěna s nerovným vnějším povrchem ve vodorovném řezu, povrch zarovnaný omítkou či větší vrstvou lepicí hmoty – podmínka pro klasifikaci obvodového pláště ve formě kontaktní spojení tepelněizolačního výrobku s povrchem konstrukce dle ČSN 730810 [12]

### 5.2 ČSN 73 0810

Podle ČSN 73 0810 [12] jsou požárně technické charakteristiky uplatňovány v celé ploše fasády a mění se pouze s požární výškou objektu. Norma člení budovy podle požární výšky do 4 kategorií:

- 1) Jednopodlažní objekty s požární výškou  $h = 0$  m,
- 2) Objekty s požární výškou  $0 < h \leq 12,0$  m,
- 3) Objekty s požární výškou  $12,0 < h \leq 22,5$  m,
- 4) Objekty s požární výškou  $h > 22,5$  m.

Norma uvádí ve článku 3.1.3.1, že budovy podle bodu 1 mohou mít na vnější zateplení použity materiály a výrobky třídy reakce na oheň alespoň E a obvodové stěny se posuzují jako zcela požárně otevřené plochy podle zásad uvedených v ČSN 73 0802 [23] a ČSN 73 0804 [24]. Článek 3.1.3.4 přináší skutečnost, že v případech nekontaktního spojení tepelněizolačního výrobku s povrchem konstrukce u stavebních výrobků podle bodu 2, 3 a 4, po celé výšce fasády, je nutné pro vnější zateplení kompletně použít ucelené sestavy vnějšího zateplení třídy reakce na oheň A1 nebo A2. Druhý odstavec téhož článku uvádí pro nekontaktní spojení stejné požadavky jako článek 3.1.3.1 a je doplněn informací, že je nutné posoudit požární otevřenost obvodových stěn podle příslušných předpisů.

Ve článku 3.2.3.1 je uvedeno, že obvodové stěny druhu DP1 s odpovídající požární odolností mohou mít vnější části (povrchy) u z výrobků třídy reakce na oheň B, pokud jsou splněny všechny následující podmínky:

- stěna není v požárně nebezpečném prostoru jiného objektu,
- stěna je s touto vnější povrchovou úpravou v objektu s požární výškou  $12 < h \leq 22,5$  m;
- index šíření plamene je  $i_s = 0$  mm/min,
- nad terénem v úrovni založení a v místech okenních a jiných otvorů, musí být zkouškou podle ČSN ISO 13785-1 [11] prokázáno, že v době do 30 minut nedoje k šíření plamene po vnějším povrchu, nebo po tepelné izolaci obvodové stěny přes úroveň 0,5 m od spodní hrany zkušebního vzorku, a to při tepelném namáhání 100 kW po dobu 30 minut,
- případné provětrávací mezery v povrchových vrstvách, popř. jiné úpravy, nesmí umožnit šíření požáru (horkých plynů apod.) mimo hranici požárního úseku na obvodové stěně (poznámka 3 k tomuto bodu doplňuje, že toto šíření požáru můžou eliminovat například přepážky třídy reakce na oheň A1 nebo A2).

Poznámka 1 k výše uvedeným bodům obsahuje doplňující informaci, že obvodové stěny podle tohoto článku mohou být použity i v požárních pásech i v požárně nebezpečném prostoru požárních úseků téhož objektu. Nemění se konstrukční systém objektu a není nutné posuzovat odpadávání hořících částí. V poznámce 2 je uvedeno, že obvodové stěny v objektech do výšky  $h \leq 12$  m mohou mít na povrchu i jiné výrobky při dodržení ustanovení ostatních norem požární bezpečnosti staveb.

### 5.3 ČSN 73 0802, ČSN 73 0804

Kapitola 8.4.1 v ČSN 73 0802 [23], respektive 9.4.4 v ČSN 73 0804 [24], věnující se obvodovým stěnám, uvádí, že na rozhraní požárních úseků musí být styk obvodových stěn s požárními stropy a popř. požárními stěnami utěsněn a musí vykazovat stejnou požární odolnost jako obvodové stěny včetně tříd reakce na oheň použitých výrobků. Jsou-li navrženy zdvojené obvodové stěny (tzn. i větrané fasády), jejichž utěsnění je provedeno jen k vnitřní obvodové stěně, musí být

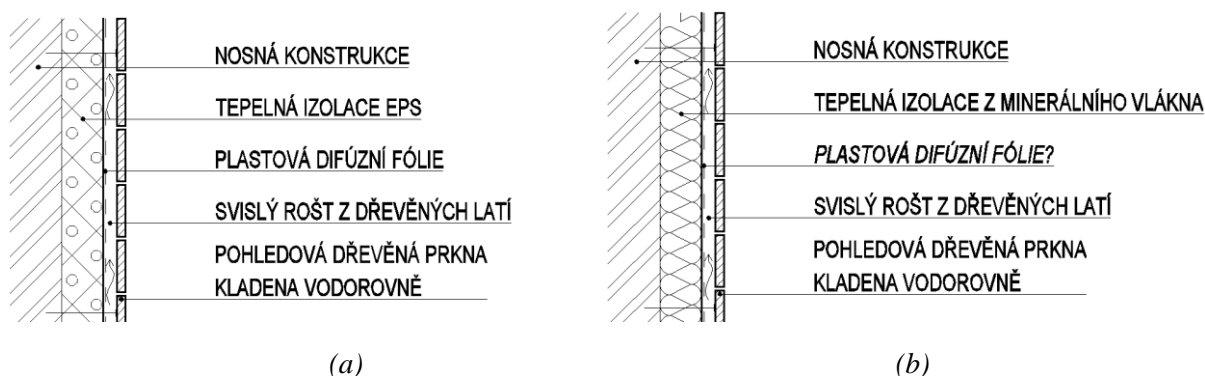


samostatně posouzeno riziko šíření požáru a zplodin hoření prostorem mezi vnitřní a vnější obvodovou stěnou. Avšak není uvedeno, prostřednictvím jakého postupu (zkouška, výpočet atd.) má toto posouzení být provedeno.

Ve článku 8.4.12 v ČSN 73 0802 [23] (článek 9.4.8 v ČSN 73 0804 [24]) je uvedeno, že u objektů s požární výškou  $h \leq 12$  m lze na vnější obklady obvodových stěn použít výrobky třídy reakce na oheň C až E bez ohledu na požárně nebezpečné prostory požárních úseků téhož objektu. Pokud jsou tyto úpravy z hořlavých stavebních výrobků použity u objektů výšky  $h > 12$  m, musí být posouzeno riziko rozšíření požáru na jiné požární úseky téhož objektu (např. souvislou vrstvou hořlavého výrobku nebo vzduchovou mezerou). Při posuzování je rozhodující průměrná hustota tepelného toku na povrchu ohrožených konstrukcí jiných požárních úseků téhož objektu, které musí být nižší než  $18,5 \text{ kW/m}^2$ . Poznámka k tomuto článku obsahuje skutečnost, že povrchy stěn nesmějí být z výrobků třídy reakce na oheň F.

## 5.4 Zhodnocení možného využití provětrávaných fasádních systémů dle legislativních požadavků

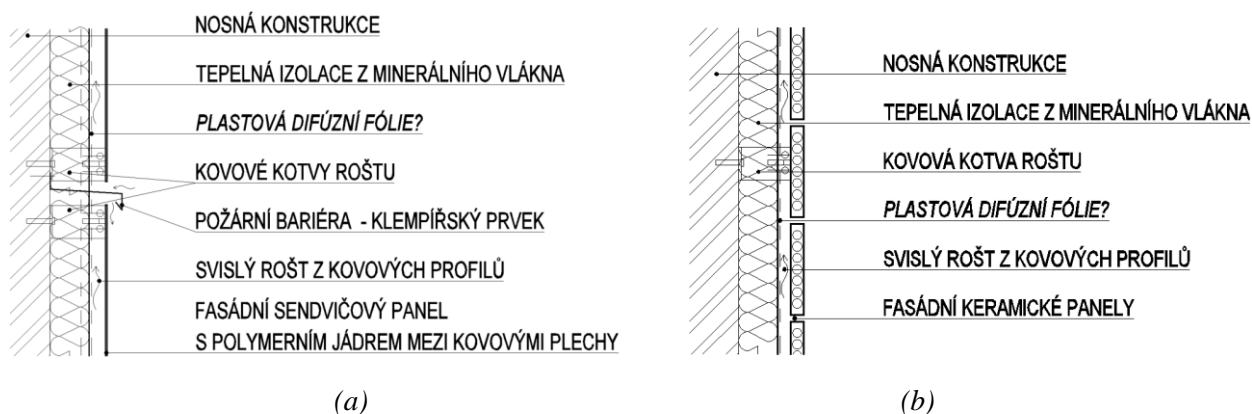
Zásadním problémem je, že mnohé uvedené požadavky z výše citované legislativy se ohledně zateplení věnují uceleným sestavám vnějšího zateplení, které se považují za povrchovou úpravu. Tento termín je definován v předchozí verzi ČSN 73 0810 z roku 2009. V kapitole 3.1.3 je uvedeno, že konstrukce se hodnotí jako ucelený celek, včetně povrchových vrstev, tepelné izolace, nosného roštu, upevňovacích prvků a popř. dalších specifikovaných součástí.



obr. 31 Příklad možných skladeb větrané fasády v souladu s ČSN 73 0810: (a) jednopodlažní budovy s  $h = 0 \text{ m}$ ; (b) objekty s  $0 < h \leq 12,0 \text{ m}$

Pokud bychom tuto tezi aplikovali na požadavky popsané v předchozí kapitole, vyplývá skutečnost, že v jednopodlažních objektech s požární výškou  $h = 0 \text{ m}$  lze použít na fasádní systém výrobky třídy reakce na oheň alespoň E, nicméně z hlediska tepelné izolace na vyšší budovy s větranou fasádou nejsou specifikované požadavky a jediné bezpečné užití jsou pouze výrobky třídy reakce na oheň A1 a A2. V praxi to znamená, že všechny vícepodlažní budovy s  $h \neq 0 \text{ m}$  musí mít v konstrukci větrané fasády osazen tepelný izolant z minerálního vlákna, jak ukazuje tab. 5. Příklad skladeb v souladu s výše popsaným je na obr. 31.

Hledisku vnějšího povrchu (obkladu) se věnuje v ČSN 73 0810 [12] článek 3.2.3.1. V článku je popsáno možné využití materiálů třídy reakce na oheň B v budovách s požární výškou  $12 < h \leq 22,5$  m a v případě objektů s  $h \leq 12$  m lze použít na obklad i jiné výrobky.



obr. 32 Příklad možných skladeb větrané fasády v souladu s ČSN 73 0810: (a) objekty s  $12,0 < h \leq 22,5$  m; (b) objekty s  $h > 22,5$  m

V praxi to znamená, že všechny vícepodlažní budovy s  $h \leq 12$  m mohou mít jako obklad všechny typy výrobků včetně hořlavých (dřevěná prkna či latě, dřevité desky, plastové profily a další), a budovy s  $12 < h \leq 22,5$  m mohou mít obklad z výrobků třídy reakce na oheň B (fasádní kompozitní panely s jádrem z minerálních vláken či polymerním jádrem) za určitých specifických podmínek. Ve stavbách vyšších lze použít výhradně nehořlavé výrobky na obklad (např. kovové kazety či plechy, keramické tvárnice a další), jak ukazuje tab. 5. Příklad skladeb v souladu s výše popsaným je na obr. 32.

tab. 5 Třída reakce na oheň výrobků ve větraných fasádách dle požární výšky objektu

Typ budovy	Tepelný izolant	Obklad	Článek v ČSN 73 0810	Článek v ČSN 73 0802 (ČSN 73 0804)
Jednopodlažní, $h = 0$ m	E	E	3.1.3.1	8.4.12 (9.4.8.)
$0 < h \leq 12$ m	A1, A2 *	E (při dodržení ustanovení ostatních zásad požární bezpečnosti)	3.1.3.4, 3.2.3.1 (Poznámka 2)	8.4.12 (9.4.8.)
$12 < h \leq 22,5$ m	A1, A2 *	B (při dodržení předepsaných podmínek), A1, A2	3.1.3.4, 3.2.3.1	8.4.12 (9.4.8.)
$h > 22,5$ m	A1, A2 *	A1, A2 *	3.1.3.4	-

\* Není jednoznačně uvedeno – předpoklad vychází z článku 3.1.3.4 v ČSN 73 0810

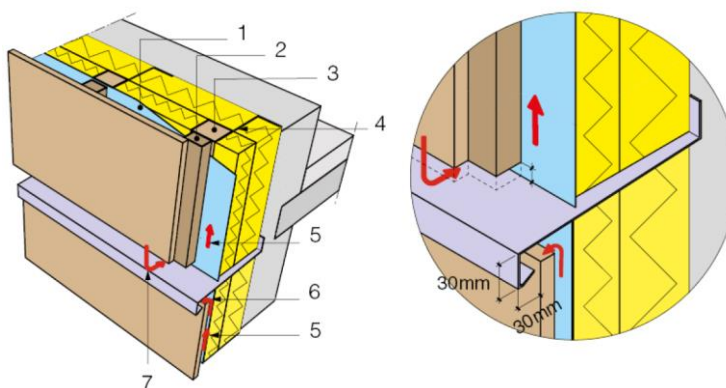
Dalším problematickým prvkem fasádního systému může být difúzně otevřená fólie, která může být umístěna v konstrukci provětrávaného fasádního systému. Na danou problematiku jen okrajově upozorňuje kapitola 3.2.6 věnující se hodnocení druhu konstrukcí. V této kapitole je uvedeno, že do hodnocení nespadá povrchová úprava s tloušťkou do 2 mm a uvolněným teplem do  $15 \text{ MJ/m}^2$ . Do této definice mohou spadat tepelné izolace, jež mají vnější povrch opatřený

polymerovou difúzní fólií. Otázkou však zůstává, zda difúzní fólií lze považovat za povrchovou úpravu, když se jedná o konkrétní výrobek v konstrukci fasádního systému. Pokud by se požadavek na hodnocení druhů konstrukcí přenesl i do požadavků na třídu reakce na oheň výrobků ve fasádním systému, dalo by se konstatovat, že minerální vatu s difúzní fólií lze umístit do konstrukce, ve které jsou výhradně nehořlavé výrobky. Avšak celkové požadavky na difúzní fólie (samostatné či součástí jiného výrobku) nejsou nikterak stanoveny, a dá se říct, že jejich použití je bezpečné jen v jednopodlažních objektech s požární výškou  $h = 0$  m a s třídou reakce na oheň alespoň E.

Též je nutné zmínit skutečnost, že výše popsaná pravidla pro třídu reakce oheň použitých výrobků ve fasádních systémech, mohou ovlivnit přesně definované případy v normách požárního kodexu (např. pokud je stěna v požárně nebezpečném prostoru jiného objektu, musí obsahovat výhradně nehořlavé výrobky při jakékoli požární výšce objektu). Uvedená tab. 5 však názorně ukazuje na nedostatečné řešení provětrávaných fasádních systémů v českém požárním kodexu.

## 5.5 Možnosti zamezení šíření požáru větranou dutinou

Ve výše popsaných kapitolách norem ČSN 73 0802 [23] a ČSN 73 0804 [24] se uvádí, že musí být posouzeno riziko šíření požáru do jiných požárních úseků u budov s požární výškou  $h > 12$  m prostřednictvím konstrukce větrané fasády (větranou mezerou či vrstvou hořlavé tepelné izolace). V ČSN 73 0810 [12] jsou přímo zmíněny překážky pro šíření požáru v provětrávací dutině u budov s  $12 < h \leq 22,5$  m.



obr. 33 Příklad rozdělení větrané dutiny a hořlavé izolace pomocí klempířských prvků; legenda:  
1 – difúzní fólie, 2 a 3 a 4 – prvky nosného roštu obkladu, 5 – proudění vzduchu v dutině,  
6 – výdech vzduchu z dutiny, 7 – nasátí vzduchu do dutiny [16]

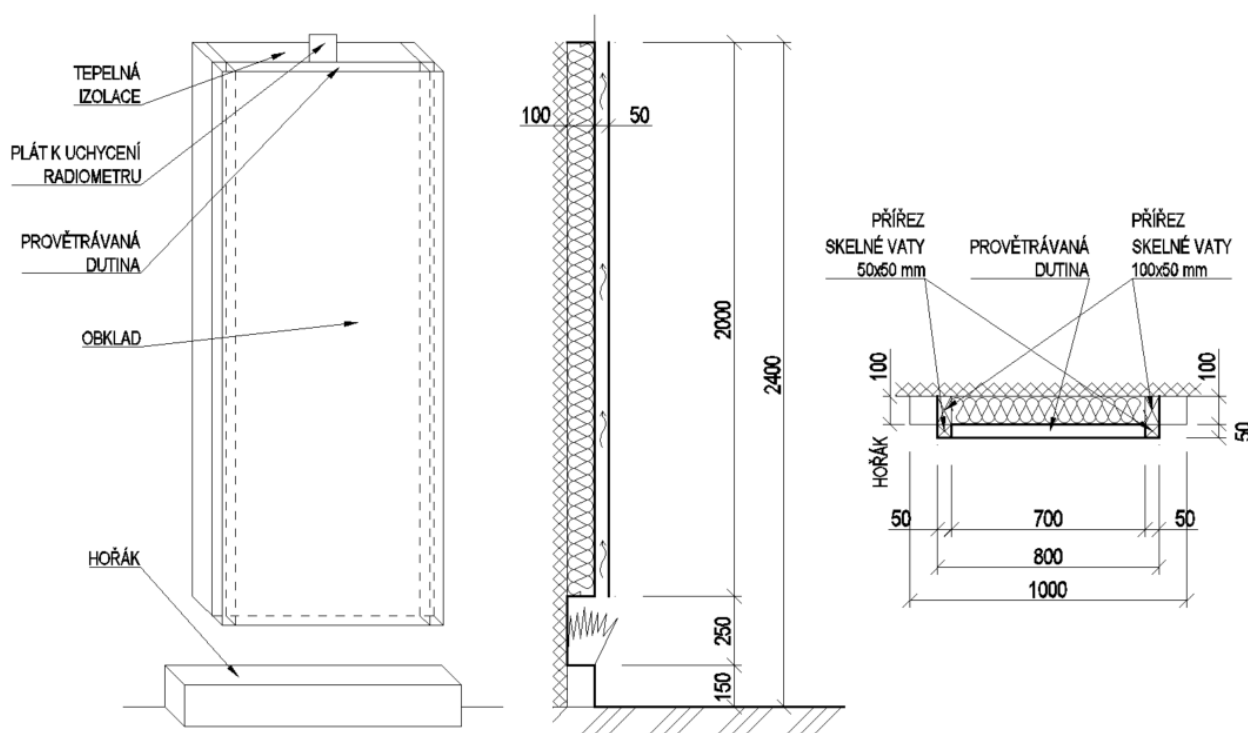
Jedním z návrhů na zamezení tohoto rizika je rozdělení vzduchové dutiny (a hořlavé izolace) pomocí horizontálních nehořlavých pruhů (obdoba požárních pruhů či bariér u kontaktního zateplení) nebo dešťových chlopní, které jsou odolné proti korozi. Tyto chlopně na obr. 33 musí být ve spádu, procházet spárou vnějšího obkladu a zakončeny okapničkou pro odvod vody z dutiny. Alternativou může být použití voděodolných intumescentních bariér, které by za běžného stavu nebránily proudění vzduchu v dutině [16].

## 6 CFD model účinku požáru ve větraném fasádním systému

Model sestavený v této práci je zaměřený na sledování a hodnocení chování provětrávaného fasádního systému v podmínkách podobným zkoušce středního rozměru v souladu s ČSN ISO 13785-1 [11]. Je řešen pomocí matematického modelu požáru za použití programu PyroSim (verze 2018.2.0730), který pracuje na základech softwaru FDS (Fire Dynamics Simulator, verze 6.6.0). FDS spadá do kategorie deterministického modelu typu pole CFD (Computational Fluid Dynamics), který je založený na algoritmech výpočtového proudění tekutin. Pro zobrazení grafických výstupů posloužil program Smokeview verze 6.6.0.

### 6.1 Referenční scénář

Pro účely možných pozdějších porovnání je stanoven referenční scénář (model, obr. 34), za použití podmínek podobných zkoušce středního rozměru [11]. Referenční scénář obsahuje výhradně nehořlavé výrobky a je stanoven pro následné porovnání s modelem, ve kterém je zahrnut hořlavý prvek. Scénář zahrnuje vzorek fasádního pláště s tepelnou izolací z minerálních vláken tl. 100 mm s větranou mezerou šířky 50 mm a délkou 700 mm a obkladem z ocelového plechu. Nosný rošt je z kovových profilů, které vymezují jednu sekci větrané dutiny.



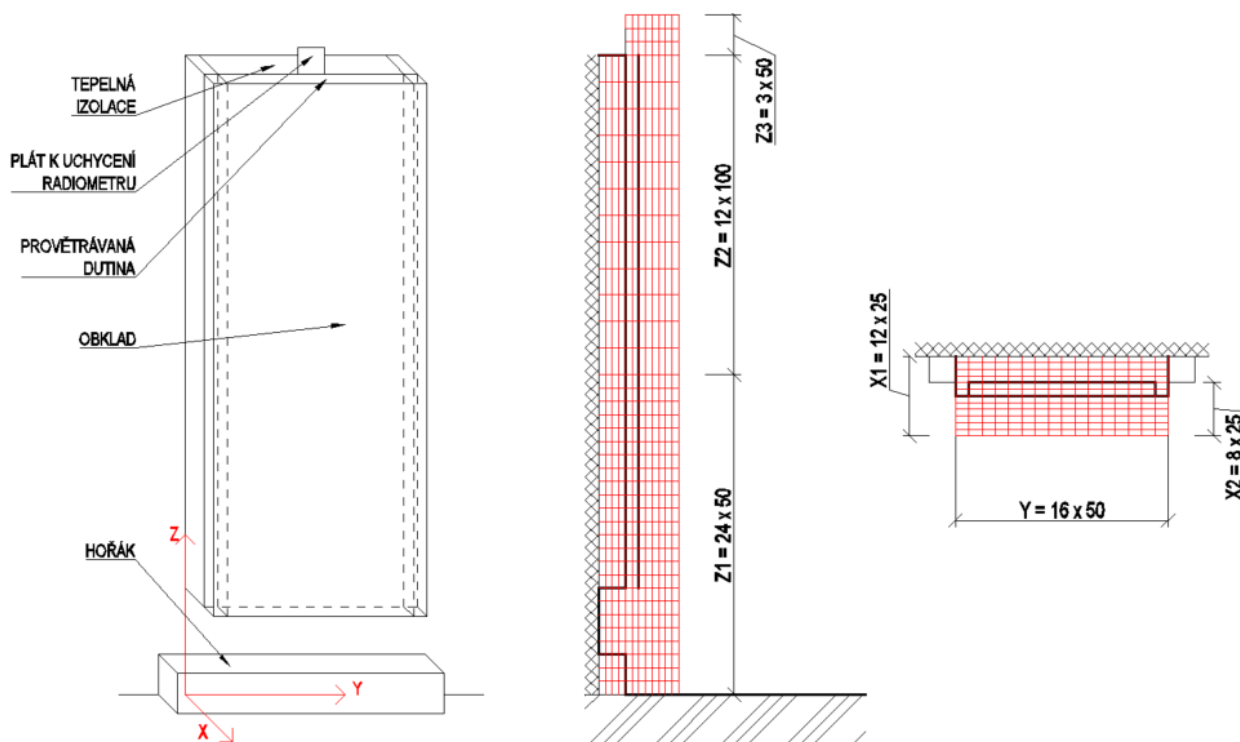
obr. 34 Referenční scénář v axonometrii, svislém řezu a vodorovném řezu

Vzhledem ke složitosti modelování pomocí matematického modelu požáru jsou podmínky zjednodušeny, zanedbány jsou krycí mřížky větrané dutiny, kovové kotvy nesoucí rošt obkladu a difúzní fólie. Samotný charakter plamene je však zachován v souladu s [11], výkon plynového

hořáku je nastaven na 100 kW a zkouška trvá 30 minut. Vzorek fasády je umístěn 250 mm nad horní hranou hořáku. Od simulace vnitřního rohu fasády je upuštěno, pro potřeby tohoto výpočtu postačuje přímý vzorek o délce 0,8 m.

### 6.1.1 Výpočetní síť

Výpočetní síť, respektive velikost výpočetních buněk (kvádrů) byla zvolena s ohledem na geometrii takovým způsobem, aby pokryla provětrávanou dutinou 2 buňkami ve vodorovném směru a zároveň nebyla výpočetně náročná. Výpočetní oblast dosahuje rozměrů 800 x 300 x 2400 mm a je rozdělena do 3 výpočetních oblastí lišících se počtem buněk, jak je patrné z obr. 35. Počet buněk spodní poloviny je 12 x 16 x 24 a v horní polovině 12 x 16 x 12. Nad horní polovinou je navíc malá výpočetní oblast s počtem buněk 8 x 16 x 3. Ve směru osy x je tento menší výpočetní prostor posunut až na hranu dutiny u tepelné izolace, zde je umístěno zařízení pro měření tepelného toku. Celkový počet výpočetních buněk je 7 296.



obr. 35 Rastr výpočetní sítě ve svislém a vodorovném řezu, počátek soustavy vyznačený v axonometrii

V modelovaném prostoru je umístěn hořák, jehož hořící plocha je definována délkou 1000 mm a šířkou 100 mm. Nad jeho horní hranou je vzorek fasády sestávající z tepelného izolantu tl. 100 mm, který má šířku 0,7 m a výšku 2 m (obr. 34). Před izolantem je vzduchová dutina stejné šířky o tloušťce 50 mm a je zaklopena obkladem o nulové tloušťce. Z boku je dutina uzavřena tenkostěnným profilem nulové tloušťky na celou výšku vzorku, za kterým je přířez minerálního vlákna 50 x 50 mm, stejný přířez šířky 100 mm je i na bocích tepelné izolace. Toto uzavření větrané dutiny je z důvodu směřování plamene směrem vzhůru dutinou a slouží k eliminaci úniku tepla z boční části vzorku. Zadní stěna a podlaha jsou namodelovány jako stěny

bez tloušťky, aby pouze simulovaly překážku pro šířící se plamen. Oproti tomu celá přední strana výpočetní oblasti, boční strany kolem hořáku a horní strany jsou nastaveny jako otevřené oblasti, může jimi proudit vzduch. Těž plochy kolem radiometru jsou nastaveny jako otevřené oblasti. Jako sálavá plocha je zadefinována horní plocha spodního kvádrů (hořáku), jejíž výkon je po celou dobu simulace (30 minut = 1800 s) 100 kW/m<sup>2</sup> a jako palivo je zvolen propan.

## 6.1.2 Použité materiály

Použité materiály v referenčním scénáři jsou výhradně nehořlavé, pro tepelný izolant je použita čedičové vlákno a obklad je reprezentován tenkým ocelovým plechem na ocelovém roštu ve formě dvou svislých tenkostěnných profilů. Z boku větrané dutiny jsou umístěny přířezy z čedičového vlákna, jehož technická data jsou od společnosti Isover. Tepelně technické vlastnosti materiálů v tab. 6 jsou zadefinovány s konstantními průběhy v čase a teplotě, jelikož proměnné vlastnosti jsou zásadními zejména pro hodnocení prostupu tepla konstrukcí a ten v modelovaném scénáři není sledován.

tab. 6 Referenční scénář – Tepelně-technické vlastnosti použitých materiálů

<i>Materiál</i>	<i>d [m]</i>	<i>c<sub>d</sub> [J/(kg*K)]</i>	<i>λ [W/(m*K)]</i>	<i>ρ [kg/m<sup>3</sup>]</i>
Čedičové vlákno <sup>6</sup>	0,1	840	0,034	40
Oceľ <sup>7</sup>	0,0	460	45,8	7850

## 6.1.3 Měřicí zařízení

První sledovanou veličinou je teplota horkých plynů ve větrané vzduchové mezeře pod obkladem a v prostoru před obkladem, kterou budou zaznamenávat termočlánky typu K o průměru 1,5 mm. Toto řešení je zvoleno s ohledem na provedený experiment, kterému se věnuje další část diplomové práce, ve kterém jsou teploty zaznamenávány právě pomocí zmíněných termočlánků. Ty v programu PyroSim nemají za úkol měřit čistou teplotu plynu, ale teplotu s ohledem na měřicí vlastnosti samotného termočlánku. Vlastnosti byly ponechány z původního nastavení programu, jedná se emisivitu ( $\epsilon = 0,85$ ), hustotu ( $\rho = 8908 \text{ kg/m}^3$ ) a měrnou tepelnou kapacitu ( $c_d = 0,44 \text{ kJ/(kg*K)}$ ). V modelu jsou termočlánky, dle středněrozměrové zkoušky (ČSN ISO 13785-1 [11]), umístěny v úrovni 900 mm nad podlahou (500 mm nad spodní hranou fasády), na spodní hraně fasády (400 mm nad podlahou) a 1600 mm nad spodní hranou fasádního vzorku (2000 mm nad podlahou), vždy ve 3 kusech v jedné vodorovné přímce.

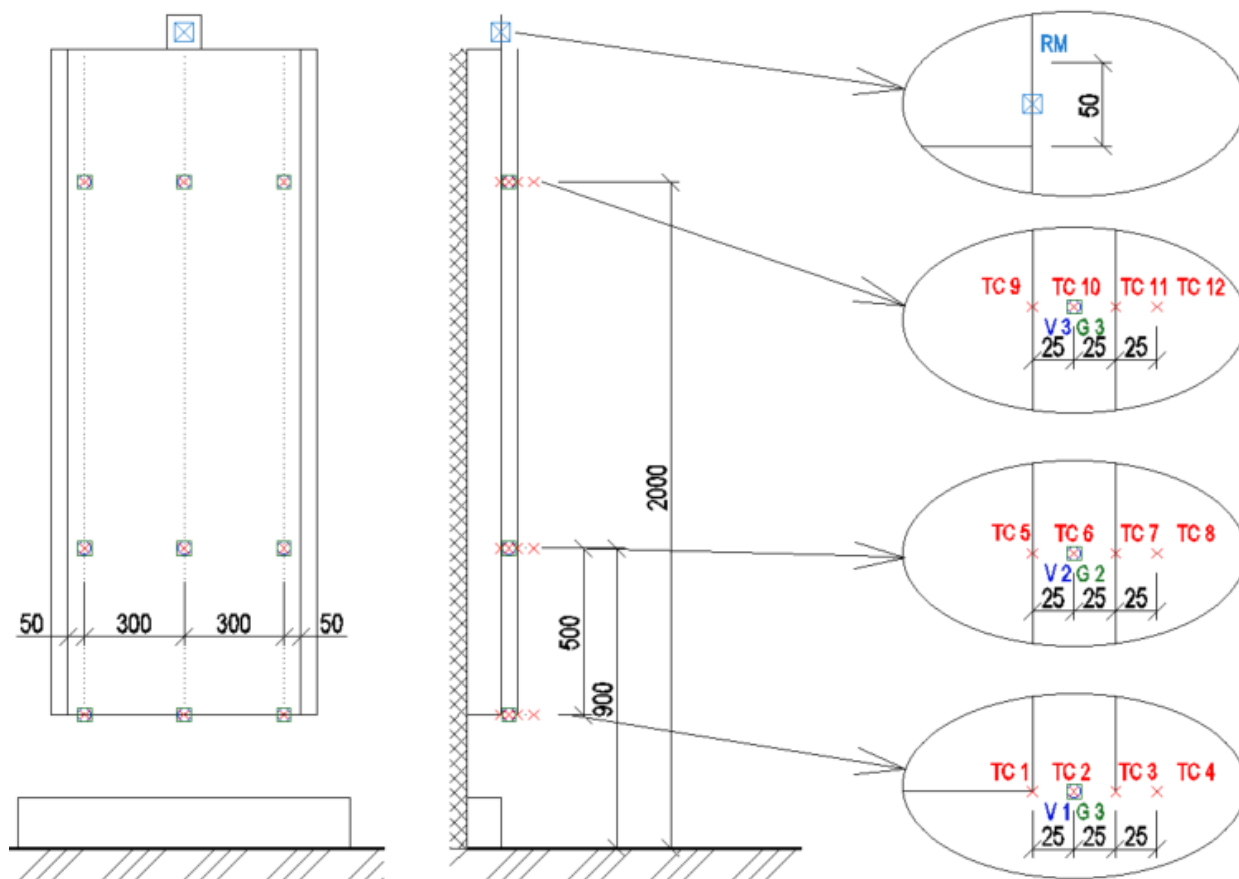
Měření povrchových teplot obkladu probíhá na vnitřním povrchu směrem do dutiny, taktéž na vnějším povrchu. V programu PyroSim jsou tyto měřicí body definovány ve formě měřících povrchových zařízení ve všech 3 výškových úrovních, jak je patrné z obr. 36. Další sledovanou veličinou je rychlost proudění plynů, měřicí body jsou umístěny v ose větrané dutiny na pozici

<sup>6</sup> Data převzata z technického listu společnosti ISOVER.

<sup>7</sup> Data převzata z databáze programu PyroSim.

bodů měřící teploty plynů (spodní hrana fasády, 500 mm nad spodní hranou a 1600 mm nad spodní hranou). Společně s rychlostí vzduchu jsou sledovány tlakové změny v dutině v bodech na shodných pozicích.

Sledovanými prvky jsou dále zdefinované isoplochy, které ukazují aktuální rozložení teploty. Tyto mechanismy slouží pouze k vizuálnímu hodnocení, nezaznamenávají aktuální teploty.



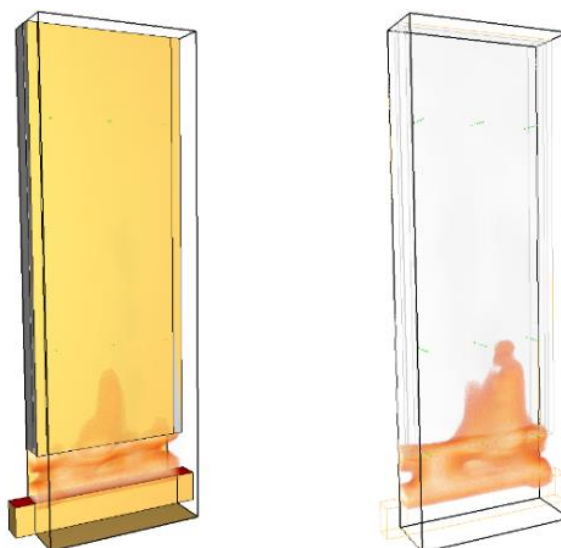
obr. 36 Rozmístění měřících zařízení na bočním a čelním pohledu

#### 6.1.4 Diskuze získaných výsledků

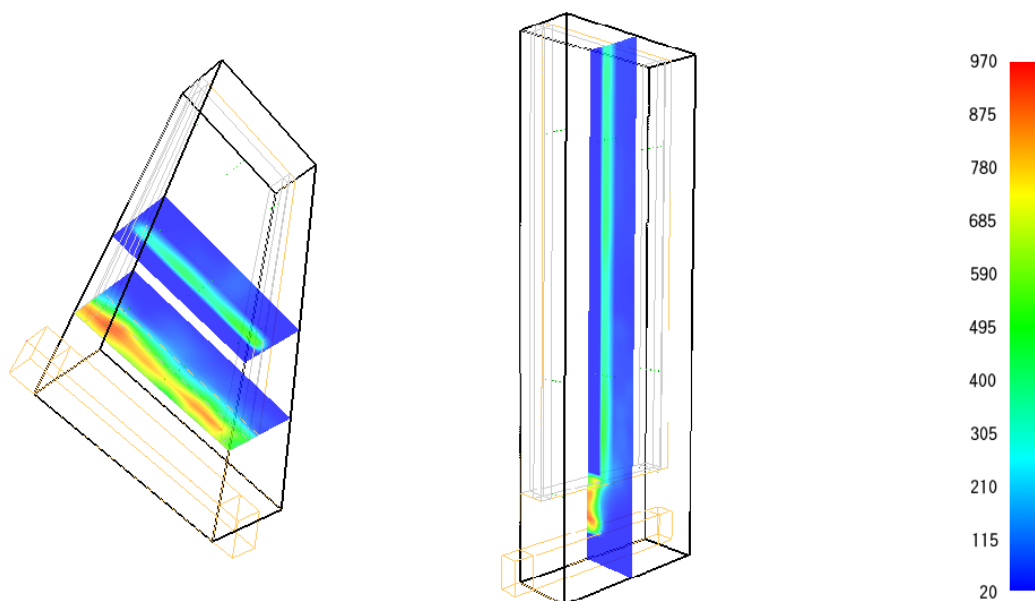
Sledovanými výstupy z programu Pyrosim, respektive Smokeview, jsou vizualizace plamene, na které lze vidět chování požáru v čase simulace. Průběhy teplot plynů a povrchových teplot obkladu, v zdefinovaných bodech o kapitulu výše, jsou zaneseny do grafů a teplotních isoploch, též je zjišťována rychlost proudění vzduchu a tlakové změny ve větrané dutině.

Z vizualizace (obr. 37) je patrné, že většina plamenů (a horkých plynů) míří do větrané dutiny, plameny nárazově a nepravidelně prošlehávají do dutiny po celé její výšce, často i nad fasádní vzorek. Komínový efekt v dutině způsobuje směřování plamene a horkých plynů zejména pod obklad a tento jev je velmi patrný i na teplotních isoplochách (obr. 38). Nejvyšších teplot je dosahováno na spodní hraně vzorku a pod ní. Toto místo bývá i v případě skutečného požáru nejvíce exponováno, jedná se o nadpraží otvoru při vnitřním požáru bytu či místo založení

fasádního systému u soklové oblasti v případě požáru vnějšího. Dosažené teploty cca 1000 °C bývají i v případě skutečných požárů.



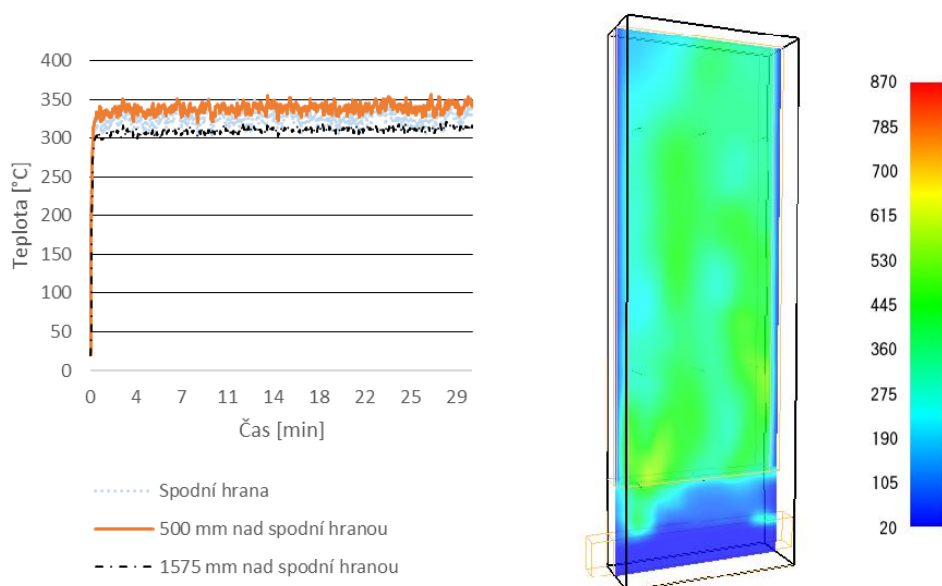
obr. 37 Referenční scénář - vizualizace plamene z programu Smokeview, vpravo lze sledovat prošlehávání plamene do dutiny v čase  $\approx 18$  min



obr. 38 Referenční scénář - ukázka z průběhu teplot v čase  $\approx 17$  min; vlevo rozložení teplot na spodní hraně vzorku a 500 mm nad spodní hranou, uprostřed teploty ve svislé ose, stupnice [°C]

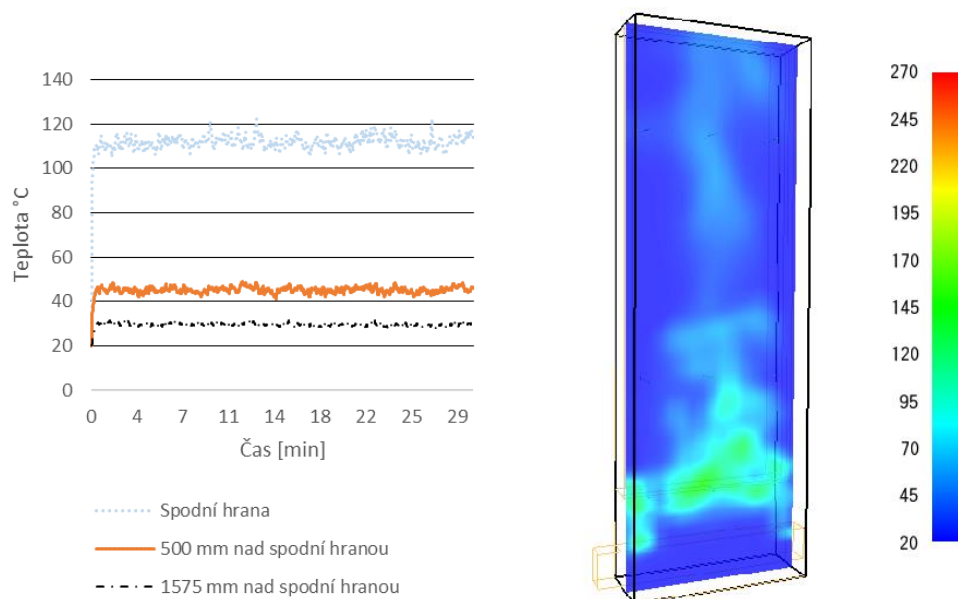
Na následujícím grafu jsou zobrazeny průběhy průměrných teplot plynů v ose větrané dutiny. Průběhy jsou po počátečním rychlém nárůstu konstantní s drobnými pravidelnými výkyvy, nejvyšších teplot bylo dosahováno v úrovni 500 mm nad spodní hranou (max. 356 °C), směrem nahoru teploty velmi mírně klesaly. Na spodní hraně byly průměrné teploty mírně nižší, avšak nejvyšší naměřená 353 °C se téměř shodovala s vyšší úrovní. Teplotní isoplocha v dutině na obr. 39 znázorňuje proměnlivé rozložení teplot po výšce i délce větrané dutiny, avšak změny jsou pravidelné a proto v průměrných teplotách se neprojeví.





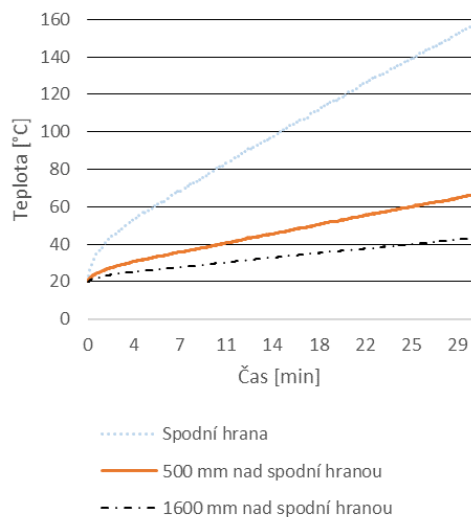
obr. 39 Referenční scénář - průběh průměrných teplot plynů v ose větrané dutiny vlevo, vpravo rozložení teplot [ $^{\circ}\text{C}$ ] v dutině v čase  $\approx 17$  min

Na obr. 40 jsou zobrazeny průběhy teploty plynů 25 mm před obkladem. Naměřené hodnoty jsou řádově nižší než v dutině, jelikož většina horkých plynů mířila do dutiny ve fasádě. Nejvyšších teplot bylo dosaženo na spodní hraně vzorku (max.  $123^{\circ}\text{C}$ ), ve vyšších úrovních jsou teploty mnohem nižší, jelikož zde docházelo k již výraznému promíslení s chladným okolním vzduchem. Nejvyšší teplota v úrovni 500 mm nad spodní hranou byla  $49^{\circ}\text{C}$  a v úrovni 1600 mm nad spodní hranou jen  $32^{\circ}\text{C}$ . Tato teplota také podle grafu vykazuje nejnižší rozptyl naměřených hodnot. Všechny průběhy opět byly po počátečním nárůstu konstantní. Teplotní plocha před obkladem na obr. 40 potvrzuje naměřené rozložení teplot – vyšší teploty byly pouze na spodní hraně vzorku v blízkosti plynového hořáku, což je běžný jev i při zkoušce středního rozměru.



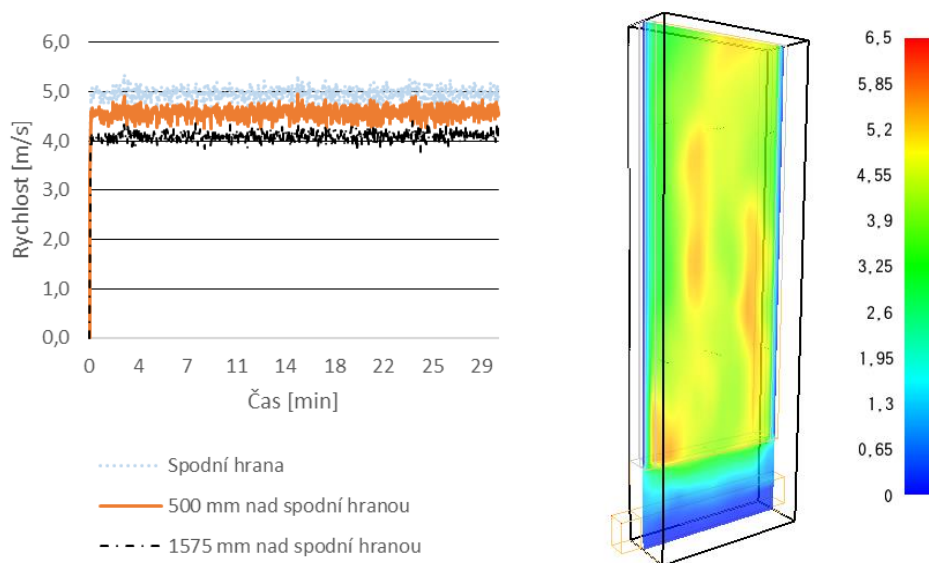
obr. 40 Referenční scénář - průběh průměrných teplot plynů 25 mm před obkladem vlevo, vpravo rozložení teplot [ $^{\circ}\text{C}$ ] před obkladem v čase  $\approx 17$  min

Teplota povrchu obkladu je zde uvedena spíše pro zajímavost, jedná se nehořlavý materiál (ocelový plech). Průměrná teplota po výšce vzorku klesá, jelikož dochází k promísení horkých plynů v těsné blízkosti vzorku s chladným okolním vzduchem. Teploty ve všech sledovaných úrovních vykazují po počátečním rychlejším nárůstu lineární průběhy s maximem na konci simulace (obr. 41), nejvyšší teplota byla změřena na spodní hraně vzorku, číselně 156 °C.



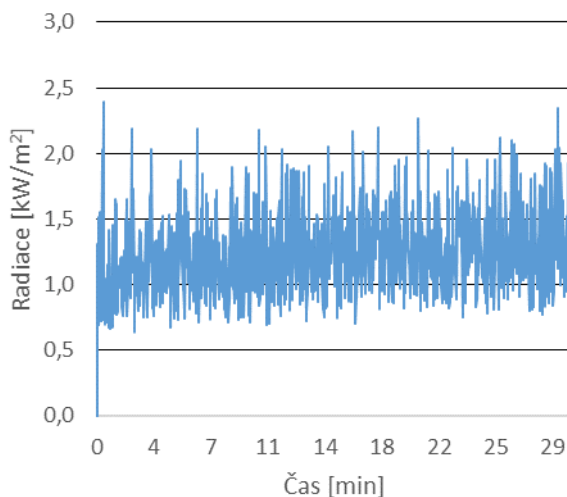
obr. 41 Referenční scénář - průběh průměrných povrchových teplot obkladu

Rychlost proudění horkých plynů v dutině je po celou dobu simulace konstantní ve všech sledovaných úrovních a po výšce vzorku mírně klesající. Nejvyšších rychlostí bylo dosaženo na spodní hraně vzorku (max. 5,4 m/s), v úrovni 500 mm nad spodní hranou byla nejvyšší zjištěná hodnota 5,0 m/s a v úrovni 1600 mm nad spodní hranou byla 4,4 m/s. Rozložení rychlostí na obr. 42 znázorňuje skutečnost, že rychlost byla proměnná po vodorovném průřezu dutinou, kdy docházelo ke skokovým změnám a lokálně dosahovaly rychlosti proudění hodnot přes 6 m/s.



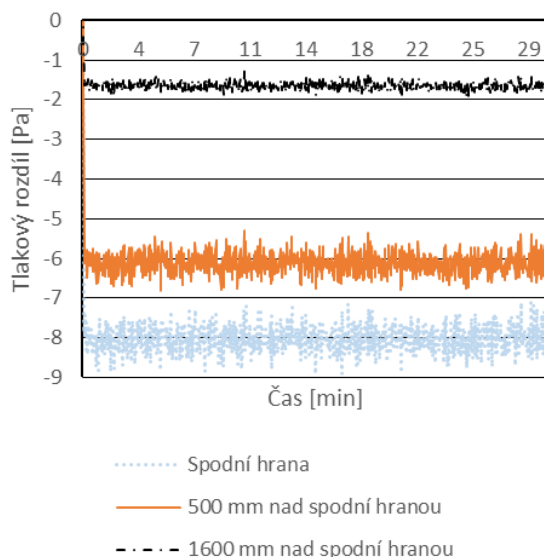
obr. 42 Referenční scénář - průběh rychlosti proudění plynů v ose větrané dutiny vlevo, vpravo rozložení rychlostí [m/s] v dutině v čase  $\approx 17$  min

Další měřenou fyzikální veličinou je sálavá složka tepelného toku, zaznamenával ji radiometr umístěný nad horní hranou vzorku. Po celou dobu simulace se zjištěná radiace pohybovala po konstantní křivce s výrazným rozptylem hodnot (obr. 43), maximální naměřená hodnota dosáhla hodnoty  $2,5 \text{ kW/m}^2$ .



obr. 43 Referenční scénář - průběh naměřené hustoty tepelného toku nad fasádním vzorkem

V ose větrané dutiny byl též zjišťován tlak<sup>8</sup>. Na obr. 44 lze vidět, že ve všech třech měřených úrovních vzniká podtlak, jehož velikost se po výšce vzorku snižuje, nejvyšší hodnoty byly naměřeny na spodní hraně vzorku.



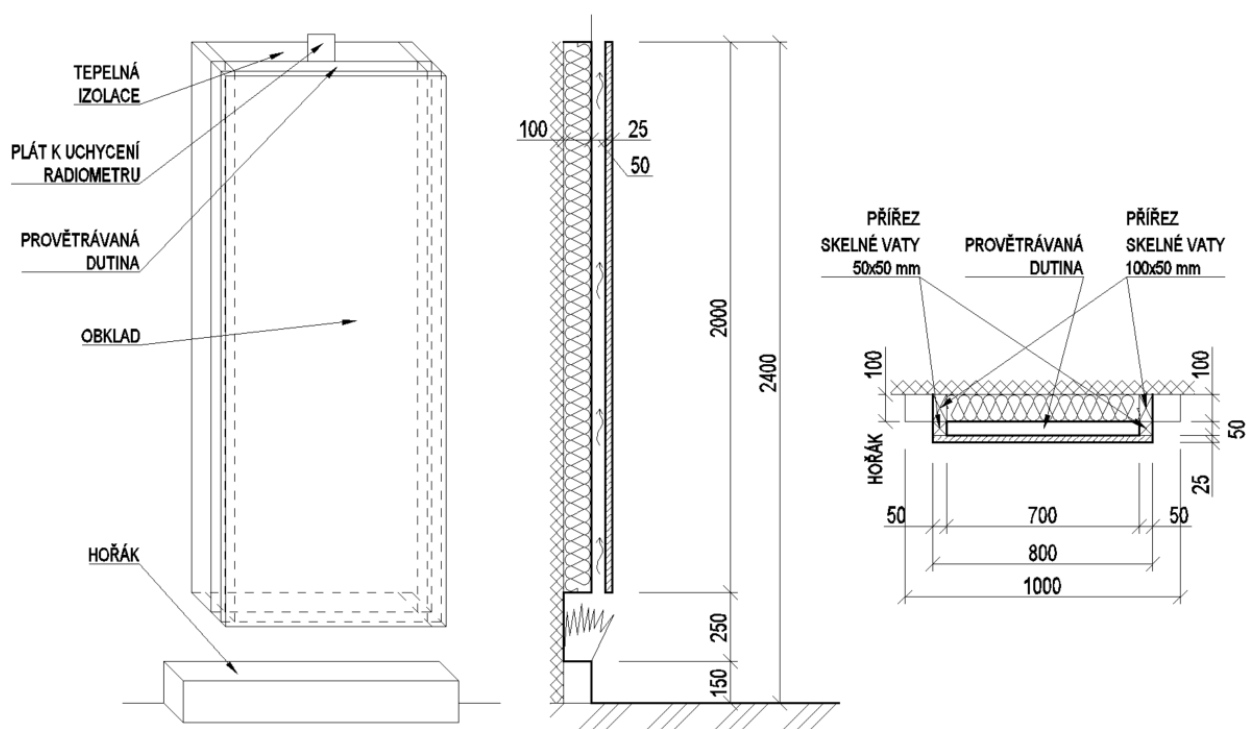
obr. 44 Referenční scénář - průběh průměrných tlakových rozdílů v ose větrané dutiny

<sup>8</sup> Technické reference softwaru FDS uvádí, že tlak v dané zóně je lineární kombinací tlaku na pozadí indikovaným průtokem porušovacího tlaku. Pokud je zmíněný porušovací tlak částí statického tlaku, která místně interaguje s průtokem a není součástí globální tlakové rovnice, pak zjištěné množství tlaku je relativní vůči statickému tlaku v dané zóně. Zjištěné hodnoty vyjadřují, zdali v měřeném bodě vzniká přetlak (+) či podtlak (-) ve srovnání s atmosférickým tlakem (101 325 Pa)

Manuály k programům FDS a Smokeview - <https://pages.nist.gov/fds-smv/manuals.html>

## 6.2 Model s hořlavým obkladem

Druhým scénářem je model fasádního vzorku, ve kterém je zahrnut prvek vykazující hořlavost – dřevěný deskový obklad třídy reakce na oheň D. Jde o přiblížení se skutečným situacím, kdy se z estetických důvodů používá dřevo jako pohledová vrstva, často ve formě dřevěných hranolů. Zde je však použita dřevoštěpková deska z důvodu kompletního bezesparého zakrytí větrané dutiny. Další změnou je zakrytí tepelného izolantu na spodní straně základací deskou (obr. 45).



obr. 45 Model s hořlavým obkladem v axonometrii, svislém řezu a vodorovném řezu

### 6.2.1 Použité materiály

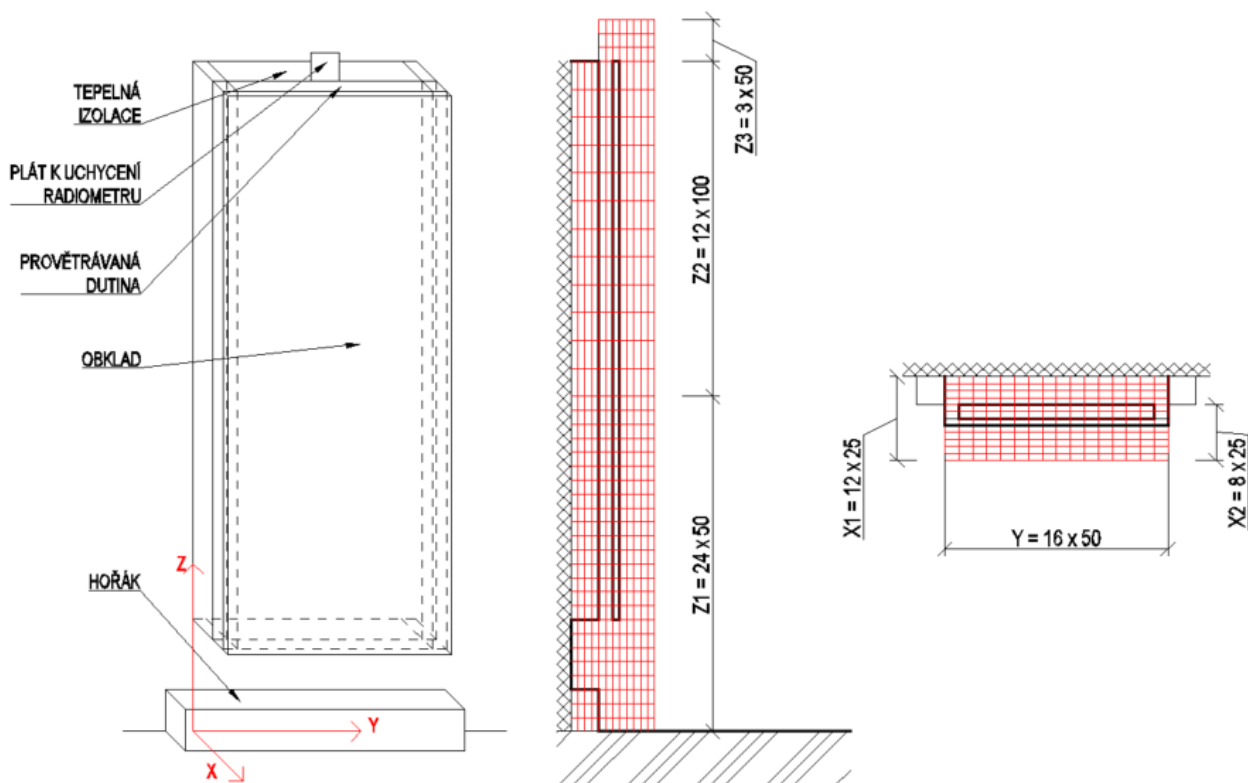
Obklad je z dřevěné borovicové desky, a jelikož se jedná o hořlavý materiál, byly mu přiřazeny další vlastnosti, které shrnuje tab. 7. Konkrétně se jedná o výhřevnost  $\Delta H_c$  a teplotu vzplanutí  $T_i$ . Spodní základací plech izolantu je z oceli, ostatní materiály jsou stejné s referenčním scénářem (tab. 6). Povrchu obkladu byla přiřazena křivka uvolňování tepla získaná z kónického kalorimetru [25], která byla přepočítána na plošný  $t^2$  požár. Do softwaru PyroSim se křivka uvolňování tepla zadává funkcí poměru aktuálního výkonu na metr čtverečný ku maximálnímu dosaženému v závislosti na čase, zmíněný převod na poměrné hodnoty je uveden v Příloze 3 této práce.

tab. 7 Model s hořlavým obkladem – tepelně-technické vlastnosti použitých materiálů

Materiál	$d$ [m]	$c_d$ [J/(kg*K)]	$\lambda_u$ [W/(m*K)]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\Delta H_c$ [kJ/g]	$T_i$ [°C]
Borovice [6], [26]	0,025	2850	0,14	640	19,4	412

## 6.2.2 Výpočetní síť

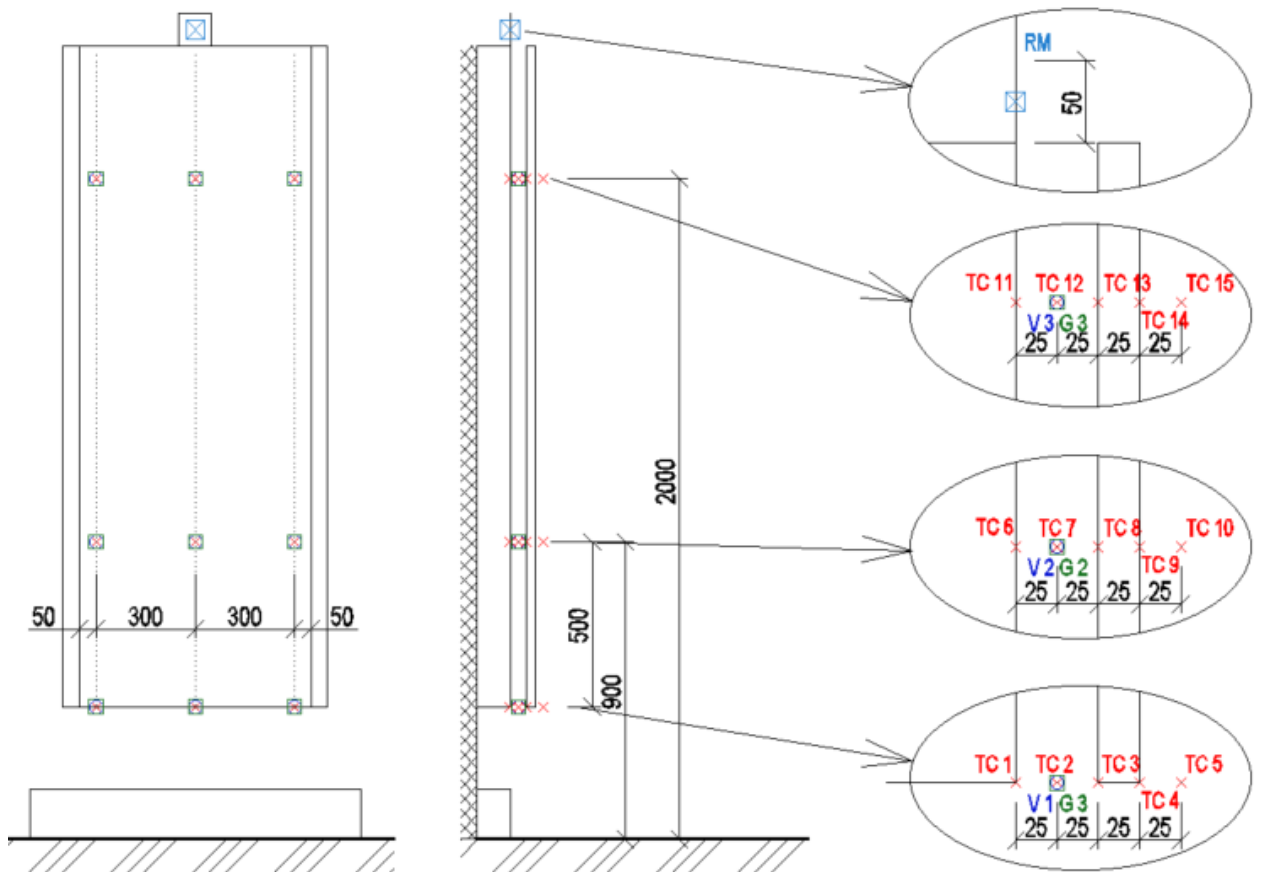
Rastr výpočetní sítě je shodný s referenčním scénářem z předchozí podkapitoly a je zobrazen na obr. 46. Opět je modelovaný prostor rozdělen na 2 hlavní výpočetní oblasti lišící se počtem buněk ve svislém směru a menší výpočetní oblasti nad vzorkem z důvodu zaznamenávání hustoty tepelného toku.



obr. 46 Model s hořlavým obkladem – výpočetní síť v modelu s hořlavým obkladem, celkový počet výpočetních buněk je 7 296

## 6.2.3 Měřicí zařízení

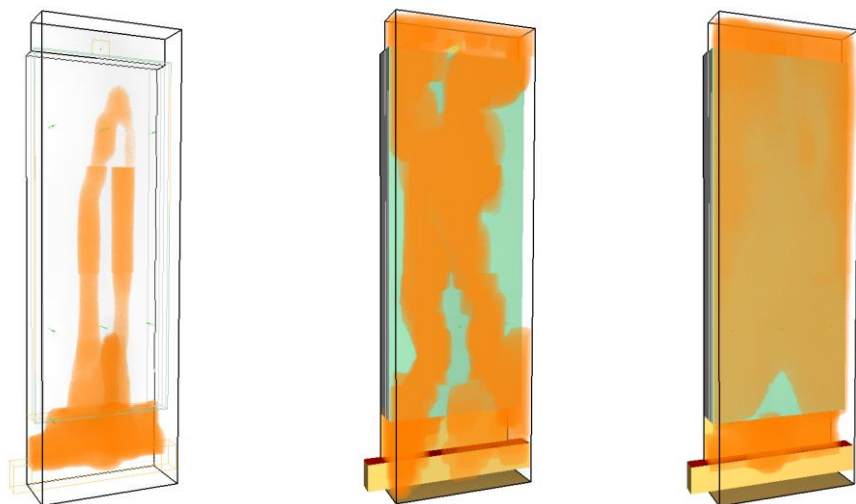
Teplota horkých plynů v ose větrané dutiny i před obkladem je zaznamenávána opět pomocí termočlánků typu K s průměrem 1,5 mm, v každé výškové úrovni vzorku bude naměřena teplota zjištěna aritmetickým průměrem ze tří termočlánků. Dále je zjišťována povrchová teplota na obou površích obkladu, a to na spodní hraně vzorku, 500 mm nad spodní hranou 1600 mm nad spodní hranou. V ose větrané dutiny je měřena rychlost proudění horkých plynů a tlakové změny. Dále je měřen sálavý tepelný tok nad větranou dutinou pomocí radiometru (obr. 47). Umístěn je z důvodu přítomnosti hořlavého materiálu (dřevěný obklad), který při požáru uvolňuje další teplo. Opět jsou nadefinovány plochy ukazující aktuální rozložení teploty a rychlosti proudění.



obr. 47 Rozmístění měřících bodů na modelu s hořlavým obkladem

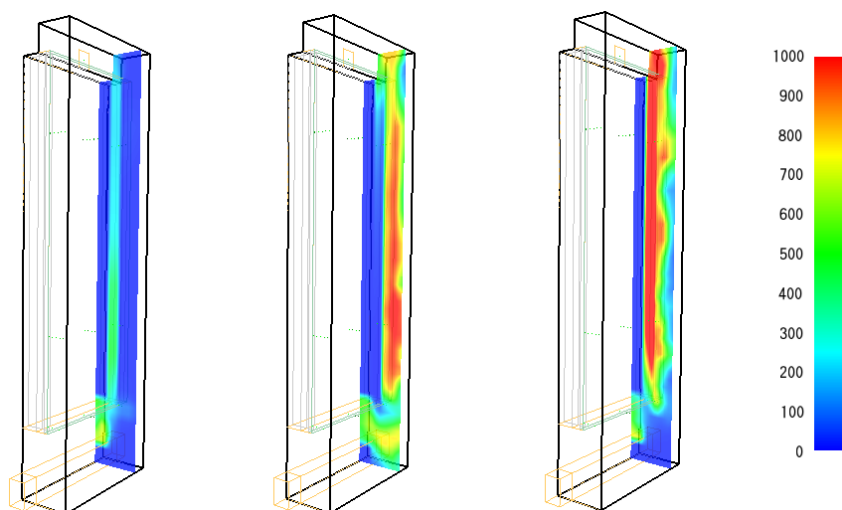
### 6.2.4 Diskuze získaných výsledků

Sledovanými veličinami jsou opět vizualizace plamene (obr. 48), průběhy teplot plynů, povrchové teploty obkladu, rychlosti proudění, tlakové změny v zadaných bodech o kapitole výše, též teplotní a rychlostní plochy zobrazující aktuální rozložení teploty.



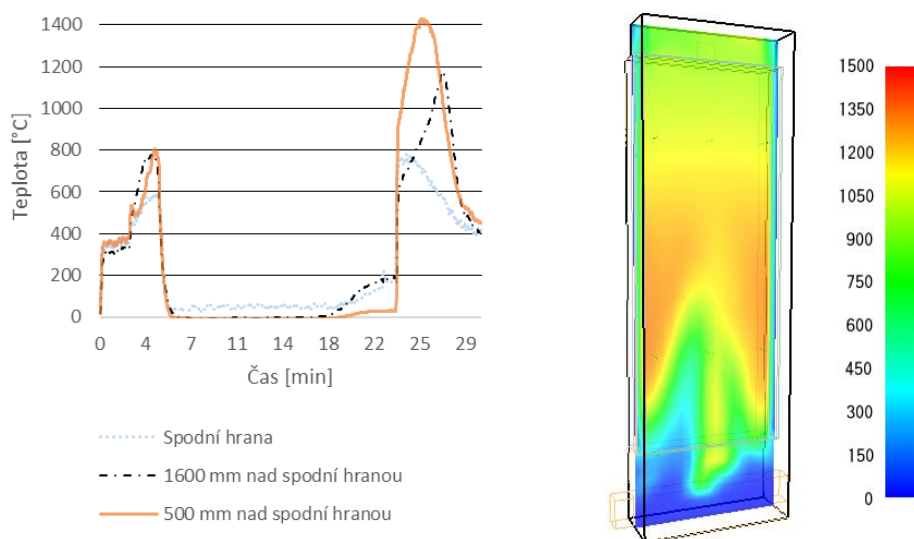
obr. 48 Model s hořlavým obkladem – vizualizace plamene; zleva: v čase  $\approx 2$  min většina plamenů směřuje do dutiny, v čase cca 6 minut hoří vnější povrch obkladu a většina plamenů míří před obklad, v čase 14 minut hoří obklad z obou stran

Průběh simulace vzorku s hořlavým obkladem na obr. 49 lze rozdělit do tří intervalů. První zahřívání trvá přibližně 4,5 minuty a probíhá podobně jako v referenčním scénáři. Horké plyny jsou v naprosté většině směřovány do větrané dutiny pod obkladem. Druhá fáze navazuje na první a trvá do času cca 1400 s (23,3 minuty), při které dojde k zahoření vnější strany dřevěné obkladové desky a naprostá většina horkých plynů je od hořáku směřována před obklad. V poslední fázi dochází k zahoření dřevěné desky i z vnitřní strany směrem k dutině, při níž teploty i rychlosti proudění v dutině dosahují maximálních hodnot a následuje postupný pokles měřených hodnot.



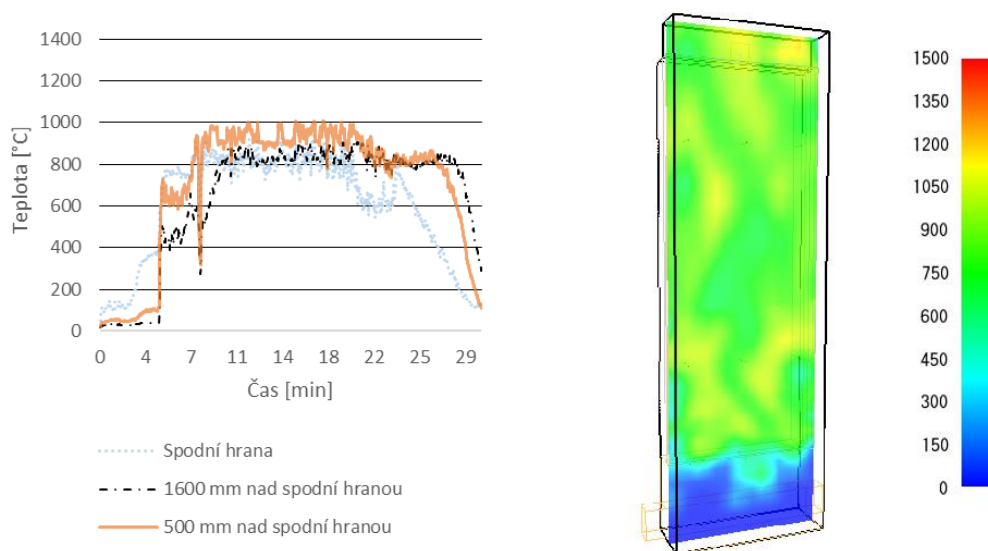
obr. 49 Model s hořlavým obkladem – teplotní isoplocha kolmo na vzorek se stupnicí [°C], čas simulace vlevo  $\approx 2$  min, uprostřed  $\approx 20$  min a vpravo  $\approx 26$  min

Průběh průměrných teplot v ose větrané dutiny je zobrazen na obr. 50 a je z něj patrné zmíněné rozdělení do tří časových úseků. V první fázi byly dosaženy nejvyšší teploty mírně nad 800 °C (v úrovni 500 mm nad spodní hranou), ve druhé fázi je patrný prudký pokles teplot. V poslední fázi byly nejvyšší naměřené hodnoty 1429 °C (opět v úrovni 500 mm nad spodní hranou vzorku) a následoval postupný pokles.



obr. 50 Model s hořlavým obkladem – průběh průměrných teplot plynů v ose větrané dutiny vlevo, vpravo rozložení teplot [°C] v dutině po zahoření dřevěného obkladu obou stran v čase  $\approx 26$  min

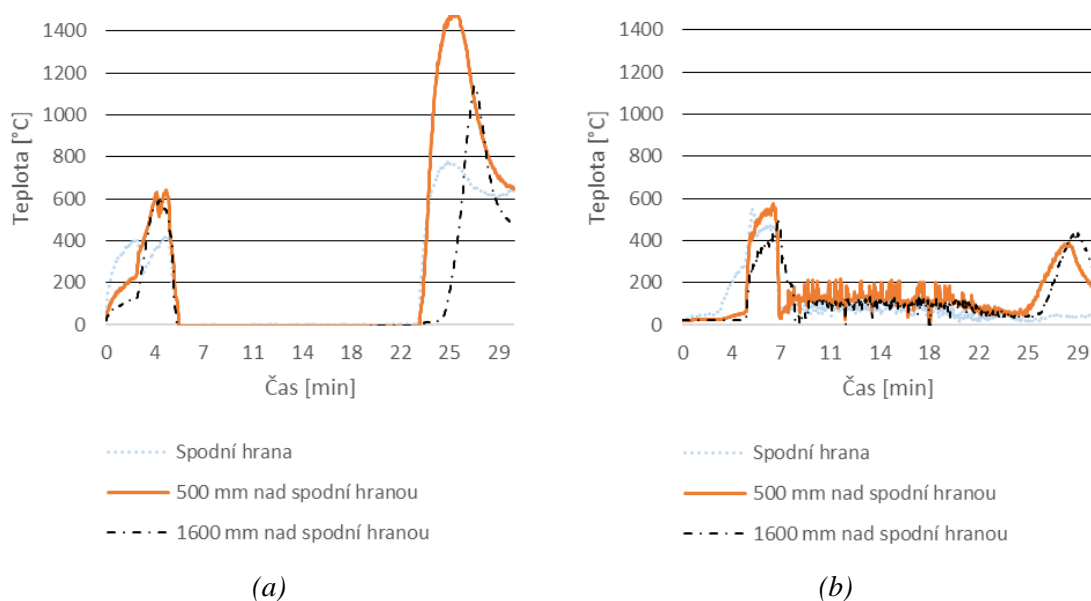
Průběhy teplot ve vzdálenosti 25 mm před obkladem vykazují přibližně opačný charakter oproti teplotám v dutině, avšak na obr. 51 je též možné sledovat rozdělení na 3 časové úseky dle naměřených teplot. V první fázi je pomalejší nárůst teplot, po zahoření vnější strany obkladu dojde k prudkému nárůstu a zaznamenají se nejvyšší naměřené hodnoty (max. 1007 °C v úrovni 500 mm nad spodní hranou vzorku). Tato druhá fáze je konstantní, v závěru dochází k poklesu teplot a při zahoření vnitřní strany obkladu následuje další, avšak kratší konstantní fáze, která je zakončená poklesem naměřených teplot. Z grafu je patrná fluktuace hodnot z důvodu mísení horkých plynů s chladným okolním vzduchem.



obr. 51 Model s hořlavým obkladem – průběh průměrných teplot plynů 25 mm před obkladem vlevo, vpravo rozložení teplot [°C] před obkladem po zahoření dřevěného obkladu obou stran v čase  $\approx 26$  min

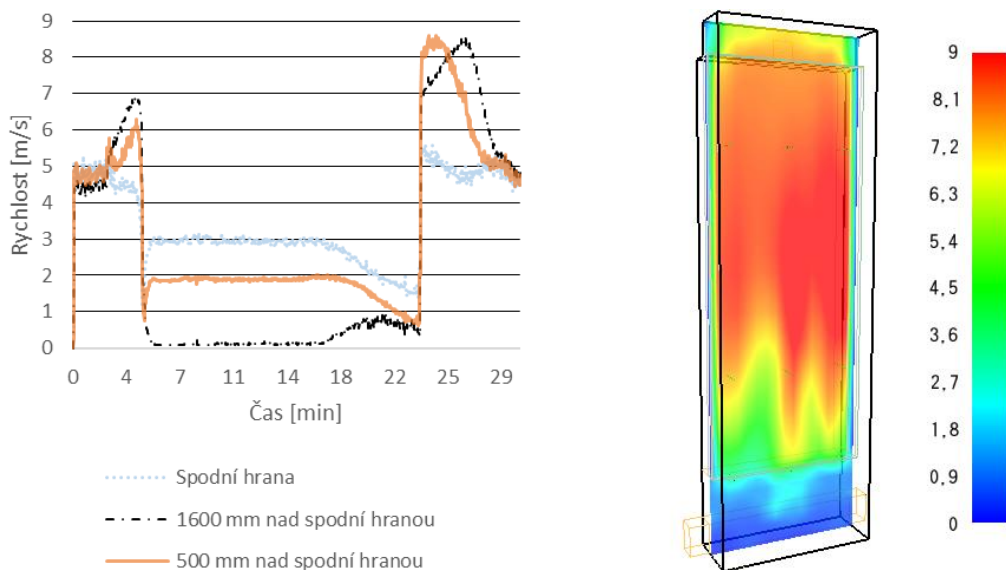
Teploty na vnitřním povrchu obkladu (obr. 52a) byly velmi podobné teplotám plynů v dutině, které změřily termočlánky. Lokální maxima v prvním i posledním intervalu byly opět nejvyšší v úrovni 500 mm nad spodní hranou vzorku, nejvyšší změřená teplota 1494 °C byla opět v poslední fázi po zahoření obkladu z obou stran. Průběh teplot na vnějším povrchu obkladu (obr. 52b) je odlišný v jednotlivých intervalech, počáteční nárůst teplot není tak prudký, avšak v tomto intervalu byly naměřeny nejvyšší teploty v průběhu simulace (574 °C v úrovni 500 mm nad spodní hranou). Ve druhé fázi jsou teploty opět nejnižší, ovšem zde již do naměřených teplot promlouvá promíchaný okolní chladný vzduch a na průbězích je patrný velký rozptyl hodnot. V poslední fázi opět dochází v úrovních 500 mm a 1600 mm nad spodní hranou k nárůstu teplot k lokálním maximům a následnému poklesu, na spodní hraně teplota zůstává přibližně konstantní.





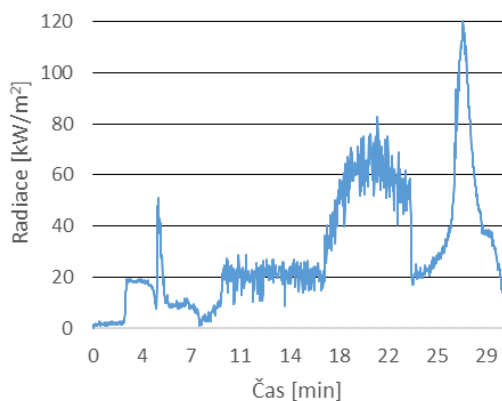
obr. 52 Model s hořlavým obkladem – průběh průměrných povrchových teplot obkladu: (a) na povrchu směrem do dutiny; (b) vnější povrch

Průběh průměrných rychlostí proudění horkých plynů v dutině vykazuje podobný průběh jako teploty plynů. V první fázi dochází v úrovních 500 a 1600 mm nad spodní hranou vzorku k nárůstu (pouze na spodní hraně dochází k mírnému poklesu), ve druhé fázi po prudkém poklesu jsou naměřeny po většinu času konstantní hodnoty a v poslední části po prudkém nárůstu jsou naměřeny nejvyšší hodnoty v celé simulaci (v úrovni 500 mm nad spodní hranou 8,6 m/s, v úrovni 1600 mm též hodnota), poté dochází k mírnému poklesu. V prvních dvou intervalech jsou lokální extrémy v úrovni 1600 mm nad spodní hranou. Rozložení rychlosti proudění horkých plynů je patrné z obr. 53, je zde též vidět, že směrem od spodní hrany vzorku je rychlost stoupající a k horní hraně, kde již dochází k mísení s okolním a vzduchem.



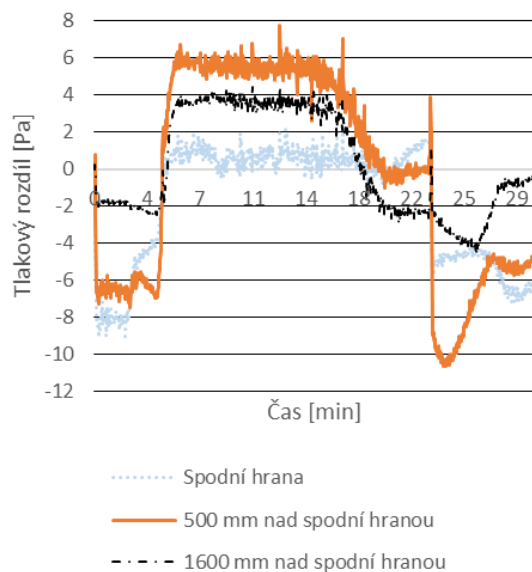
obr. 53 Model s hořlavým obkladem – průběh rychlosti proudění plynů ve větrané dutině vlevo, vpravo rozložení rychlostí [m/s] v dutině po zahoření obkladu z obou stran v čase  $\approx 26$  min

Další sledovanou veličinou je sálavá tepelného toku nad fasádním vzorkem. Měřící zařízení bylo umístěno nad větranou dutinou v úrovni povrchu tepelného izolantu a do výsledného průběhu se promítá složka plynového hořáku pod vzorkem a i teplo uvolněné během procesu hoření dřevěného deskového obkladu. Rozdílný rozptyl naměřených hodnot na obr. 54 ukazuje na stejné rozdělení do časových úseků jako v případě ostatních sledovaných veličin. V první fázi se po většinu času držela hodnota tepelného toku pod  $20 \text{ kW/m}^2$ , avšak lokálně došlo k výraznému navýšení a rychlému poklesu zpět. Ve druhém intervalu, po zahoření vnější strany dřevěné desky, je patrná výrazná fluktuace hodnot, po úvodní konstantní části následují konkávní část s lokálním extrémem nad hodnotou  $80 \text{ kW/m}^2$ . Poslední fáze se vyznačuje prudkým nárůstem do maximální naměřené hodnoty za celou dobu simulace  $120 \text{ kW/m}^2$  a následným rychlým poklesem.



obr. 54 Model s hořlavým obkladem – průběh naměřené sálavé složky tepelného toku nad fasádním vzorkem

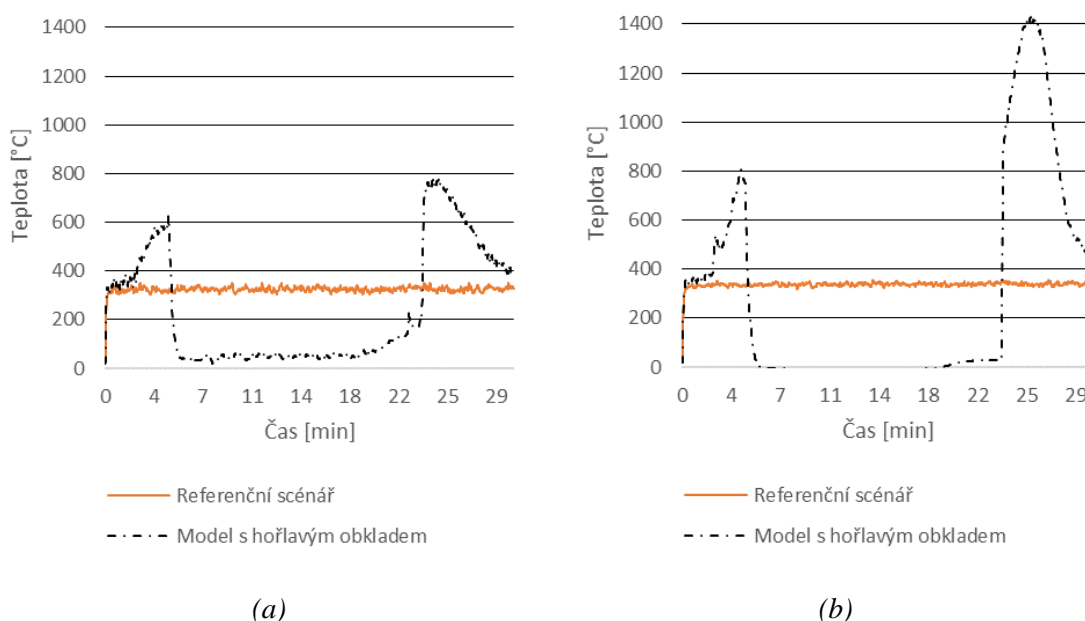
Průběhy tlakových rozdílů na obr. 55 taktéž naznačují rozdělení do tří intervalů podobně jako předchozí měřené veličiny. Záporné hodnoty v první fázi značí podtlak, který se ve druhé fázi mění v kladné hodnoty přetlaku. Ke konci druhé fáze přichází pokles ukončený razantním přechodem do poslední fáze podtlaku. Nejvyšší hodnoty byly zjištěny v úrovni 500 mm nad spodní hranou, konkrétně  $7,8 \text{ Pa}$  ve druhé fázi a  $-10,6 \text{ Pa}$  ve třetí fázi.



obr. 55 Model s hořlavým obkladem – průběhy průměrných tlakových rozdílů v ose větrané dutiny

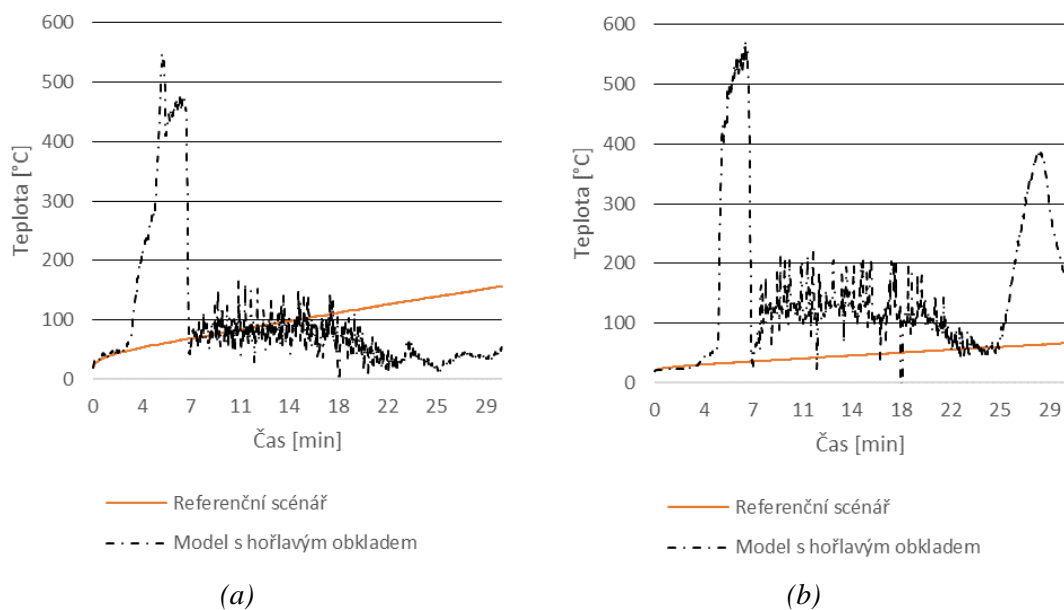
### 6.3 Porovnání modelovaných případů

Teploty plynů ve větrané mezeře se při aplikaci hořlavého prvku zcela mění. Při nehořlavém obkladu je průběh konstantní, kdežto ve druhém případě je tvar průběhu závislý na způsobu a času zahoření hořlavého prvku. Největší rozdíl mezi oběma modely lze vidět na obr. 56, konkrétně v úrovni 500 mm nad spodní hranou, kde je rozdíl maximálních naměřených teplot v průběhu simulace cca 1000 °C.



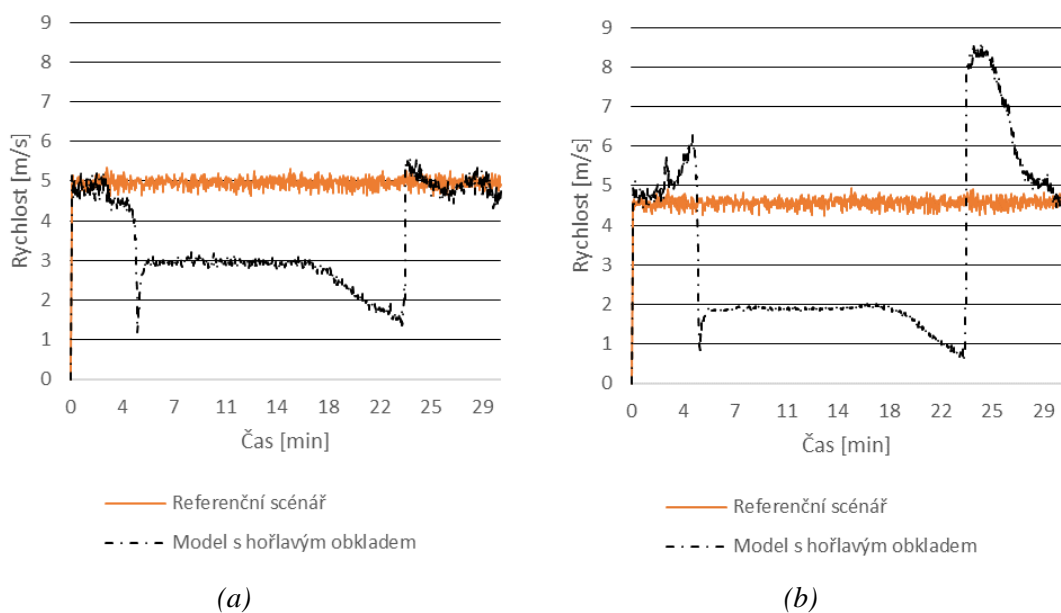
obr. 56 Porovnání průměrných teplot plynů v ose větrané dutiny: (a) Spodní hrana; (b) 500 mm nad spodní hranou

Rozdíly v průbězích průměrných teplot vnějšího povrchu obkladu jsou patrné z obr. 57. Opět byly v obou modelech zjištěny výrazně odlišné průběhy, lineárnost ocelového obkladu referenčního scénáře ostře kontrastuje s měnícím se průběhem v případě modelu s obkladem z dřevěné desky. Do průběhu teplot u druhého modelu navíc výrazně promluvílo promíchání horkých plynů s chladným okolním vzduchem, na grafech je patrná výrazná fluktuace hodnot, zejména ve druhém intervalu, ve kterém došlo k zahoření právě vnějšího povrchu hořlavého obkladu. Rozdíl naměřených hodnot je výraznější v úrovni 500 mm nad spodní hranou, z hlediska naměřených hodnot je tato oblast nejvíce zatížená. Nejvyšší naměřené hodnoty u obou modelů zde dosahují rozdílu téměř 500 °C.



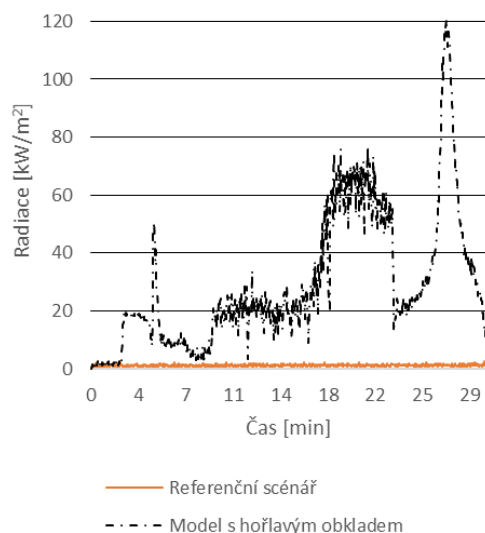
obr. 57 Porovnání průměrných teplot plynů vnějšího povrchu obkladu; (a) Spodní hrana, (b) 500 mm nad spodní hranou

Rychlosti proudění horkých plynů ve větrané dutině též vykazují odlišné průběhy v obou modelech (obr. 58). Na spodní hraně fasádního vzorku se však nejvyšší naměřené hodnoty liší pouze o cca 0,5 m/s, a to v případě posledního intervalu, kdy došlo k zahoření hořlavé obkladové desky i na vnitřním povrchu. V první fázi jsou průběhy velmi podobné, téměř identické, ve druhé fázi došlo k výraznému poklesu u modelu s hořlavým obkladem, a to z důvodu směrování horkých plynů před obklad. V úrovni 500 mm nad spodní hranou jsou průběhy podobné jako v nižší úrovni, dochází zde však navýšení lokálních extrémů v jednotlivých intervalech, rozdíl nejvyšších naměřených hodnot u obou modelů činí cca 4 m/s.



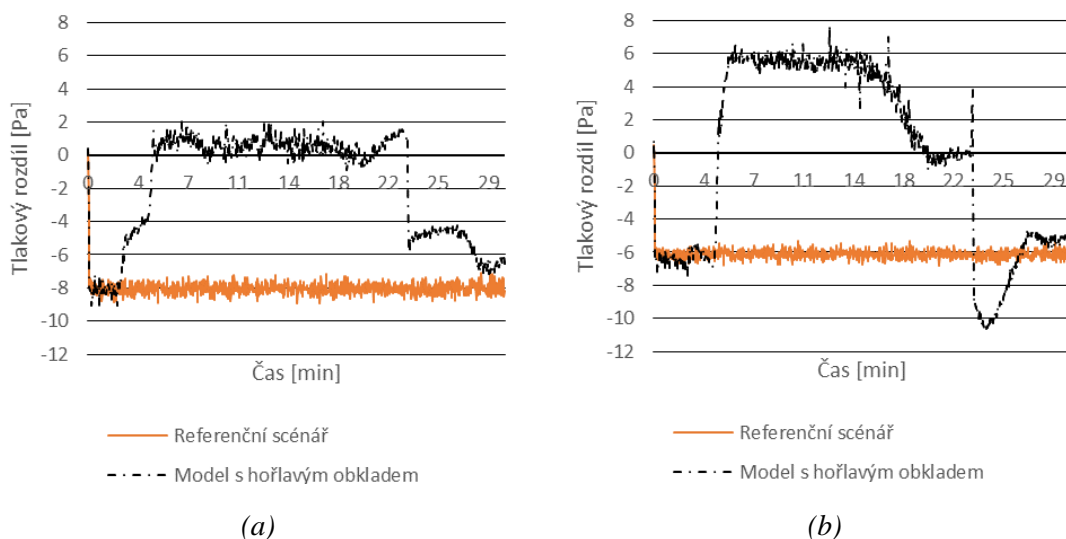
obr. 58 Porovnání průměrných rychlostí proudění horkých plynů v ose větrané dutiny; (a) Spodní hrana; (b) 500 mm nad spodní hranou

Sálavá složka tepelného toku byla zjišťována nad vzorkem, 50 mm nad větranou dutinou při povrchu tepelného izolantu. Porovnání zjištěných průběhů je na obr. 59. Hodnotově i průběhově se průběh u obou modelů zásadně liší, tento jev způsobil hořlavý dřevěný obklad u druhého modelu, který uvolňoval další teplo v průběhu simulace. Též rozptyl hodnot je výrazně vyšší u modelu s hořlavým obkladem.



obr. 59 Porovnání sálavé složky tepelného toku 50 mm nad fasádním vzorkem

Průběhy tlakových rozdílů v ose větrané dutiny jsou též velmi ovlivněny hořlavou obkladovou deskou. První fáze je obou modelů velmi podobná, ale po zahoření dřevěné desky u druhého modelu přichází výrazný rozdíl, který souvisí se změnami rychlosti proudění horkých plynů a jejich směřování ven před obklad, kdežto u referenčního scénáře plyny i nadále ve většině směřovaly do dutiny. Při poklesu v poslední fázi u modelu s hořlavým obkladem se na závěr simulace hodnoty opět přiblížily k hodnotám z referenčního scénáře. Největší rozdíl v naměřených tlacích na obr. 60 je v úrovni 500 mm nad spodní hranou, konkrétně ve druhé fázi při zahoření vnější strany hořlavého obkladu (cca 12 Pa).



obr. 60 Porovnání tlakových rozdílů v ose dutiny: (a) Spodní hrana; (b) 500 mm nad spodní hranou

## 7 Požární zkouška provětrávaného fasádního systému včetně porovnání s CFD modelem

Zkouška zahrnovala 3 vzorky větraných fasád s proměnnými materiály obkladu a konala se ve dnech 7., 12. a 13. 12. 2018 v požární laboratoři Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT v Praze<sup>9</sup>. Důvodem pro zrealizování těchto zkoušek je upozornění na problematiku chování větraných fasádních systémů při požáru. Série zkoušek je založena na systému zkoušky středního rozměru dle ČSN ISO 13785-1 [11], avšak na vzorcích o upravených rozměrech, jelikož jsou pro účely tohoto poznání dostačující. Série požárních zkoušek vznikla za spolupráce se společností Ruukki CZ s.r.o., která dodala nosný rošt a nehořlavý obklad včetně kotvicích prvků a byla nápomocná s montáží vzorků, a podpory Asociace výrobců minerální izolace z.s. (AVMI), která dodala tepelně izolační materiál a obkladový kompozitní panel. Výsledky zkoušek jsou porovnány s matematickými modely z předchozí kapitoly.

Laboratoř je vybavena zkušebním zařízením Room Corner Test pro zkoušení chování povrchových úprav stěn a stropů či jednotlivě hořících předmětů a je uzpůsobeno na fyzikální a chemickou analýzu zplodin hoření včetně účinků toxicity. Mezi hlavní aktivity laboratoře patří velkorozměrové zkoušky s reálnými požárními scénáři v interiérových nebo exteriérových podmínkách, stanovení třídy reakce na oheň zkoušených výrobků či vývoj a optimalizace stavebních prvků z hlediska požární bezpečnosti. Provedená zkouška provětrávaného fasádního systému proběhla v prostoru Room Corner Test, konkrétně pod odtahovým zvonem.

### 7.1 Konstrukce testovaného vzorku

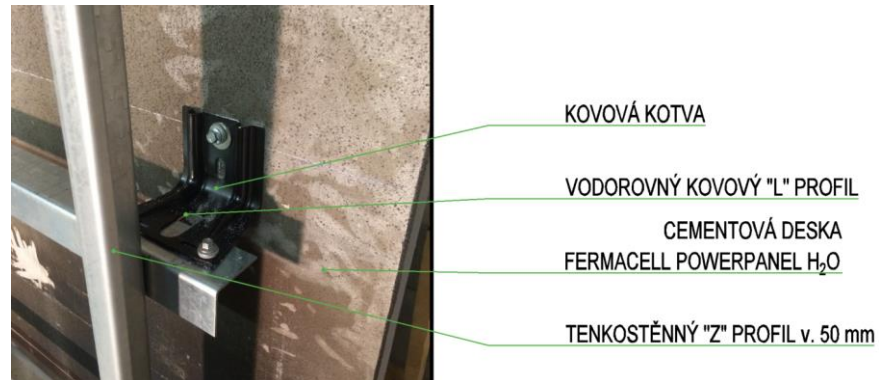
Zkouška proběhla v požární laboratoři s potřebným vybavením pro účely testů. Vzorky byly 3 s rozdílnými typy obkladového materiálu lišící se třídou reakce na oheň. Vzorek 01 byl zakryt deskou Cor-Ten tl. 1,5 mm od společnosti Ruukki, která je z téměř čisté oceli pouze s malým množstvím příměsí ve slitině a vykazující třídu reakce na oheň A1. Vzorek 02 měl obklad ze sendvičových kompozitních panelů typu „bond“, které sestávaly ze dvou hliníkových plechů, mezi kterými bylo retardované PE jádro tl. 4 mm, a vykazující třídu reakce na oheň B-s1,d0. Poslední Vzorek 03 disponoval obkladem ze dřevoštěpkových OSB desek tl. 22 mm a třídy reakce na oheň D. OSB desky jsou vyrobeny z lisovaných borovicových štěpek, které jsou na povrchu orientovány kolmo ke štěpkám ve středu desky, a ke spojení je užito melamin–formaldehydové pryskyřice. Zvoleny byly kvůli snadné montáži jako náhrada za konstrukční řezivo se stejnou třídou reakce na oheň.

Konstrukce vzorku pro všechny 3 případy byla stejná. Na vodorovně uloženou dřevěnou europaletu o rozměrech 1200 x 800 mm byly postaveny na výšku další 2 europalety stejných rozměrů a byly vzájemně spojeny dřevěnými latěmi průřezu 50 x 30 mm, aby byla zajištěna

---

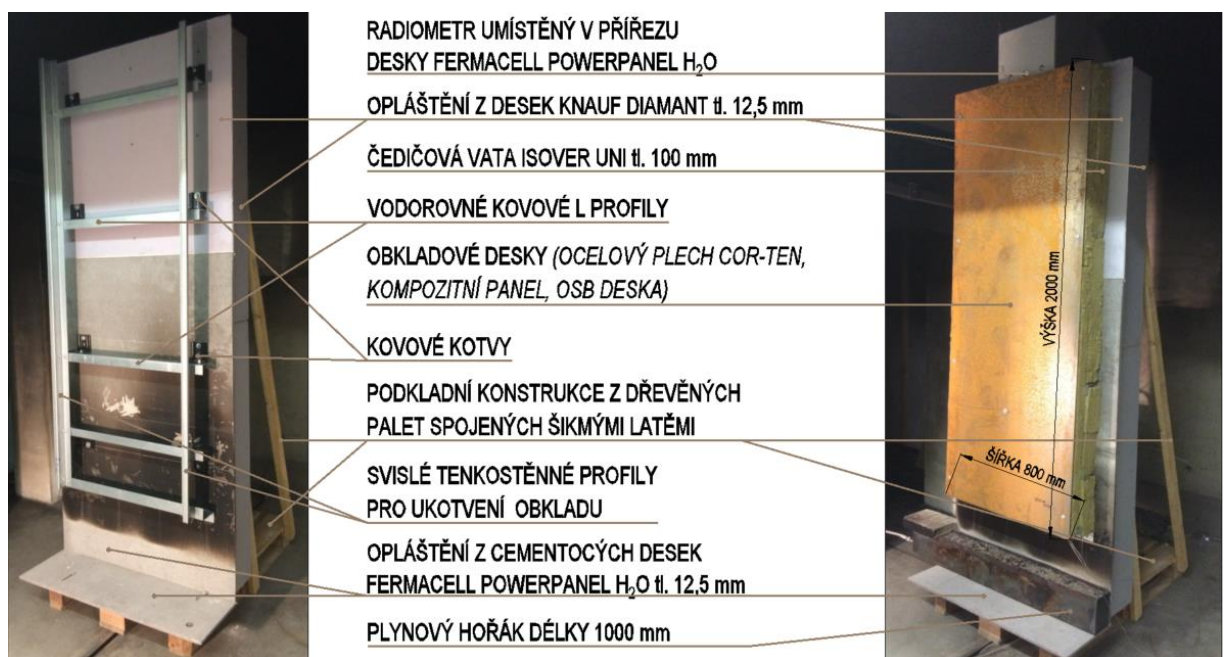
<sup>9</sup> <http://www.uceeb.cz/pozarni-laborator>

dostatečná tuhost celé konstrukce. Konstrukce vzorku byla opláštěna cementovými deskami Fermacell Powerpanel H<sub>2</sub>O tl. 12,5 mm třídy reakce na oheň A1, a to zejména v okolí hořáku. Horní paleta a boční strany byly opláštěny SDK deskami Knauf Diamant tl. 12,5 mm třídy reakce na oheň A2-s1,d0.



obr. 61 Detail uchycení nosného roštu obkladu

Na tyto desky byl umístěn samotný zkoušený vzorek. Ten sestával z minerální izolace Isover UNI tloušťky 100 mm, zakryté spodním krycím plechem, a nosného roštu obkladu od společnosti Ruukki. Nosné kovové kotvy byly uchyceny přes podkladní desky do dřevěných palet a k nim byly přimontovány vodorovné kovové L profily. Na ně se připevnily svislé tenkostěnné Z profily výšky 50 mm, které byly od sebe vzdáleny 700 mm, a vymezovaly větranou dutinu (obr. 61). Z vnějších stran těchto profilů byl vložen přířez minerální izolace 50 x 50 mm, který měl za úkol zabránit úniku tepla z větrané dutiny směrem bočně ven. Na tyto profily byly z vnější strany připevněny obklady pomocí šroubů. Na horní hranu vzorku byla namontována část cementové desky, do které byl vyvrtán otvor pro umístění radiometru, konstrukce je zobrazena na obr. 62.



obr. 62 Sestava vzorku s popisem prvků, vlevo rozestavěný vzorek, vpravo kompletní první vzorek s obkladem z ocelového plechu Cor-Ten





rozbohem se již zabývala závěrečná práce [27]. Posledním sledovaným jevem bylo taktéž vizuální chování požáru či hořlavého obkladu na vzorcích.



obr. 64 Popis sestaveného vzorku bez obkladové desky, vyznačeny pitotovy trubice a radiometr

## 7.3 Diskuze získaných výsledků včetně porovnání s CFD modelem

### 7.3.1 Vzorek 01 – Referenční scénář

První vzorek větrané fasády, který byl podroben zkoušce, byl referenční scénář s nehořlavým obkladem ve formě ocelového plechu Cor-Ten tl. 1,5 mm. Zahřívání vzorku proběhlo po dobu 900 s (= 15 minut), tzn. do doby ustálení měřených veličin.

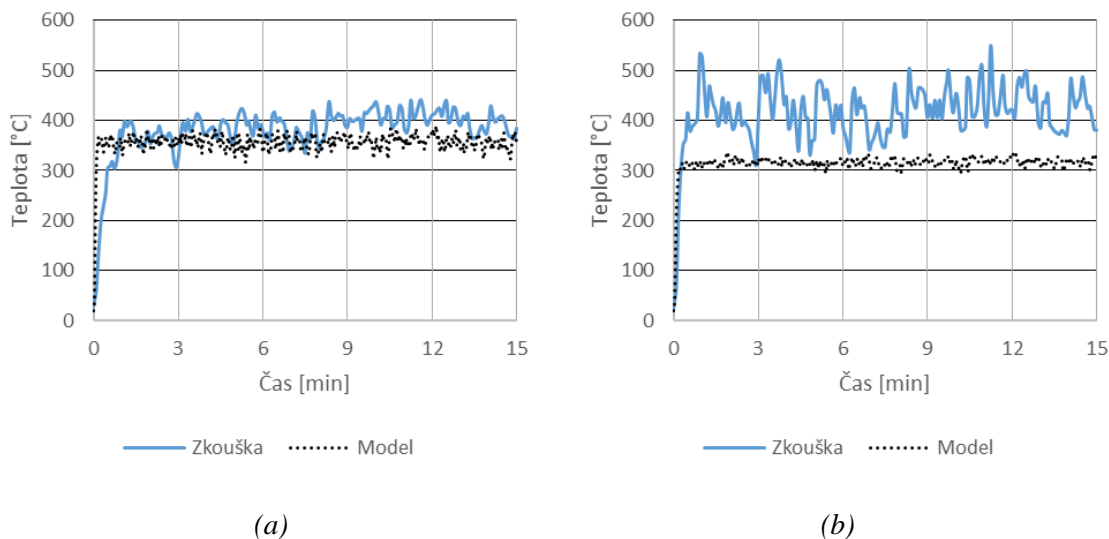


obr. 65 Vzorek 01 – Referenční scénář před zkouškou vlevo; po zkoušce a sejmutí ocelové desky Cor-Ten vpravo, první dvě řady na spodní části čedičové vaty Isover UNI byly výrazně zkrěhlé

V průběhu zkoušky bylo z vizuálního hlediska pozorováno občasné prošlehnutí plamene do dutiny a také deformace obkladové desky nad hořákem, kde došlo k jejímu mírnému vyboulení směrem před vzorek. Po vychladnutí zahřívajícího vzorku (obr. 65) a odšroubování plechu bylo zjištěno výrazné zkrěhnutí čedičové vaty v blízkosti hořáku, jiná poškození či deformace nebyla patrná.

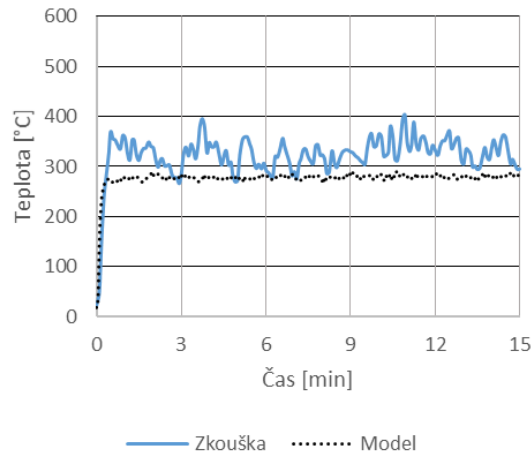
Teploty horkých plynů ve větrané dutině byly v referenčním scénáři sledovány na spodní hraně vzorku a v úrovních 500 mm a 1600 mm nad spodní hranou. V každé řadě byly 3 termočlánky, výsledná teplota v každé úrovni je spočtena jako aritmetický průměr. Pouze termočlánek na spodní hraně v ose vzorku se při montáži obkladu natočil a snímal teplotu vnitřního povrchu obkladové desky a termočlánek v pravé části při čelním pohledu v úrovni 500 mm nad spodní hranou se vychýlil ze své pozice a snímal teplotu uvnitř čedičové izolace. Výsledky z těchto dvou termočlánků nebyly započteny do výsledných hodnot, v obou úrovních je tedy výsledná teplota aritmetickým průměrem ze dvou termočlánků.

Průběhy teplot horkých plynů, zjištěných v referenčním scénáři, jsou zaneseny do grafů a porovnány s modelovaným referenčním scénářem. Na spodní hraně vzorku jsou naměřené teploty při zkoušce podobné jako v modelu, taktéž s konstantním průběhem, ve zkoušce jsou teploty o cca 90 °C vyšší (obr. 66a). Výraznější rozdíl je patrný na obr. 66b, kde jsou znázorněny průběhy v úrovni 500 mm nad spodní hranou vzorku. Při zkoušce se teploty pohybují po většinu času mezi 400 a 500 °C a vykazují výraznější fluktuaci hodnot, kdežto v modelu se teploty drží konstantně na hodnotách 300–350 °C. Nejvyšší zjištěná hodnota při zkoušce je 550 °C.



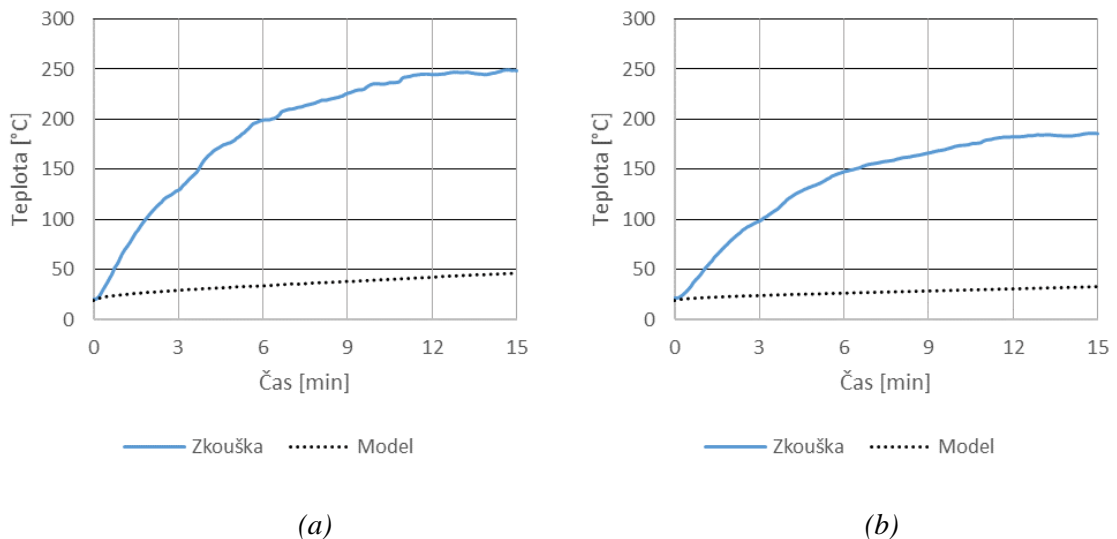
obr. 66 Referenční scénář – průběh průměrných teplot plynů v dutině: (a) spodní hrana; (b) 500 mm nad spodní hranou

Teploty plynů v dutině v úrovni 1600 mm nad spodní hranou byly při zkoušce naměřeny nižší než v úrovni 500 mm, podobně jako v modelu. Při zkoušce byly teploty zjištěny opět vyšší a s vyšší fluktuací, teploty se pohybovaly mezi 300 a 400 °C, kdežto v modelu za celou dobu simulace nepřekročily 300 °C.



obr. 67 Referenční scénář – průběh průměrných teplot plynů v dutině v úrovni 1600 mm nad spodní hranou vzorku

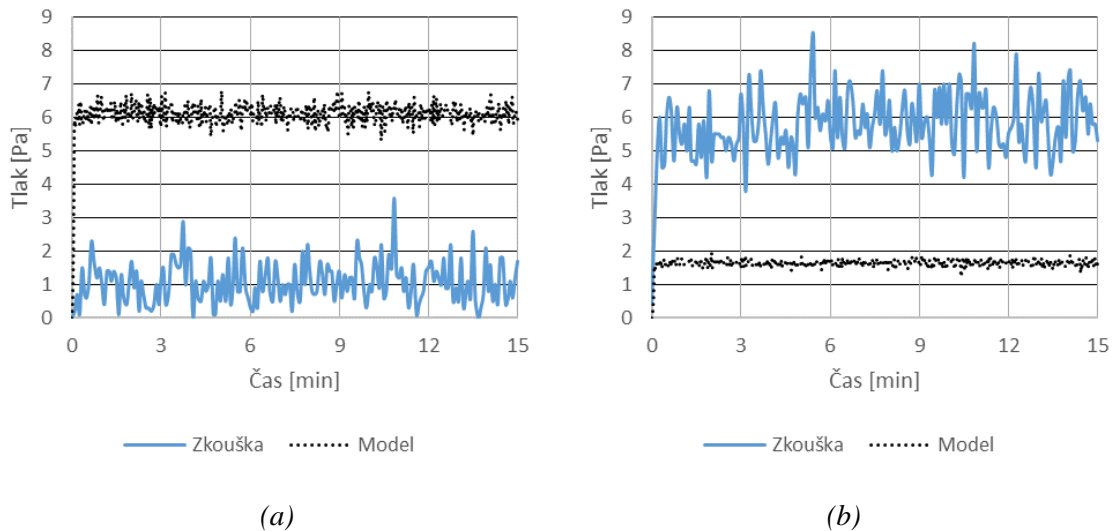
Teploty vnějšího povrchu obkladu byly při zkoušce měřeny na ose fasádního vzorku v úrovních 500 mm a 1600 mm nad spodní hranou. V obou případech jsou zjištěné průběhy rostoucí konkávního charakteru, po 15 minutách zahřívání se přiblížily pomyslné vodorovné asymptotě. Vyšších teplot bylo dosaženo v úrovni 500 mm nad spodní hranou vzorku (obr. 68a), maximální teplota byla 250 °C. Obě úrovně jsou porovnány s modelem, v kterém jsou výsledné teploty zjištěny z aritmetického průměru ze tří termočlánků v jedné vodorovné úrovni, tento důvod pravděpodobně stojí za výrazným rozdílem teplot při zkoušce a při simulaci. Na úrovni 500 mm nad spodní hranou je rozdíl nejvyšších teplot cca 200 °C, 1600 mm nad spodní hranou rozdíl činí cca 160 °C (obr. 68b).



obr. 68 Referenční scénář - průběh průměrných povrchových teplot na obkladu z vnější strany: (a) 500 mm nad spodní hranou; (b) 1600 mm nad spodní hranou

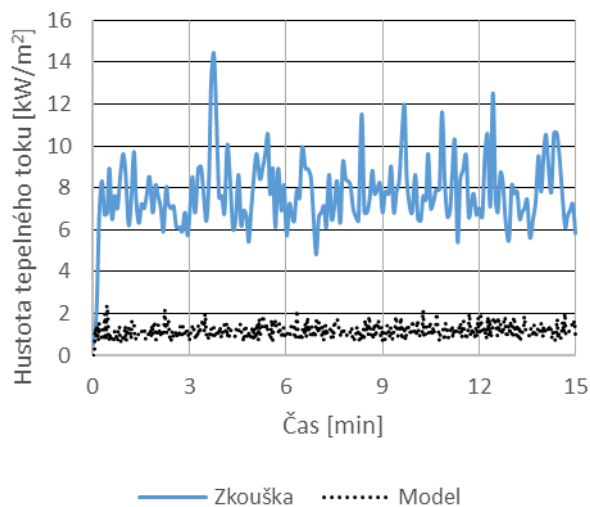
Tlak ve větrané dutině byl měřen za pomoci pitotových trubic v úrovních 500 mm a 1600 mm nad spodní hranou vzorku. Při porovnání s modelem (obr. 69) lze sledovat zcela

rozdílný tlak vzduchu v dutině, kdy při zkoušce byl naměřený tlak mnohem vyšší v úrovni 1600 mm, kdežto v modelu v úrovni 500 mm nad spodní hranou. V nižší úrovni se při zkoušce naměřený tlak pohyboval cca 1–2 Pa, v modelu cca 6 Pa, ve vyšší úrovni prakticky obráceně. Nejvyšší zjištěný tlak v dutině byl výrazně vyšší (8,5 Pa) z důvodu značného rozptylu hodnot při zkoušce.



obr. 69 Referenční scénář – průběhy naměřeného tlaku ve větrané dutině: (a) 500 mm nad spodní hranou; (b) 1600 mm nad spodní hranou

Průběh hustoty tepelného toku (obr. 70) byl při zkoušce výrazně vyšší než v modelu, lokální maximum bylo zjištěno v hodnotě převyšující  $14 \text{ kW/m}^2$ , a to z důvodu vysokého rozptylu hodnot. V modelu se konstantně radiace držela cca  $1,2 \text{ kW/m}^2$ . Jedním z důvodů výrazně odlišných hodnot může být způsob zjišťování tepelného toku. Radiometr při zkoušce měřil celkový dopadající tepelný tok, tzn. konvekční i radiální složku, kdežto v modelu bylo definováno měření čistě sálavé složky tepelného toku.

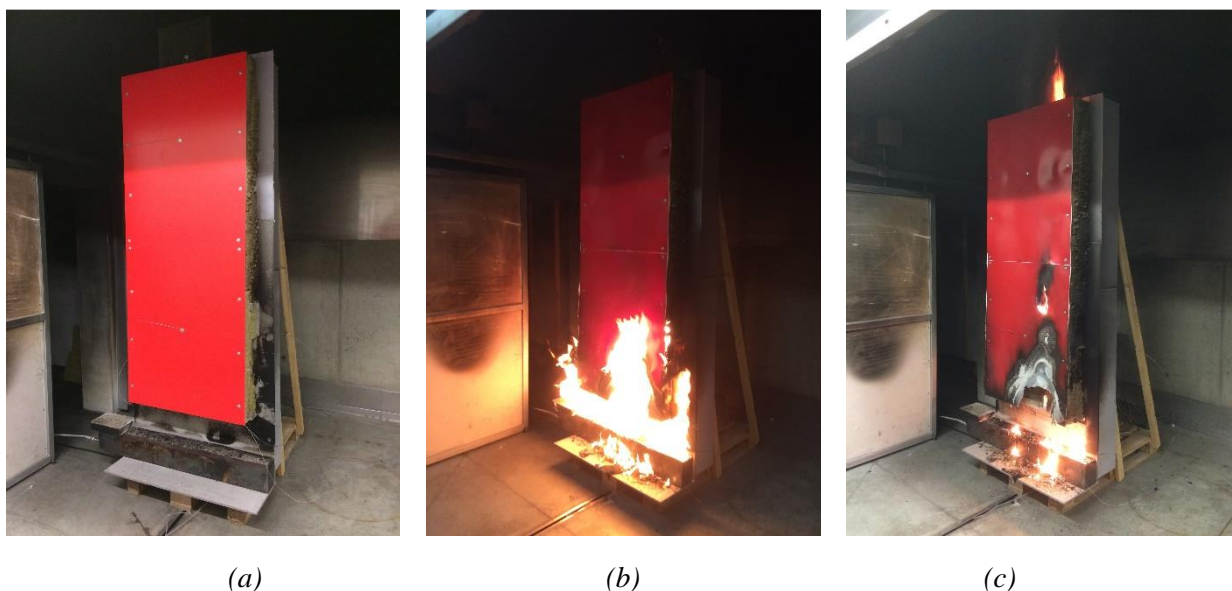


obr. 70 Referenční scénář – průběh sálavé složky tepelného toku nad větranou dutinou

### 7.3.2 Vzorek 02 – Fasáda s kompozitním panelem

Druhým vzorkem byla fasáda s hořlavým obkladem ve formě kompozitní desky (obr. 71a), která byla složená ze dvou krycích hliníkových plechů a retardovaným jádrem z polyetylenu tl. 3 mm třídy reakce na oheň B-s1,d0. Pro vzorek byly použity dva panely výšky 1 m, mezi kterými vznikla tenká spára. Zahřívání vzorku opět proběhlo pod dobu 900 s (= 15 minut). Pro tuto variantu obkladu nebyl sestaven CFD model a prezentována jsou pouze data ze zkoušky.

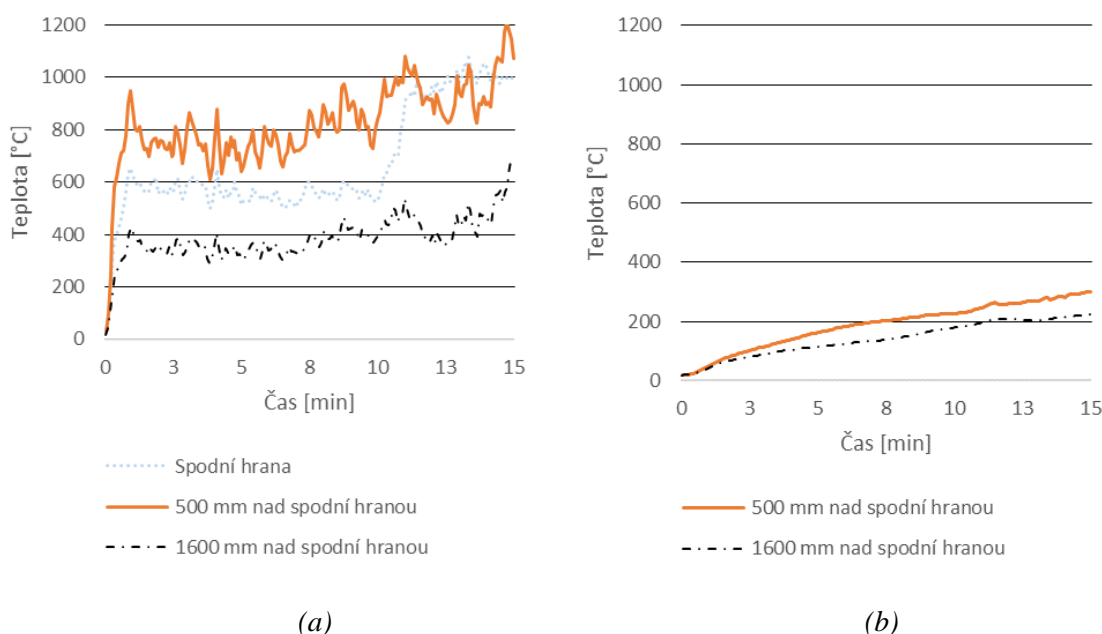
Při úvodních 10 minutách zatěžování vzorku byly pozorovány deformace fasádních panelů, zejména jejich vyboulení směrem do dutiny a mírné zvlnění v okolí šroubů, taktéž proběhlo občasně prošlehnutí plamene dutinou nad vzorek. Po cca 10 minutách a 30 sekundách začalo bezplamenné odkapávání hliníku a PE na spodní hraně vzorku, které se během několika sekund změnilo na odkapávání malých hořících částí (obr. 71b). Tento jev nebyl očekáván, jelikož třída reakce na oheň u tohoto panelu byla B-s1,d0, nemělo tedy dojít k odkapávání hořících částí. Společně s tímto jevem bylo pozorování rozšíření plamene po vnějším povrchu obkladu, taktéž na spodní hraně, a trvalé plamenné hoření nad dutinou. Po 15 minutách došlo k vypnutí přívodu plynu do hořáku, avšak bylo i nadále sledováno chování vzorku. Stále docházelo k odkapávání hořících kapek z fasádního panelu, navíc na bočních stranách byly viditelné plameny vycházející z PE jádra. Též bylo pozorováno pokračování plamenného hoření nad dutinou. Kumulované horké plyny ve větrané dutině způsobily zahoření PE jádra i ve spáře mezi panely, odkud se následně po povrchu rozšířil plamen směrem nahoru i dolů (obr. 71c). Po těchto událostech proběhlo uhašení vzorku vodní mlhou a sejmutí obkladových panelů. Zejména na spodním panelu bylo viditelné výrazné vyhoření PE jádra a deformace hliníkových plechů.



obr. 71 Fasádní vzorek s kompozitním panelem, který měl polymerní jádro z retardovaného PE:  
 (a) vzorek před zkouškou; (b) vzorek při zkoušce, patrné odkapávání hořících částí obkladu; (c) vzorek po vypnutí přívodu plynu k hořáku, kdy docházelo i nadále k šíření plamene prostřednictvím obkladových kompozitních panelů, taktéž k odkapávání hořících částí a plamennému hoření nad dutinou

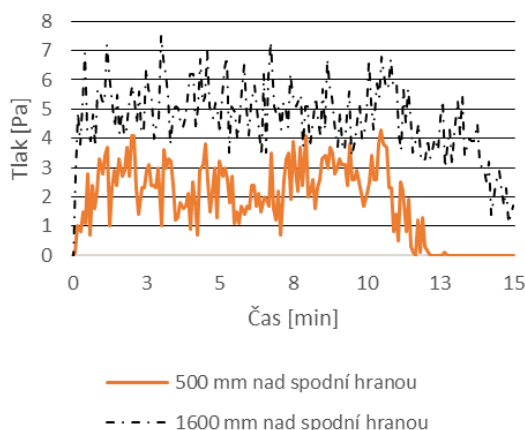
Teploty horkých plynů dutině byly opět průměrovány ze tří termočlánků v jedné řadě. Průběhy teplot mají ve všech třech úrovních mírně stoupající tendenci, po výšce se teploty snižují. Nárůst teplot je pozorovatelný po 10 minutách, kdy došlo k prostupu tepla do PE jádra panelů a začalo odkapávání hořících částí, nárůst je patrný zejména na spodní hraně, kdy se naměřené teploty zvýšily o cca 400 °C. V následných 5 minutách byly taktéž naměřeny nejvyšší teploty v průběhu zahřívání, maximum bylo v úrovni 500 mm nad spodní hranou 1207 °C (obr. 72a).

Povrchové teploty obkladu na obr. 72b byly měřeny jedním termočlánkem na svislé ose vzorku ve výškových úrovních 500 mm a 1600 mm nad spodní hranou. Průběhy mají stoupající charakter a jsou lehce konkávní, vyšší teploty byly zjištěny v úrovni 500 mm nad spodní hranou vzorku. Maximální teploty jsou naměřeny na konci zahřívání vzorku, konkrétně 299 °C v úrovni 500 mm nad spodní hranou. Do těchto hodnot není promítnuté šíření plamene po povrchu, jelikož při zkoušce se plameny šířily pouze po pravé části vzorku.



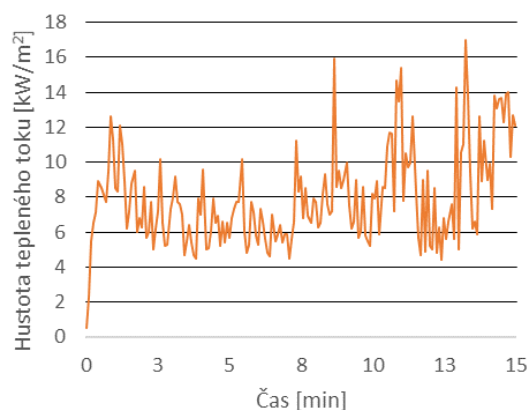
obr. 72 Fasáda s kompozitním panelem – průběhy průměrných teplot, (a) v dutině, (b) na vnějším povrchu obkladu

Průběhy tlaků ve větrané dutině, měřené pomocí pitotových trubic, jsou zjištěny v úrovních 500 mm a 1600 mm nad spodní hranou vzorků. Hodnoty jsou v horní úrovni vyšší, jak lze vidět na obr. 73, podobně jako u referenčního scénáře, a v obou úrovních došlo po 10 minutách k poklesu, který způsobilo deformace a postupné vyhoření části spodního fasádního panelu, horké plyny ve větší míře zamířily před vzorek. Nejvyšší zjištěná hodnota tlaku je 7,5 Pa v úrovni 1600 mm nad spodní hranou.



obr. 73 Fasáda s kompozitním panelem – průběhy tlaků ve větrané dutině

Průběh hustoty tepelného toku na obr. 74 nad vzorkem byl ovlivněn prošleháváním plamene větranou dutinou nad vzorek, ve druhé polovině zahřívání vzorku jsou patrná 3 lokální maxima, z nichž nejvyšších dosáhlo hodnoty  $17 \text{ kW/m}^2$ .

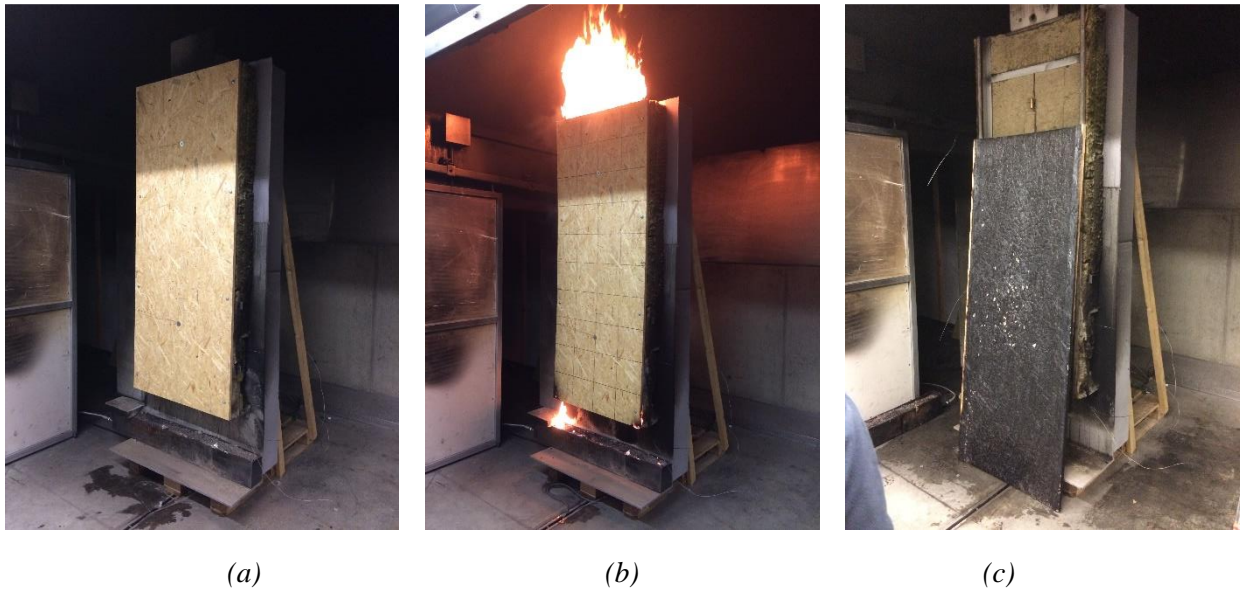


obr. 74 Průběh sálavé složky tepelného toku nad větranou dutinou

### 7.3.3 Vzorek 03 – Fasáda s OSB deskou

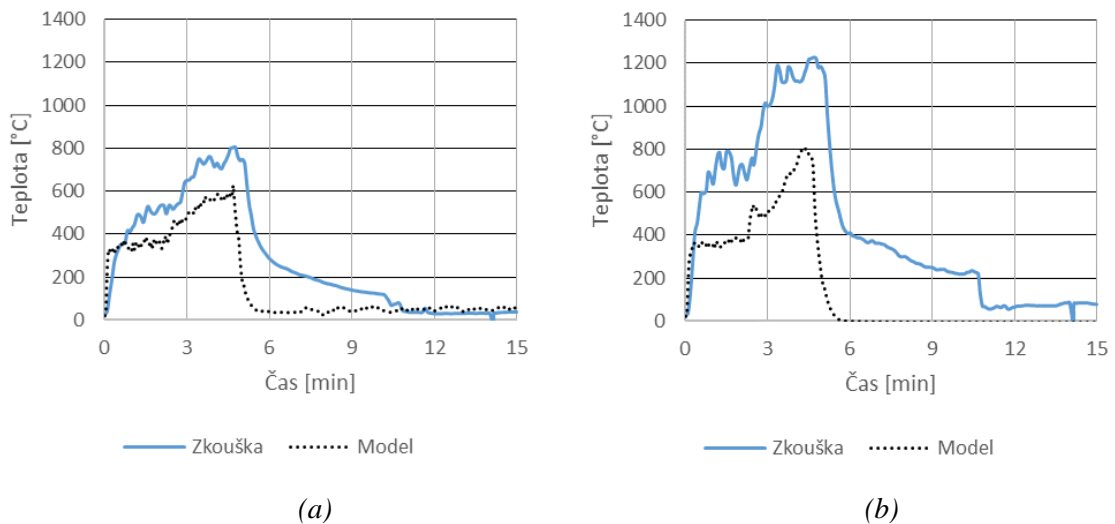
Posledním zkoušeným vzorkem byla větraná fasáda s obkladem z dřevoštěpkové desky (OSB) tl. 22 mm, která vykazuje třídu reakce na oheň D, tzn. shodnou se dřevem. Vzorek byl vystaven účinku hořáku po dobu 300 s (= 5 minut) a vzorek je na obr. 75a.

V průběhu zkoušky horké plyny směřovaly ve většině do větrané dutiny. Po několika minutách se občasné prošlehnutí plamene nad dutinu změnilo v trvalé hoření, které pokračovalo i po vypnutí přívodu plynu do hořáku, dokud nedošlo k uhašení vzorku vodní mlhou. Po celou dobu byla plamenem zatěžována pouze vnitřní strana OSB desky, z vnější strany došlo jen k velmi malému ohoření spodních rohů (obr. 75b), které proběhlo až po vypnutí přívodu plynu. Na obr. 75c je patrný zuhelnatělý povrch vnitřní strany OSB desky. Oproti simulovanému modelu nastala výrazná odlišnost z hlediska zahoření obkladové desky, kdy při zkoušce hořela výhradně vnitřní strana směrem do větrané dutiny, kdežto v modelu nejdříve zahořela vnější strana a horké plyny směřovaly právě před obklad, vnitřní strana zahořela výrazně později.



obr. 75 Fasádní vzorek s OSB deskou: (a) vzorek před zkouškou; (b) vzorek při zkoušce po vypnutí přívodu plynu k hořáku, plamenné hoření nad dutinou bylo velmi výrazné; (c) odmontovaná OSB deska po zkoušce

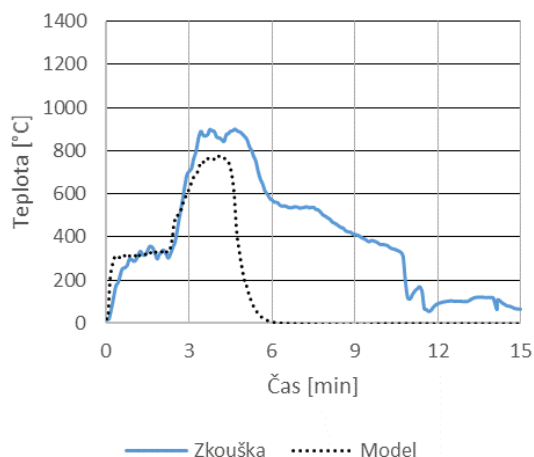
Průměrné teploty horkých plynů se svými průběhy podobají teplotám naměřeným v modelu, avšak celkově dosahují vyšších hodnot. Po úvodní fázi nárůstu, která trvá přibližně 5 minut, dochází k výraznému poklesu hodnot z důvodu chladnutí vzorku. Nejvyšších teplot bylo dosaženo právě po cca 5 minutách, konkrétně 1227 °C v úrovni 500 mm nad spodní hranou (rozdíl oproti modelu cca 400 °C, obr. 76a), na spodní hraně samotné bylo maximum nižší 805 °C, kdežto v modelu bylo maximum o cca 200 °C níže (obr. 76b).



obr. 76 Fasáda s OSB deskou – průběh průměrných teplot plynů v dutině: (a) spodní hrana; (b) 500 mm nad spodní hranou

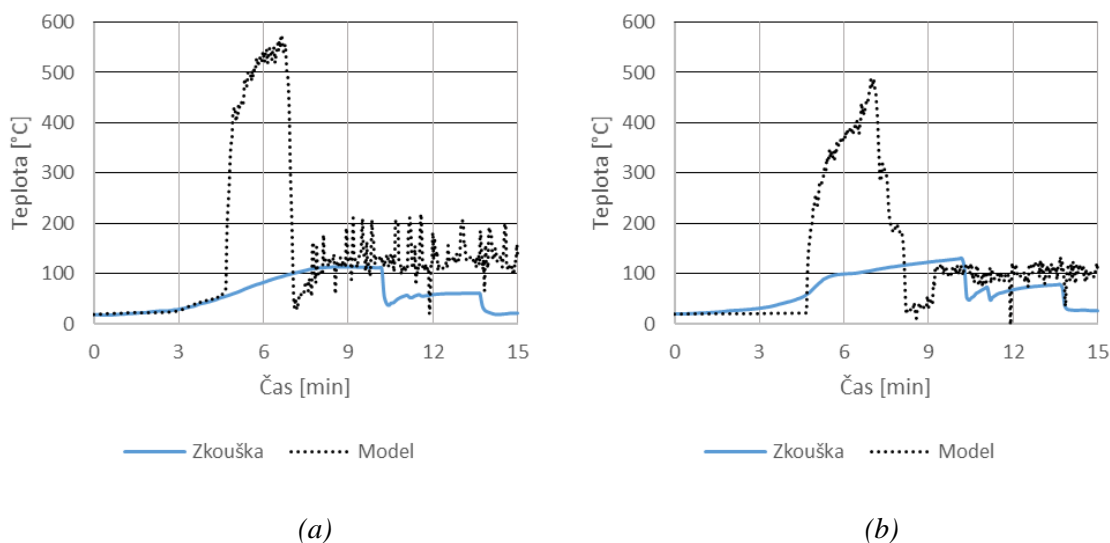
Teploty horkých plynů v dutině v úrovni 1600 mm nad spodní hranou vykazují podobný průběh, fáze poklesu po 5 minutách je mírně volnější než na nižších úrovních. Nejvyšší naměřené teplota je 900 °C, což je o cca 80 °C vyšší než v modelu (obr. 77).





obr. 77 Fasáda s OSB deskou – průběh průměrných teplot plynů v dutině v úrovni 1600 mm nad spodní hranou vzorku

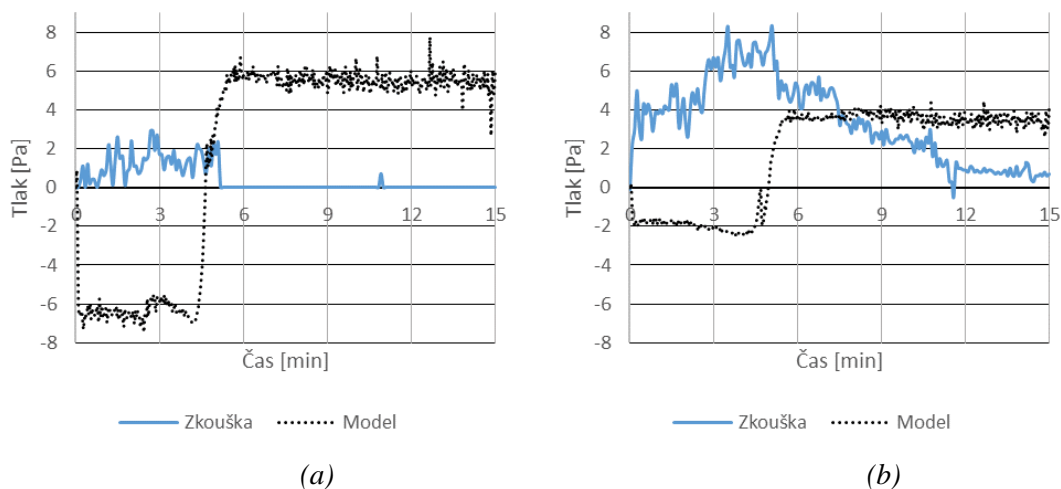
Průběhy povrchových teplot na vnější straně OSB desky jsou výrazně odlišné oproti modelu, zejména kvůli nepřítomnosti lokálního maxima, které v modelu nastalo v cca 7. minutě. Tento jev lze přisoudit faktu, že na rozdíl od modelu při zkoušce většina horkých plynů směřovala do dutiny a nikoliv před obklad. Proto je rozdíl v nejvyšších zjištěných teplotách markantní, v úrovni 500 mm nad spodní hranou byla při zkoušce teplota 113 °C (v modelu o cca 540 °C vyšší, obr. 78a) a v úrovni 1600 mm nad spodní hranou 130 °C (v modelu o cca 450 °C vyšší, obr. 78b).



obr. 78 Fasáda s OSB deskou – průběhy průměrných povrchových teplot na obkladu z vnější strany: (a) 500 mm nad spodní hranou; (b) 1600 mm nad spodní hranou

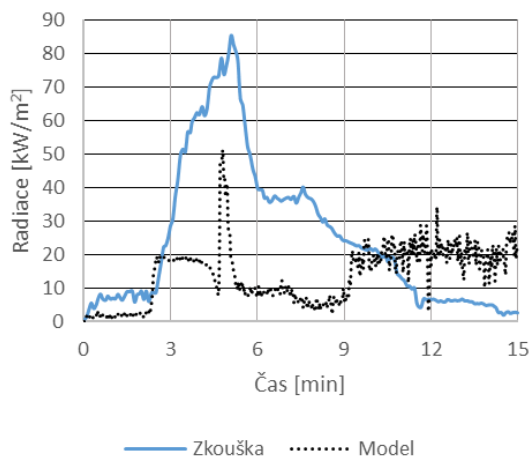
Průběh tlakových rozdílů ve větrané dutině je výrazně odlišný oproti modelu. Při zkoušce byl na úrovni 500 mm nad spodní hranou (obr. 79a) v úvodní fázi naměřen tlak 3 Pa a poté tlak klesl konstantně na nulu, kdežto v modelu po úvodní fázi podtlaku rychle vzrostl do přetlaku cca 6 Pa. V úrovni 1600 mm nad spodní hranou vzorku (obr. 79b) tlak při zkoušce vystoupal

až do maximální hodnoty 8,3 Pa v cca 5. minutě, poté v průběhu chladnutí klesal směrem k nule. V modelu došlo k podobné situaci v nižší úrovni, pouze s nižšími hodnotami.



obr. 79 Fasáda s OSB deskou – průběhy tlakových rozdílů v dutině: (a) 500 mm nad spodní hranou; (b) 1600 mm nad spodní hranou

Hustota tepelného toku, která byla měřena radiometrem nad dutinou, vykazovala po většinu času větší hodnoty než v modelu. Po úvodní části trvající cca 2 minuty, při níž hodnoty při zkoušce nepřekročily  $10 \text{ kW/m}^2$ , došlo k postupnému vzrůstu až do nejvyšší hodnoty v čase cca 5 minut ( $85,4 \text{ kW/m}^2$ ). Poté následovalo postupné ochlazení, kdežto v modelu po cca 9 minutách došlo k nárůstu k hodnotám okolo  $20 \text{ kW/m}^2$ , jak lze vidět na obr. 80. Nejvyšší hodnota v modelu však nastala v podobný čas jako při zkoušce, tzn. v cca 5 minutách, avšak byla o cca  $35 \text{ kW/m}^2$  nižší.

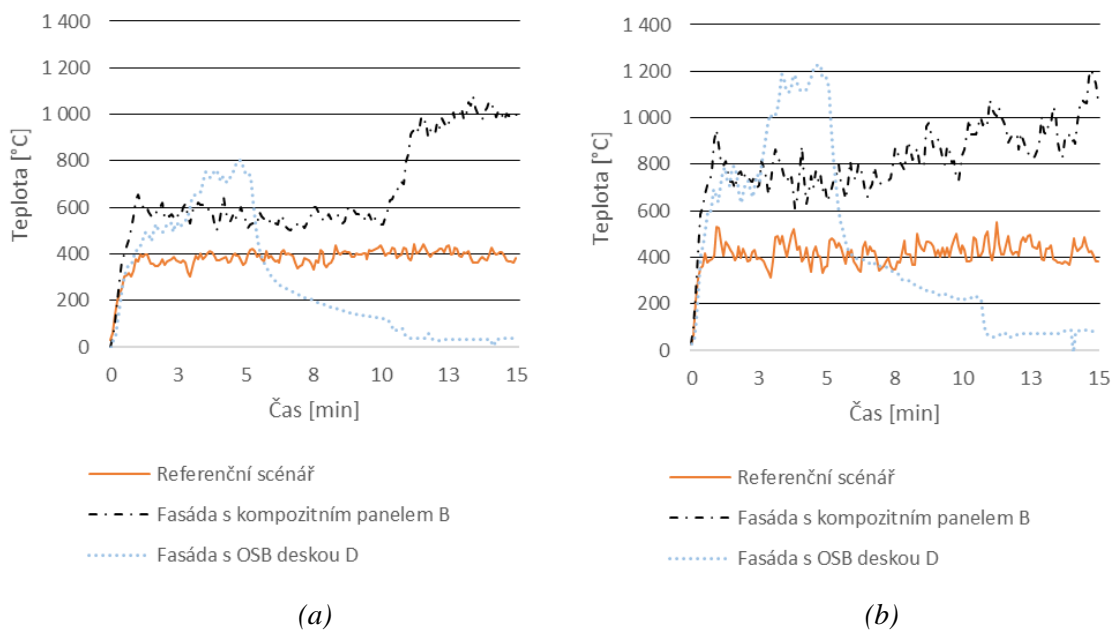


obr. 80 Fasáda s OSB deskou – průběh sálavé složky tepelného toku nad větranou dutinou

### 7.3.4 Porovnání zkoušených vzorků

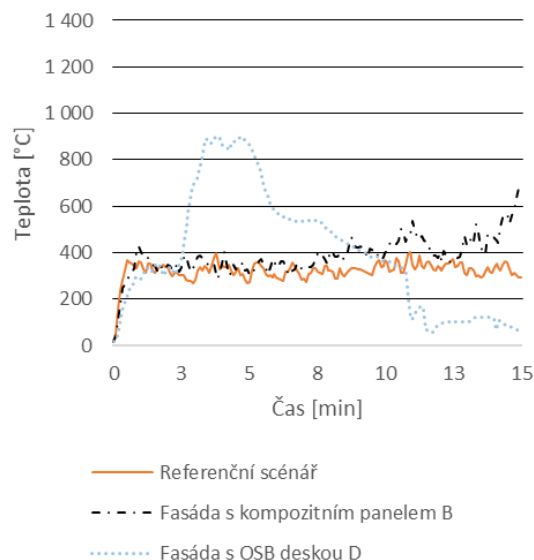
Průběhy průměrných teplot horkých plynů jsou výrazně ovlivněny hořlavostí použitých obkladových materiálů. U referenčního scénáře se teploty ve všech výškových úrovních držely na konstantních hodnotách, u dalších vzorků byla teplota proměnná. Na spodní hraně fasádních vzorků (obr. 81a) nejvyšší teploty dosáhl vzorek s kompozitním panelem, a to až na konci

zahřívání vzorků, kdy docházelo k jeho výrazným deformacím a odpadávání hořících kapek. V úrovni 500 mm byly dosaženy nejvyšší teploty, u obou hořlavých obkladů přibližně shodné, nastaly pouze v jiných časech, jak je patrné z obr. 81b.



obr. 81 Porovnání zkoušených fasádních vzorků – průběh průměrných teplot plynů v dutině: (a) spodní hrana; (b) 500 mm nad spodní hranou

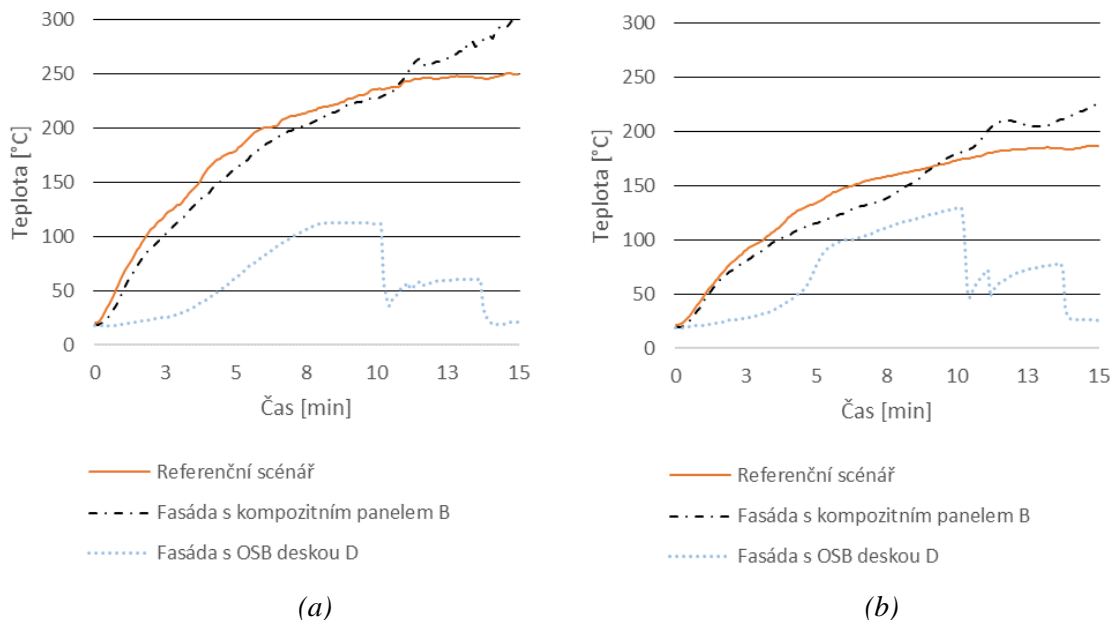
Na úrovni 1600 mm nad spodní hranou se již role u druhého a třetího vzorku obrátily, nejvyšší teploty bylo dosaženo v případě vzorku s OSB deskou, avšak u fasády s kompozitním panelem je konci zahřívání opět viditelný vzestup hodnot (obr. 82).



obr. 82 Porovnání zkoušených fasádních vzorků – průběh průměrných teplot plynů v dutině v úrovni 1600 mm nad spodní hranou vzorku

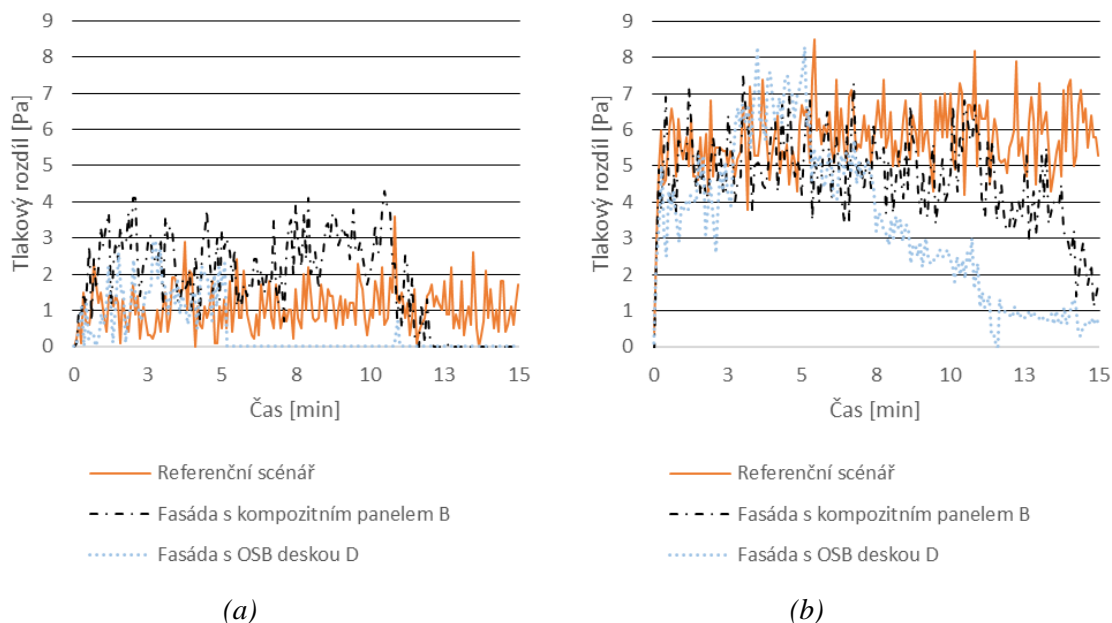
Průběhy povrchových teplot na vnější části obkladu (obr. 83) jsou v případě referenčního scénáře a fasády s kompozitním panelem velmi podobné, ve druhém případě i na konci zahřívání

docházelo k rychlejšímu nárůstu teplot, se kterým souviselo šíření plamene po povrchu panelu. Výrazně nižší hodnoty byly zjištěny fasády s obkladem ve formě OSB desky, kde většina horkých plynů směřovala do dutiny, pokles hodnot po 10 minutách způsobilo zuhelnatění vnitřního povrchu, které zamezilo prostupu tepla na vnější povrch desky.



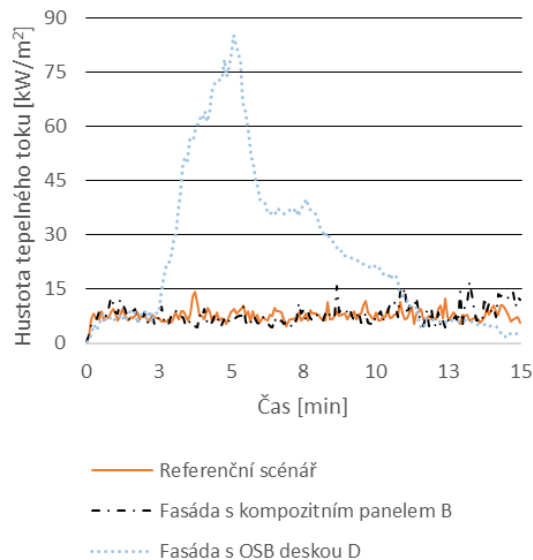
obr. 83 Porovnání zkoušených fasádních vzorků – průběhy průměrných povrchových teplot na obkladu z vnější strany: (a) 500 mm nad spodní hranou; (b) 1600 mm nad spodní hranou

Průběhy tlaků ve větrané dutině se ve všech 3 případech pohybují v podobných hodnotách. Průběhy u vzorků s hořlavými obklady ke konci zahřívání zaznamenaly pokles hodnot (obr. 84).



obr. 84 Porovnání zkoušených fasádních vzorků – průběhy tlakových rozdílů v dutině: (a) 500 mm nad spodní hranou; (b) 1600 mm nad spodní hranou

Hustota tepelného toku u referenčního scénáře je téměř totožná se sálavou složkou u fasády s kompozitním panelem, jak je patrné z obr. 85. Po celou dobu zahřívání vzorku se oba průběhy pohybovaly kolem hodnoty 10 kW/m<sup>2</sup>, fasádní vzorek s kompozitním panelem však na závěr mírně stoupal. Výrazněji vyšších hodnot bylo dosaženo u vzorku s OSB deskou, která při zahřívání uvolnila velké množství tepla a tuto veličinu významně poznamenala. Maximum nastalo po 5 minutách zahřívání, dále při chladnutí hodnoty radiace klesaly.



obr. 85 Porovnání zkoušených fasádních vzorků – průběh hustoty tepelného toku nad větranou dutinou

## 7.4 Vyhodnocení

Výsledky zkoušek a jejich porovnání s matematickými modely ukázaly na několik důležitých faktorů v oblasti provětrávaných fasádních systémů. Prvním důležitým faktorem je větraná dutina, ve které mohou vznikat při požární situaci velmi vysoké teploty, zpravidla vysoko nad hranicí teploty vzplanutí většiny používaných stavebních materiálů. Větraná dutina navíc poskytuje prostor pro rozšíření požáru pomocí komínového efektu, při zkouškách fasádních vzorků s hořlavým obkladem bylo zaznamenáno trvalé plamenné hoření, kdy plameny viditelně vystupovaly nad vzorky právě z větrané mezery. S tímto jevem souvisí dopad na možnou likvidaci požáru, kdy při zásahu výrazně komplikuje situaci obklad. Ten nejen brání přístupu hasební látky, taktéž způsobuje obtíže při lokalizaci ohnisek požáru v dutině.

Druhým faktorem je fasádní obklad, konkrétně požární vlastnosti materiálů, které jsou použity jako vnější opláštění fasádního systému. Při fasádní zkoušce se jako velmi rizikový ukázal kompozitní panel s polymerním (polyetylenovým) retardovaným jádrem typu „bond“, který při vystavení plamenům a vysokým teplotám ztrácel svojí celistvost a materiál začal ve formě horkých hořících kapek a malých částí odpadávat. Navíc podle zkoušek reakce na oheň panel neměl vůbec odkapávat. Tento jev může způsobit negativní dopad na represivní zásah u požárů skutečných budov, při odpadávání hořících částí je vysoké riziko poranění zasahujících či unikajících osob. Tento typ panelu přinesl i další zjištění – šířil plamen po svém povrchu, což

poskytuje další trasu k rozšíření požáru po budově u skutečných staveb. Oproti tomu fasádní vzorek s obkladem z dřevoštěpkové OSB desky svým zuhelnatěním na vnitřním povrchu způsobil bariéru pro přenos požáru na vnější stranu.

## 7.5 Možná kritéria pro hodnocení budoucích zkoušek

Na základě výsledků provedených zkoušek a sestavených matematických modelů lze vysledovat několik jistých trendů, pomocí kterých je možné určit oblast kritérií pro hodnocení zkoušek fasád provedených v budoucnu. Oblasti kritérií mohou vypadat následovně:

- vizuální hodnocení – v čase zahřívání vzorku, případně i v čase chladnutí, nedojde k odpadávání částí vnějšího pláště fasády, či k odkapávání materiálů,
- šíření plamene po vnějším povrchu obkladu – v čase zahřívání i následném chladnutí vzorku nedojde k žádnému šíření plamene po povrchu obkladu, stejné kritérium je již zaneseno v ČSN 73 0810 pro kontaktní systémy; alternativou k tomu bodu se jeví přerušení hořlavého obkladu nehořlavým pásem s nulovým indexem šíření plamene po povrchu (obdobu požárních pásů u kontaktních systémů),
- teploty horkých plynů ve větrané dutině – matematické modely i zkoušky fasádních vzorků přinesly skutečnost, že nejvyšších teplot je dosahováno v oblasti výškové úrovně 500 mm nad spodní hranou vzorku,
- povrchové teploty – opět nejvyšší hodnoty v úrovni 500 mm nad spodní hranou vzorku.

Teploty plynů v dutině, též i teploty povrchu obkladu, dosahovaly při modelování i při zkouškách nejvyšších hodnot právě v úrovni 500 mm nad spodní hranou fasádního vzorku. Teplotní kritérium pro vyhodnocení zkoušky středního rozměru [13] je stanoveno ve stejné úrovni, toto místo je u zkoušek podobného charakteru vysoce namáhaným místem.

## 8 Závěr

V diplomové práci je řešena problematika požární bezpečnosti provětrávaných fasádních systémů. Zkušenosti z požárů skutečných výškových staveb jasně ukazují na vysoká rizika v oblasti fasád, též i na specifické požární scénáře z hlediska šíření požáru po budově. Z nedávné minulosti je nutné zmínit požár budovy Grenfell Tower v Londýně. Tato katastrofa s desítkami ztrát na lidských životech urychluje diskuze ohledně materiálů a výrobků používaných ve fasádních systémech. Vznikl projekt v rámci EU, který se podrobně zabývá zkouškami velkého rozměru v různých evropských státech, kdy mnohé z nich mají vlastní podobu zmíněné zkoušky. Cílovým bodem zmíněného projektu je zavedení jednotné evropské metodiky v oblasti fasádních systémů. V současném stavu jsou navrženy dva typy zkoušky velkého rozměru, nazvané „Střední požár“, jehož základy jsou položeny ve zkoušce středního rozměru podle německé DIN 4102-20, a „Velký požár“, který je postaven na zkoušce velkého rozměru podle britské BS 8414.

Legislativní požadavky na provětrávané fasády, z hlediska českého požárního kodexu, jsou značně roztržité a nesjednocené, především s porovnáním s požadavky na kontaktní zateplovací systémy. Pro tepelnou izolaci lze v současné době použít (s výjimkou jednopodlažních staveb s  $h = 0$  m) výhradně nehořlavé materiály, tzn. desky z minerálního vlákna. Materiálová volba pro obklad fasád není tolik striktní, pro budovy s  $h \leq 12$  m lze použít výrobky jakékoli výrobky třídy reakce na oheň A1–E (s výjimkou přesně definovaných případů), v případě budov s  $12 < h \leq 22,5$  m je povoleno použití i výrobků třídy reakce na oheň B s výrazným omezením (opět s výjimkou definovaných případů). Důležitou roli však hraje nejednoznačnost výkladu pasáže v ČSN 73 0810 [12] věnujícím se právě obkladovým materiálům fasád a v současné době je přehodnocení výkladu legislativních požadavků aktuálním tématem.

Praktická část diplomové práce je zaměřena na chování provětrávaných fasádních systémů při požáru a možné integrace hořlavých výrobků na fasádní obklad, především za účelem upozornění na problematiku v dané oblasti. Proběhla série tří požárních zkoušek v požární laboratoři Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT v Praze, která svým charakterem zjednodušeně napodobila zkoušku středního rozměru (dle ČSN ISO 13785-1 [11]), avšak pro účely této práce stačil přímý vzorek bez kolmé boční části. První zkouška, nazvaná referenční scénář, obsahovala výhradně nehořlavé výrobky, pro další dvě zkoušky byly zvoleny obklady z hořlavých materiálů – kompozitní panely s polymerním retardovaným jádrem typu „bond“ třídy reakce na oheň B-s1,d0 a dřevoštěpková OSB deska třídy reakce na oheň D. Všechny tři zkoušky poukázaly na skutečnost, že zásadní rizikovou oblastí větraných fasádních systémů je větraná dutina pod obkladem, ve které bylo dosahováno vysokých teplot plynů, a vznikal zde komínový efekt, jehož pomocí se horké plyny velmi rychle šířily směrem vzhůru. To, v případě vyšších objektů, by mohlo znamenat velmi rychlé šíření ohně do vyšších podlaží budov a potenciální riziko šíření po celé fasádě. Fasádní vzorek s kompozitním panelem přinesl další zjištění – v průběhu zkoušky začaly odpařovat hořící kapky na spodní části fasády a docházelo k šíření plamene po povrchu panelu. Tyto jevy s sebou nesou riziko pro zasahující a unikající

osoby při represivním zásahu u požárů skutečných budov a též může dojít k rychlému rozšíření požáru po velké části fasády. Dalším úskalím represivního zásahu se jeví obklad jakožto překážka pro likvidaci požáru v dutině – přes ocelovou desku v referenčním scénáři i přes OSB desku ve třetím případě byl velmi špatný přístup k uhašení plamene v dutině a též obtížná lokalizace ohniska požáru.

Referenční scénář a vzorek větrané fasády s dřevěnou deskou byly pro účely porovnání vyhotoveny ve formě matematických CFD modelů. Výsledky naznačily podobná úskalí jako zkoušky, i zde docházelo k velmi rychlému šíření horkých plynů větranou dutinou směrem vzhůru, též teploty horkých plynů byly velmi vysoké. Obecně však v matematických modelech byly zjištěny menší maximální hodnoty sledovaných veličin.



---

# Příloha 1 – Zdrojový kód referenčního scénáře zadávaný do programu Pyrosim

```
&HEAD CHID='Model_ocel_mereni_tlak'/
&TIME T_END=1800.0/
&DUMP RENDER_FILE='Model_ocel_mereni_tlak.ge1', COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE., DT_RESTART=300.0,
DT_SL3D=0.25/
&MISC RESTART=.TRUE./
```

\*\*\*\*\**výpočetní oblast*\*\*\*\*\*

```
&MESH ID='Sit_01', IJK=12,16,12, XB=0.0,0.3,0.0,0.8,0.0,0.6/
&MESH ID='Sit_03', IJK=12,16,6, XB=0.0,0.3,0.0,0.8,1.2,1.8/
&MESH ID='Sit_02', IJK=12,16,12, XB=0.0,0.3,0.0,0.8,0.6,1.2/
&MESH ID='Sit_04', IJK=12,16,6, XB=0.0,0.3,0.0,0.8,1.8,2.4/
&MESH ID='Sit_05', IJK=8,16,3, XB=0.1,0.3,0.0,0.8,2.4,2.55/
```

\*\*\*\*\**zdroj*\*\*\*\*\*

```
&REAC ID='PROPANE',
  FUEL='REAC_FUEL',
  FORMULA='C3H8',
  AUTO_IGNITION_TEMPERATURE=0.0,
  SOOT_YIELD=8.0E-3/
```

\*\*\*\*\**měřicí zařízení*\*\*\*\*\*

\*\*\**body*\*\*\*

```
&PROP ID='THCP 3a props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 5a props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 3c props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 5c props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 3b props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 5b props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 8a props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 10a props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 10c props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 8c props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 10b props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 8b props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 13a props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 15a props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 15c props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 13c props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 15b props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 13b props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&DEVC ID='V 2a', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.175,0.1,0.4/
&DEVC ID='V 1a', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.125,0.1,0.4/
&DEVC ID='THCP 3a', PROP_ID='THCP 3a props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.125,0.1,0.4/
&DEVC ID='TC 2a', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.1,0.1,0.4, IOR=1/
&DEVC ID='TC 4a', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.15,0.1,0.4, IOR=-1/
&DEVC ID='THCP 5a', PROP_ID='THCP 5a props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.175,0.1,0.4/
&DEVC ID='GAS 2a', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=0.125,0.1,0.4/
&DEVC ID='GAS 2c', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=0.125,0.7,0.4/
&DEVC ID='V 2c', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.175,0.7,0.4/
&DEVC ID='V 1c', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.125,0.7,0.4/
&DEVC ID='THCP 3c', PROP_ID='THCP 3c props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.125,0.7,0.4/
&DEVC ID='TC 2c', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.1,0.7,0.4, IOR=1/
&DEVC ID='TC 4c', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.15,0.7,0.4, IOR=-1/
&DEVC ID='THCP 5c', PROP_ID='THCP 5c props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.175,0.7,0.4/
&DEVC ID='GAS 2b', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=0.125,0.4,0.4/
&DEVC ID='TC 2b', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.1,0.4,0.4, IOR=1/
&DEVC ID='TC 4b', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.15,0.4,0.4, IOR=-1/
```

---

```

&DEVC ID='V 2b', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.175,0.4,0.4/
&DEVC ID='V 1b', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.125,0.4,0.4/
&DEVC ID='THCP 3b', PROP_ID='THCP 3b props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.125,0.4,0.4/
&DEVC ID='THCP 5b', PROP_ID='THCP 5b props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.175,0.4,0.4/
&DEVC ID='GAS 7a', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=0.125,0.1,0.9/
&DEVC ID='V 3a', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.125,0.1,0.9/
&DEVC ID='V 4a', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.175,0.1,0.9/
&DEVC ID='THCP 8a', PROP_ID='THCP 8a props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.125,0.1,0.9/
&DEVC ID='TC 7a', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.1,0.1,0.9, IOR=1/
&DEVC ID='TC 9a', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.15,0.1,0.9, IOR=-1/
&DEVC ID='THCP 10a', PROP_ID='THCP 10a props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.175,0.1,0.9/
&DEVC ID='GAS 7c', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=0.125,0.7,0.9/
&DEVC ID='V 3c', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.125,0.7,0.9/
&DEVC ID='V 4c', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.175,0.7,0.9/
&DEVC ID='THCP 10c', PROP_ID='THCP 10c props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.175,0.7,0.9/
&DEVC ID='TC 7c', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.1,0.7,0.9, IOR=1/
&DEVC ID='TC 9c', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.15,0.7,0.9, IOR=-1/
&DEVC ID='THCP 8c', PROP_ID='THCP 8c props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.125,0.7,0.9/
&DEVC ID='GAS 7b', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=0.125,0.4,0.9/
&DEVC ID='TC 7b', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.1,0.4,0.9, IOR=1/
&DEVC ID='TC 9b', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.15,0.4,0.9, IOR=-1/
&DEVC ID='V 3b', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.125,0.4,0.9/
&DEVC ID='V 4b', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.175,0.4,0.9/
&DEVC ID='THCP 10b', PROP_ID='THCP 10b props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.175,0.4,0.9/
&DEVC ID='THCP 8b', PROP_ID='THCP 8b props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.125,0.4,0.9/
&DEVC ID='GAS 12a', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=0.125,0.1,2.0/
&DEVC ID='V 5a', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.125,0.1,2.0/
&DEVC ID='V 6a', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.175,0.1,2.0/
&DEVC ID='THCP 13a', PROP_ID='THCP 13a props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.125,0.1,2.0/
&DEVC ID='TC 12a', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.1,0.1,2.0, IOR=1/
&DEVC ID='TC 14a', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.15,0.1,2.0, IOR=-1/
&DEVC ID='THCP 15a', PROP_ID='THCP 15a props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.175,0.1,2.0/
&DEVC ID='GAS 12c', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=0.125,0.7,2.0/
&DEVC ID='TC 12c', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.1,0.7,2.0, IOR=1/
&DEVC ID='TC 14c', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.15,0.7,2.0, IOR=-1/
&DEVC ID='V 5c', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.125,0.7,2.0/
&DEVC ID='V 6c', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.175,0.7,2.0/
&DEVC ID='THCP 15c', PROP_ID='THCP 15c props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.175,0.7,2.0/
&DEVC ID='THCP 13c', PROP_ID='THCP 13c props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.125,0.7,2.0/
&DEVC ID='GAS 12b', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=0.125,0.4,2.0/
&DEVC ID='TC 12b', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.1,0.4,2.0, IOR=1/
&DEVC ID='TC 14b', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.15,0.4,2.0, IOR=-1/
&DEVC ID='V 5b', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.125,0.4,2.0/
&DEVC ID='V 6b', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.175,0.4,2.0/
&DEVC ID='THCP 15b', PROP_ID='THCP 15b props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.175,0.4,2.0/
&DEVC ID='THCP 13b', PROP_ID='THCP 13b props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.125,0.4,2.0/
&DEVC ID='RM', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=0.1,0.4,2.45/

```

\*\*\*\*\**materiály a povrchy*\*\*\*\*\*

```

&MATL ID='GLASS_WOOL',
  SPECIFIC_HEAT=0.84,
  CONDUCTIVITY=0.034,
  DENSITY=40.0/
&MATL ID='STEEL',
  FYI='Drysdale, Intro to Fire Dynamics - ATF NIST Multi-Floor Validation',
  SPECIFIC_HEAT=0.46,
  CONDUCTIVITY=45.8,
  DENSITY=7850.0,
  EMISSIVITY=0.95/

&SURF ID='TEPELNY IZOLANT MW',
  COLOR='GRAY 80',
  BACKING='VOID',
  MATL_ID(1,1)='GLASS_WOOL',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,

```

---

```
THICKNESS(1)=0.1/
&SURF ID='OBKLAD',
  TEXTURE_MAP='psm_metal.jpg',
  TEXTURE_WIDTH=3.0,
  TEXTURE_HEIGHT=2.0,
  BACKING='VOID',
  MATL_ID(1,1)='STEEL',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=0.1/
&SURF ID='HORAK',
  COLOR='RED',
  TEXTURE_MAP='psm_fire.jpg',
  HRRPUA=1000.0/
```

\*\*\*\*\*objekty\*\*\*\*\*

```
&OBST ID='TEPELNY IZOLANT MW', XB=0.0,0.1,0.05,0.75,0.4,2.4, SURF_ID6='INERT','TEPELNY IZOLANT
MW','TEPELNY IZOLANT MW','TEPELNY IZOLANT MW','TEPELNY IZOLANT MW','TEPELNY IZOLANT MW'/
VNITNI PLAST FASADY
&OBST ID='OBKLAD', XB=0.15,0.15,0.0,0.8,0.4,2.4, SURF_ID='OBKLAD'/ VNEJSI PLAST FASADY
&OBST ID='HORAK', XB=0.0,0.1,-0.1,0.9,0.0,0.15, SURF_IDS='HORAK','INERT','INERT'/ PISKOVY HORAK
&OBST ID='ROST OBKLADU', XB=0.1,0.15,0.05,0.05,0.4,2.4, SURF_ID='OBKLAD'/ NOSNY ROST OBKLADU
&OBST ID='ROST OBKLADU', XB=0.1,0.15,0.75,0.75,0.4,2.4, SURF_ID='OBKLAD'/ NOSNY ROST OBKLADU
&OBST ID='PRIREZ SKELNE VATY', XB=0.1,0.15,0.0,0.05,0.4,2.4, SURF_ID='TEPELNY IZOLANT MW'/ PRIREZ
SKELNA VATY PO KRAJICH
&OBST ID='PRIREZ SKELNE VATY', XB=0.1,0.15,0.75,0.8,0.4,2.4, SURF_ID='TEPELNY IZOLANT MW'/ PRIREZ
SKELNA VATY PO KRAJICH
&OBST ID='PRIREZ SKELNE VATY', XB=0.0,0.1,0.0,0.05,0.4,2.4, SURF_ID6='INERT','TEPELNY IZOLANT
MW','TEPELNY IZOLANT MW','TEPELNY IZOLANT MW','TEPELNY IZOLANT MW','TEPELNY IZOLANT MW'/
PRIREZ SKELNA VATY PO KRAJICH
&OBST ID='PRIREZ SKELNE VATY', XB=0.0,0.1,0.75,0.8,0.4,2.4, SURF_ID6='INERT','TEPELNY IZOLANT
MW','TEPELNY IZOLANT MW','TEPELNY IZOLANT MW','TEPELNY IZOLANT MW','TEPELNY IZOLANT MW'/
PRIREZ SKELNA VATY PO KRAJICH
&OBST ID='Plat pro radiometr', XB=0.1,0.1,0.35,0.45,2.4,2.5, SURF_ID='OBKLAD'/ Umistení radiometru
```

\*\*\*\*\*otevřené plochy\*\*\*\*\*

```
&VENT ID='Vent01', SURF_ID='OPEN', XB=0.3,0.3,0.0,0.8,0.0,2.55/ OTEVRENA PLOCHA - PREDNI
&VENT ID='Vent03', SURF_ID='OPEN', XB=0.1,0.3,0.0,0.8,2.55,2.55/ OTEVRENA PLOCHA - horní vepředu
&VENT ID='Vent04', SURF_ID='OPEN', XB=0.0,0.3,0.0,0.0,0.15,0.4/ OTEVRENA PLOCHA - vlevo mezi horakem a vzorkem
&VENT ID='Vent05', SURF_ID='OPEN', XB=0.1,0.3,0.0,0.0,0.0,0.15/ OTEVRENA PLOCHA - vlevo dole
&VENT ID='Vent06', SURF_ID='OPEN', XB=0.15,0.3,0.0,0.0,0.4,2.4/ OTEVRENA PLOCHA - vlevo nahore
&VENT ID='Vent07', SURF_ID='OPEN', XB=0.0,0.3,0.8,0.8,0.15,0.4/ OTEVRENA PLOCHA - vpravo mezi horakem a vzorkem
&VENT ID='Vent08', SURF_ID='OPEN', XB=0.1,0.3,0.8,0.8,0.0,0.15/ OTEVRENA PLOCHA - vpravo dole
&VENT ID='Vent09', SURF_ID='OPEN', XB=0.15,0.3,0.8,0.8,0.4,2.4/ OTEVRENA PLOCHA - vpravo nahore
&VENT ID='Vent horak', SURF_ID='HORAK', XB=0.0,0.1,-0.1,0.9,0.15,0.15/ Salava povrch horaku
&VENT ID='Vent12', SURF_ID='OPEN', XB=0.1,0.1,0.0,0.35,2.4,2.55/
&VENT ID='Vent13', SURF_ID='OPEN', XB=0.1,0.1,0.35,0.45,2.5,2.55/
&VENT ID='Vent14', SURF_ID='OPEN', XB=0.1,0.1,0.45,0.8,2.4,2.55/
&VENT ID='Vent11', SURF_ID='OPEN', XB=0.1,0.3,0.8,0.8,2.4,2.55/
&VENT ID='Vent10', SURF_ID='OPEN', XB=0.1,0.3,0.0,0.0,2.4,2.55/
```

\*\*\*\*\*měřící zařízení\*\*\*\*\*

\*\*\*plochy\*\*\*

```
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/
```

```
&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE=350.0/
```

```
&PROF ID='500 mm nad spodni hranou', XYZ=0.1,0.4,0.9, IOR=1, QUANTITY='TEMPERATURE'/
```

```
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=0.4/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=0.175/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=0.1/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=0.7/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=0.125/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=0.1/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=0.7/
```

---

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=0.4/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=0.125/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=0.175/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=0.1/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=0.4/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=0.9/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=1.975/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=0.05/

\*\*\*\*\**konec simulace*\*\*\*\*\*

&TAIL /

---

## Příloha 2 – Zdrojový kód fasádního vzorku s dřevěnou deskou zadávaný do programu PyroSim

```
&HEAD CHID='Model_drevo'/
&TIME T_END=1800.0/
&DUMP RENDER_FILE='Model_drevo.ge1', COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE., DT_RESTART=300.0, DT_SL3D=0.25/
&MISC RESTART=.TRUE./
```

\*\*\*\*\**výpočetní oblast*\*\*\*\*\*

```
&MESH ID='Sit_01', IJK=12,16,12, XB=0.0,0.3,0.0,0.8,0.0,0.6/
&MESH ID='Sit_03', IJK=12,16,6, XB=0.0,0.3,0.0,0.8,1.2,1.8/
&MESH ID='Sit_02', IJK=12,16,12, XB=0.0,0.3,0.0,0.8,0.6,1.2/
&MESH ID='Sit_04', IJK=12,16,6, XB=0.0,0.3,0.0,0.8,1.8,2.4/
&MESH ID='Sit_05', IJK=8,16,3, XB=0.1,0.3,0.0,0.8,2.4,2.55/
```

\*\*\*\*\**zdroj*\*\*\*\*\*

```
&REAC ID='PROPANE',
  FUEL='REAC_FUEL',
  FORMULA='C3H8',
  AUTO_IGNITION_TEMPERATURE=0.0,
  SOOT_YIELD=8.0E-3/
```

\*\*\*\*\**měřicí zařízení*\*\*\*\*\*

\*\*\**body*\*\*\*

```
&PROP ID='THCP 1a props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 3a props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 1c props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 3c props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 1b props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 3b props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 8a props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 6a props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 6c props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 8c props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 6b props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 8b props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 13a props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 11a props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 11c props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 13c props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 11b props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&PROP ID='THCP 13b props', BEAD_DIAMETER=1.5E-3/
&DEVC ID='GAS 2a', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=0.125,0.1,0.4/
&DEVC ID='V 2a', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.2,0.1,0.4/
&DEVC ID='V 1a', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.125,0.1,0.4/
&DEVC ID='THCP 1a', PROP_ID='THCP 1a props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.2,0.1,0.4/
&DEVC ID='TC 2a', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.1,0.1,0.4, IOR=1/
&DEVC ID='THCP 3a', PROP_ID='THCP 3a props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.125,0.1,0.4/
&DEVC ID='TC 4a', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.15,0.1,0.4, IOR=-1/
&DEVC ID='TC 5a', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.175,0.1,0.4, IOR=1/
&DEVC ID='GAS 2c', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=0.125,0.7,0.4/
&DEVC ID='V 2c', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.2,0.7,0.4/
&DEVC ID='V 1c', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.125,0.7,0.4/
&DEVC ID='THCP 1c', PROP_ID='THCP 1c props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.2,0.7,0.4/
&DEVC ID='THCP 3c', PROP_ID='THCP 3c props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.125,0.7,0.4/
&DEVC ID='TC 2c', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.1,0.7,0.4, IOR=1/
&DEVC ID='TC 4c', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.15,0.7,0.4, IOR=-1/
&DEVC ID='TC 5c', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.175,0.7,0.4, IOR=1/
&DEVC ID='GAS 2b', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=0.125,0.4,0.4/
&DEVC ID='V 2b', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.2,0.4,0.4/
```

---

&DEVC ID='V 1b', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.125,0.4,0.4/  
&DEVC ID='THCP 1b', PROP\_ID='THCP 1b props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.2,0.4,0.4/  
&DEVC ID='THCP 3b', PROP\_ID='THCP 3b props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.125,0.4,0.4/  
&DEVC ID='TC 2b', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.1,0.4,0.4, IOR=1/  
&DEVC ID='TC 4b', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.15,0.4,0.4, IOR=-1/  
&DEVC ID='TC 5b', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.175,0.4,0.4, IOR=1/  
&DEVC ID='GAS 7a', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=0.125,0.1,0.9/  
&DEVC ID='V 3a', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.125,0.1,0.9/  
&DEVC ID='V 4a', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.2,0.1,0.9/  
&DEVC ID='THCP 8a', PROP\_ID='THCP 8a props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.125,0.1,0.9/  
&DEVC ID='THCP 6a', PROP\_ID='THCP 6a props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.2,0.1,0.9/  
&DEVC ID='TC 7a', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.1,0.1,0.9, IOR=1/  
&DEVC ID='TC 9a', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.15,0.1,0.9, IOR=-1/  
&DEVC ID='TC 10a', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.175,0.1,0.9, IOR=1/  
&DEVC ID='GAS 7c', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=0.125,0.7,0.9/  
&DEVC ID='V 3c', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.125,0.7,0.9/  
&DEVC ID='V 4c', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.2,0.7,0.9/  
&DEVC ID='THCP 6c', PROP\_ID='THCP 6c props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.2,0.7,0.9/  
&DEVC ID='THCP 8c', PROP\_ID='THCP 8c props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.125,0.7,0.9/  
&DEVC ID='TC 7c', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.1,0.7,0.9, IOR=1/  
&DEVC ID='TC 9c', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.15,0.7,0.9, IOR=-1/  
&DEVC ID='TC 10c', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.175,0.7,0.9, IOR=1/  
&DEVC ID='GAS 7b', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=0.125,0.4,0.9/  
&DEVC ID='V 3b', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.125,0.4,0.9/  
&DEVC ID='V 4b', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.2,0.4,0.9/  
&DEVC ID='THCP 6b', PROP\_ID='THCP 6b props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.2,0.4,0.9/  
&DEVC ID='THCP 8b', PROP\_ID='THCP 8b props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.125,0.4,0.9/  
&DEVC ID='TC 7b', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.1,0.4,0.9, IOR=1/  
&DEVC ID='TC 9b', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.15,0.4,0.9, IOR=-1/  
&DEVC ID='TC 10b', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.175,0.4,0.9, IOR=1/  
&DEVC ID='GAS 12a', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=0.125,0.1,2.0/  
&DEVC ID='V 5a', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.125,0.1,2.0/  
&DEVC ID='V 6a', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.2,0.1,2.0/  
&DEVC ID='THCP 13a', PROP\_ID='THCP 13a props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.125,0.1,2.0/  
&DEVC ID='THCP 11a', PROP\_ID='THCP 11a props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.2,0.1,2.0/  
&DEVC ID='TC 12a', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.1,0.1,2.0, IOR=1/  
&DEVC ID='TC 14a', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.15,0.1,2.0, IOR=-1/  
&DEVC ID='TC 15a', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.175,0.1,2.0, IOR=1/  
&DEVC ID='GAS 12c', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=0.125,0.7,2.0/  
&DEVC ID='V 5c', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.125,0.7,2.0/  
&DEVC ID='V 6c', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.2,0.7,2.0/  
&DEVC ID='THCP 11c', PROP\_ID='THCP 11c props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.2,0.7,2.0/  
&DEVC ID='THCP 13c', PROP\_ID='THCP 13c props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.125,0.7,2.0/  
&DEVC ID='TC 12c', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.1,0.7,2.0, IOR=1/  
&DEVC ID='TC 14c', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.15,0.7,2.0, IOR=-1/  
&DEVC ID='TC 15c', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.175,0.7,2.0, IOR=1/  
&DEVC ID='GAS 12b', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=0.125,0.4,2.0/  
&DEVC ID='V 5b', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.125,0.4,2.0/  
&DEVC ID='V 6b', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.2,0.4,2.0/  
&DEVC ID='THCP 11b', PROP\_ID='THCP 11b props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.2,0.4,2.0/  
&DEVC ID='THCP 13b', PROP\_ID='THCP 13b props', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.125,0.4,2.0/  
&DEVC ID='TC 12b', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.1,0.4,2.0, IOR=1/  
&DEVC ID='TC 14b', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.15,0.4,2.0, IOR=-1/  
&DEVC ID='TC 15b', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.175,0.4,2.0, IOR=1/  
&DEVC ID='RM', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=0.1,0.4,2.45/

\*\*\*\*\**materiály a povrchy*\*\*\*\*\*

&MATL ID='GLASS\_WOOL',  
SPECIFIC\_HEAT=0.84,  
CONDUCTIVITY=0.034,  
DENSITY=40.0/  
&MATL ID='YELLOW\_PINE',  
FYI='Quintiere, Fire Behavior - NIST NRC Validation',  
SPECIFIC\_HEAT=2.85,  
CONDUCTIVITY=0.14,

---

```

DENSITY=640.0,
HEAT_OF_COMBUSTION=1.94E4/
&MATL ID='STEEL',
FYI='Drysdale, Intro to Fire Dynamics - ATF NIST Multi-Floor Validation',
SPECIFIC_HEAT=0.46,
CONDUCTIVITY=45.8,
DENSITY=7850.0,
EMISSIVITY=0.95/

&SURF ID='TEPELNY IZOLANT MW',
COLOR='GRAY 80',
BACKING='VOID',
MATL_ID(1,1)='GLASS_WOOL',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
THICKNESS(1)=0.1/

&SURF ID='OSB',
RGB=146,202,166,
TEXTURE_MAP='psm_wood2.jpg',
TEXTURE_WIDTH=0.6096,
TEXTURE_HEIGHT=0.6096,
EMISSIVITY=1.0,
HRRPUA=8930.0,
RAMP_Q='OSB_RAMP_Q',
HEAT_OF_VAPORIZATION=1800.0,
IGNITION_TEMPERATURE=412.0,
BACKING='VOID',
MATL_ID(1,1)='YELLOW_PINE',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
THICKNESS(1)=0.025/

&RAMP ID='OSB_RAMP_Q', T=111.0, F=0.0/
&RAMP ID='OSB_RAMP_Q', T=113.9, F=0.0123/
&RAMP ID='OSB_RAMP_Q', T=116.8, F=0.0494/
&RAMP ID='OSB_RAMP_Q', T=119.7, F=0.1111/
&RAMP ID='OSB_RAMP_Q', T=122.6, F=0.1976/
&RAMP ID='OSB_RAMP_Q', T=125.4, F=0.3087/
&RAMP ID='OSB_RAMP_Q', T=128.3, F=0.4445/
&RAMP ID='OSB_RAMP_Q', T=131.2, F=0.605/
&RAMP ID='OSB_RAMP_Q', T=134.1, F=0.7902/
&RAMP ID='OSB_RAMP_Q', T=137.0, F=1.0/
&RAMP ID='OSB_RAMP_Q', T=834.0, F=1.0/
&RAMP ID='OSB_RAMP_Q', T=909.2, F=0.7908/
&RAMP ID='OSB_RAMP_Q', T=984.4, F=0.6504/
&RAMP ID='OSB_RAMP_Q', T=1059.7, F=0.4448/
&RAMP ID='OSB_RAMP_Q', T=1134.9, F=0.3089/
&RAMP ID='OSB_RAMP_Q', T=1210.1, F=0.1977/
&RAMP ID='OSB_RAMP_Q', T=1285.3, F=0.1112/
&RAMP ID='OSB_RAMP_Q', T=1360.6, F=0.0494/
&RAMP ID='OSB_RAMP_Q', T=1435.8, F=0.0124/
&RAMP ID='OSB_RAMP_Q', T=1511.0, F=0.0/

&SURF ID='HORAK',
COLOR='RED',
TEXTURE_MAP='psm_fire.jpg',
HRRPUA=1000.0/

&SURF ID='OBKLAD',
TEXTURE_MAP='psm_metal.jpg',
TEXTURE_WIDTH=3.0,
TEXTURE_HEIGHT=2.0,
BACKING='VOID',
MATL_ID(1,1)='STEEL',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
THICKNESS(1)=0.1/

```

\*\*\*\*\*objekty\*\*\*\*\*

---

&OBST ID='TEPELNY IZOLANT MW', XB=0.0,0.1,0.05,0.75,0.4,2.4, SURF\_ID6='INERT','TEPELNY IZOLANT MW','TEPELNY IZOLANT MW','TEPELNY IZOLANT MW','TEPELNY IZOLANT MW','TEPELNY IZOLANT MW'/ VNIJNI PLAST FASADY  
&OBST ID='OBKLAD', XB=0.15,0.175,0.0,0.8,0.4,2.4, SURF\_ID='OSB'/ VNEJSI PLAST FASADY  
&OBST ID='HORAK', XB=0.0,0.1,-0.1,0.9,0.0,0.15, SURF\_IDS='HORAK','INERT','INERT'/ PISKOVY HORAK  
&OBST ID='ROST OBKLADU', XB=0.1,0.15,0.05,0.05,0.4,2.4, SURF\_ID='OBKLAD'/ NOSNY ROST OBKLADU  
&OBST ID='ROST OBKLADU', XB=0.1,0.15,0.75,0.75,0.4,2.4, SURF\_ID='OBKLAD'/ NOSNY ROST OBKLADU  
&OBST ID='PRIREZ SKELNE VATY', XB=0.1,0.15,0.0,0.05,0.4,2.4, SURF\_ID='TEPELNY IZOLANT MW'/ PRIREZ SKELNA VATY PO KRAJICH  
&OBST ID='PRIREZ SKELNE VATY', XB=0.1,0.15,0.75,0.8,0.4,2.4, SURF\_ID='TEPELNY IZOLANT MW'/ PRIREZ SKELNA VATY PO KRAJICH  
&OBST ID='PRIREZ SKELNE VATY', XB=0.0,0.1,0.0,0.05,0.4,2.4, SURF\_ID6='INERT','TEPELNY IZOLANT MW','TEPELNY IZOLANT MW','TEPELNY IZOLANT MW','TEPELNY IZOLANT MW','TEPELNY IZOLANT MW'/ PRIREZ SKELNA VATY PO KRAJICH  
&OBST ID='PRIREZ SKELNE VATY', XB=0.0,0.1,0.75,0.8,0.4,2.4, SURF\_ID6='INERT','TEPELNY IZOLANT MW','TEPELNY IZOLANT MW','TEPELNY IZOLANT MW','TEPELNY IZOLANT MW','TEPELNY IZOLANT MW'/ PRIREZ SKELNA VATY PO KRAJICH  
&OBST ID='SPODNI KRYT', XB=0.0,0.1,0.0,0.8,0.4,0.4, SURF\_ID='OBKLAD'/ SPODNI KRYT  
&OBST ID='Plat pro radiometr', XB=0.1,0.1,0.35,0.45,2.4,2.5, SURF\_ID='OBKLAD'/ Umistení radiometru

\*\*\*\*\**otevřené plochy*\*\*\*\*\*

&VENT ID='Vent01', SURF\_ID='OPEN', XB=0.3,0.3,0.0,0.8,0.0,2.55/ OTEVRENA PLOCHA - PREDNI  
&VENT ID='Vent03', SURF\_ID='OPEN', XB=0.1,0.3,0.0,0.8,2.55,2.55/ OTEVRENA PLOCHA - horni vepredu  
&VENT ID='Vent04', SURF\_ID='OPEN', XB=0.0,0.3,0.0,0.0,0.15,0.4/ OTEVRENA PLOCHA - vlevo mezi horakem a vzorkem  
&VENT ID='Vent05', SURF\_ID='OPEN', XB=0.1,0.3,0.0,0.0,0.0,0.15/ OTEVRENA PLOCHA - vlevo dole  
&VENT ID='Vent06', SURF\_ID='OPEN', XB=0.175,0.3,0.0,0.0,0.4,2.4/ OTEVRENA PLOCHA - vlevo nahore  
&VENT ID='Vent07', SURF\_ID='OPEN', XB=0.0,0.3,0.8,0.8,0.15,0.4/ OTEVRENA PLOCHA - vpravo mezi horakem a vzorkem  
&VENT ID='Vent08', SURF\_ID='OPEN', XB=0.1,0.3,0.8,0.8,0.0,0.15/ OTEVRENA PLOCHA - vpravo dole  
&VENT ID='Vent09', SURF\_ID='OPEN', XB=0.175,0.3,0.8,0.8,0.4,2.4/ OTEVRENA PLOCHA - vpravo nahore  
&VENT ID='Vent horak', SURF\_ID='HORAK', XB=0.0,0.1,-0.1,0.9,0.15,0.15/ Salavy povrch horaku  
&VENT ID='Vent10', SURF\_ID='OPEN', XB=0.1,0.3,0.0,0.0,2.4,2.55/  
&VENT ID='Vent11', SURF\_ID='OPEN', XB=0.1,0.3,0.8,0.8,2.4,2.55/  
&VENT ID='Vent12', SURF\_ID='OPEN', XB=0.1,0.1,0.0,0.35,2.4,2.55/  
&VENT ID='Vent13', SURF\_ID='OPEN', XB=0.1,0.1,0.35,0.45,2.5,2.55/  
&VENT ID='Vent14', SURF\_ID='OPEN', XB=0.1,0.1,0.45,0.8,2.4,2.55/

\*\*\*\*\**měřící zařízení*\*\*\*\*\*

\*\*\**plochy*\*\*\*

&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE/'

&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE=350.0/

&PROF ID='500 mm nad spodni hranou', XYZ=0.1,0.4,0.9, IOR=1, QUANTITY='TEMPERATURE/'

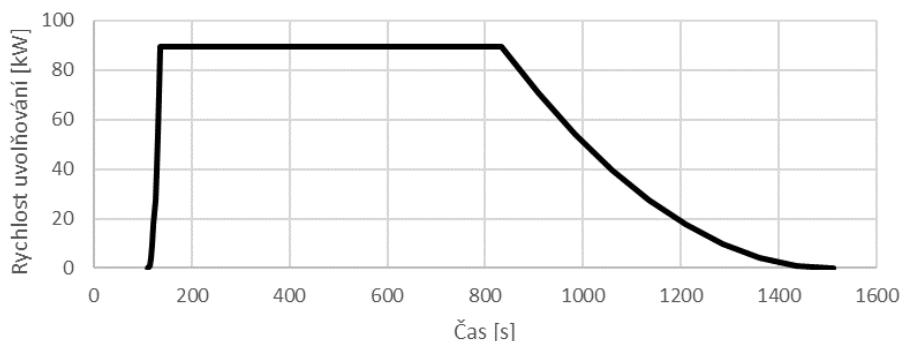
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBY=0.4/  
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=0.175/  
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBY=0.1/  
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBY=0.7/  
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=0.125/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=0.1/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=0.7/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=0.4/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=0.125/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=0.175/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=0.1/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=0.4/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=0.9/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=2.0/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=0.2/

\*\*\*\*\**konec simulace*\*\*\*\*\*

&TAIL /



## Příloha 3 – Křivka uvolňování tepla pro dřevěnou desku zadávaná do programu PyroSim



obr. 86 Průběh HRR pro dřevěnou desku [25]

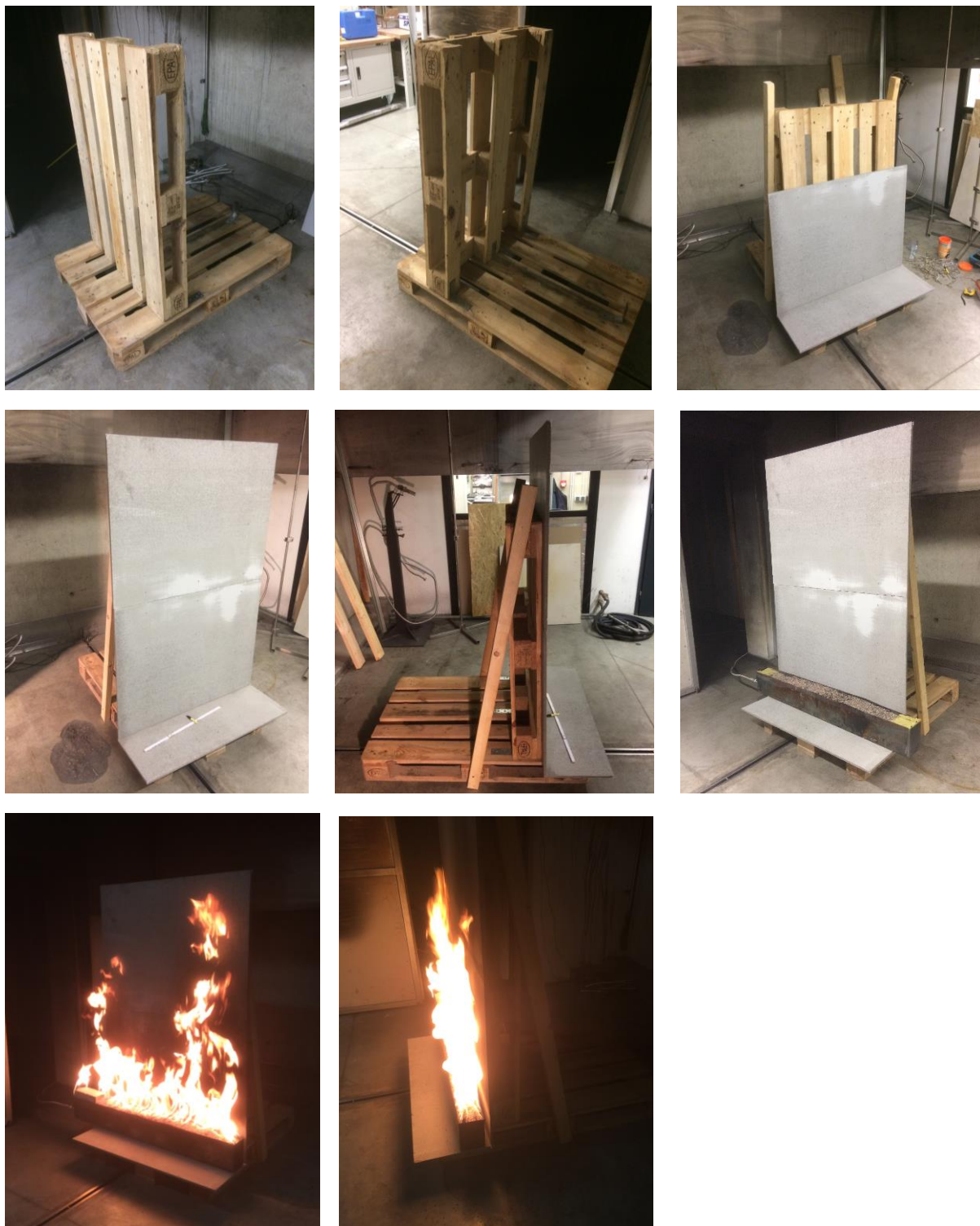
Uvolněné teplo bylo měřeno v kónickém kalorimetru na vzorku s půdorysnými rozměry 0,1 x 0,1 m (plocha 0,01 m<sup>2</sup>). Následující tabulka uvádí přepočtený plošný výkon zadávaný do programu HRRPUA (kW/m<sup>2</sup>) a poměr  $F$  aktuálního tepelného výkonu k maximálnímu dosaženému  $F$ .

tab. 8 Přepočtené hodnoty křivky HRR dřevěné desky na poměrné hodnoty [25]

Čas [s]	HRR [kW]	HRRPUA [kW/m <sup>2</sup> ]	F
111,0	0,0	0,0	0,0000
113,9	1,1	110,3	0,0123
116,8	4,4	441,0	0,0494
119,7	9,9	992,4	0,1111
122,6	17,6	1764,2	0,1976
125,4	27,6	2756,5	0,3087
128,3	39,7	3969,4	0,4445
131,2	54,0	5402,8	0,6050
134,1	70,6	7056,7	0,7902
137,0	89,3	8930,0	1,0000
834,0	89,3	8930,0	1,0000
909,2	70,6	7061,7	0,7908
984,4	54,1	5406,6	0,6054
1059,7	39,7	3972,2	0,4448
1134,9	27,6	2758,5	0,3089
1210,1	17,7	1765,4	0,1977
1285,3	9,9	993,0	0,1112
1360,6	4,4	441,4	0,0494
1435,8	1,1	110,3	0,0124
1511,0	0,0	0,0	0,0000

---

## Příloha 4 – Fotodokumentace z průběhu sestavování podkladní konstrukce fasádních vzorků



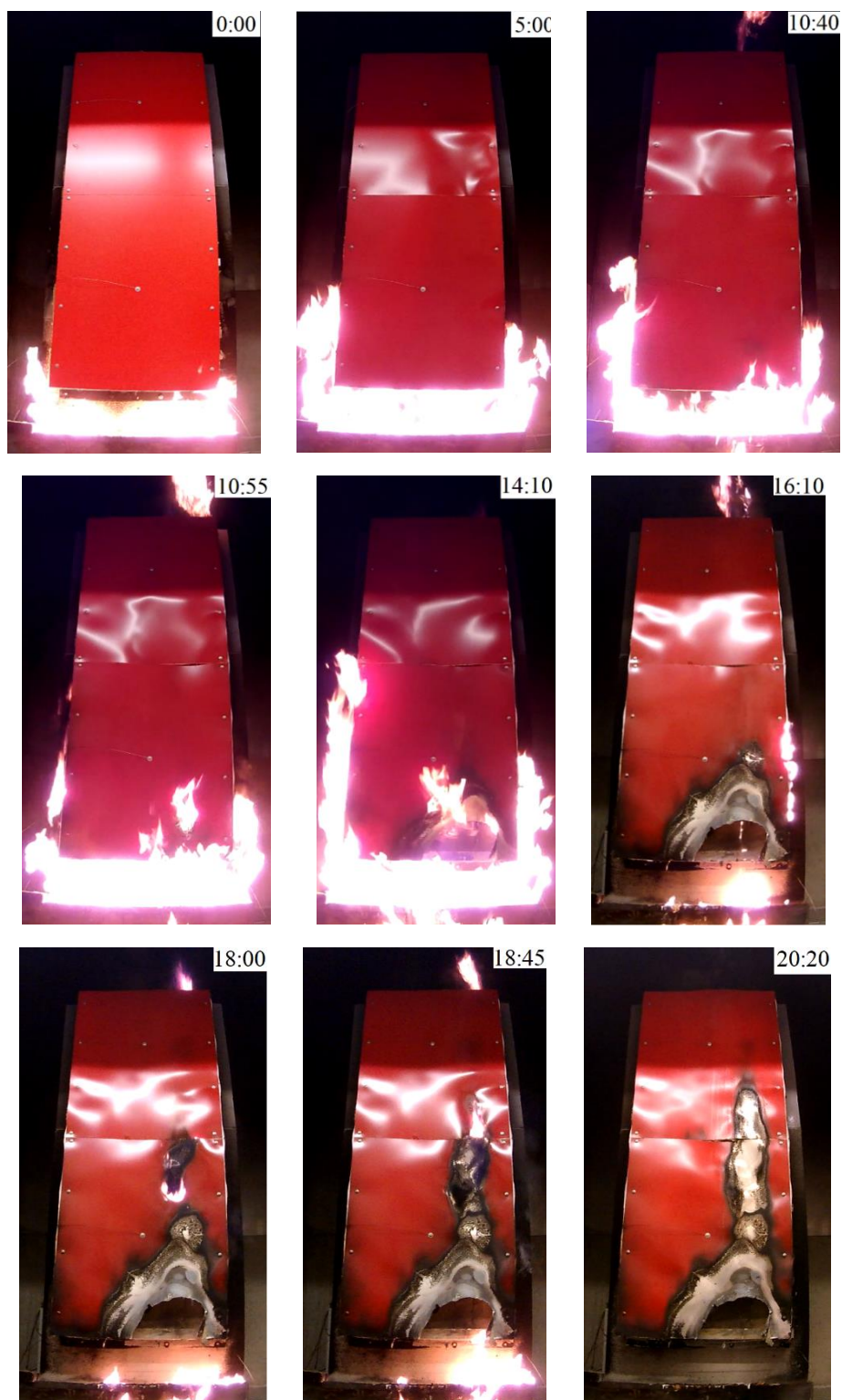
*obr. 87 Fotodokumentace průběhu sestavování fasádních vzorků a zkoušky funkčnosti plynového hořáku*



*obr. 88 Fotodokumentace průběhu sestavování fasádních vzorků*

---

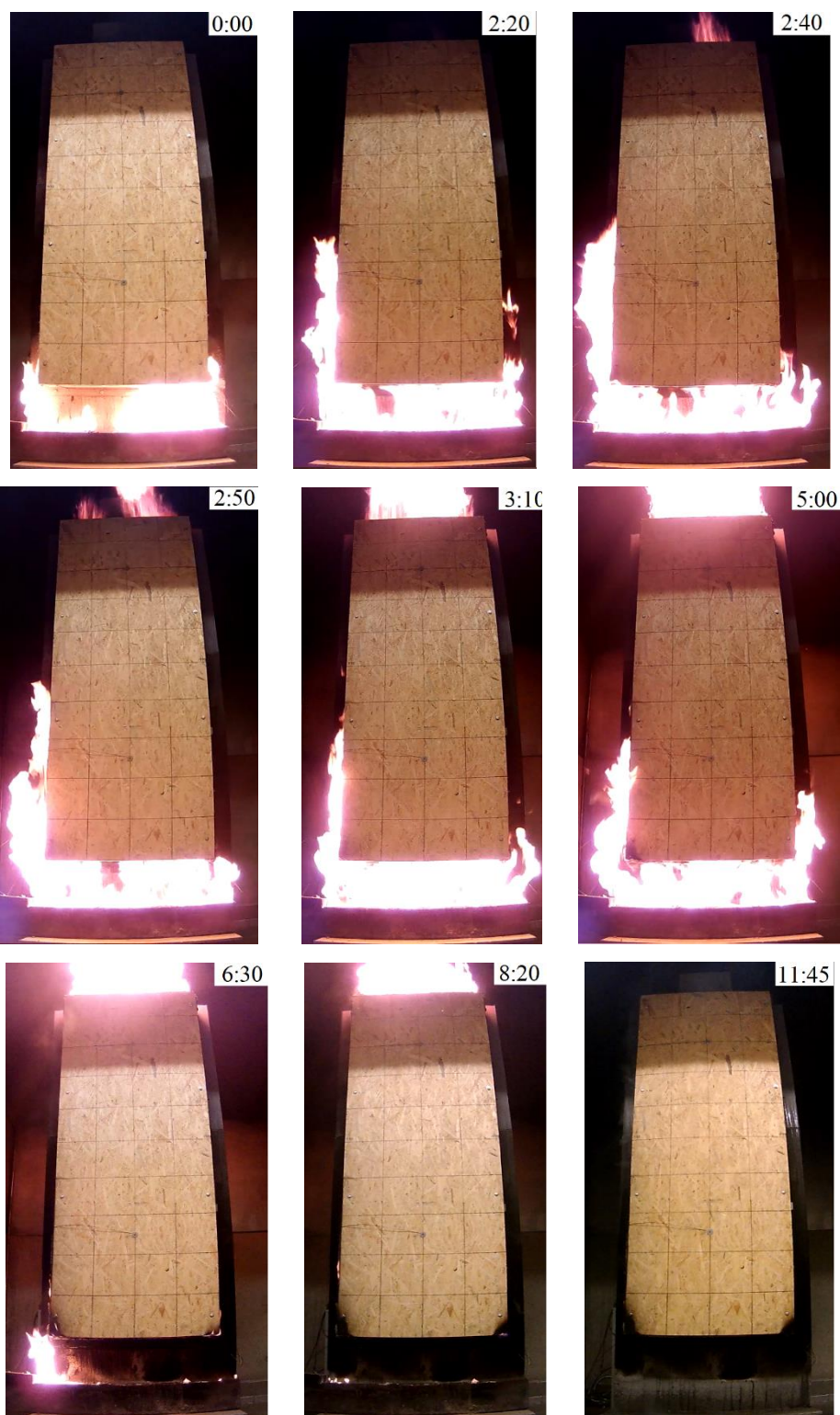
## Příloha 5 – Fotodokumentace z průběhu zkoušky fasády s kompozitním panelem



obr. 89 Fotozáznam ze zkoušky fasádního vzorku s kompozitním panelem

---

## Příloha 6 – Fotodokumentace z průběhu zkoušky fasády s OSB deskou



obr. 90 Fotozáznam ze zkoušky fasádního vzorku s OSB deskou

## Seznam obrázků

obr. 1 Konstrukční princip provětrávané fasády [1] .....	4
obr. 2 Schéma zkoušeného modelu vlevo; na pravé straně schématické zasazení do budovy [3] .....	6
obr. 3 Základní sestava experimentu, boční pohled vlevo a pohled shora vpravo [4].....	7
obr. 4 Fotografie z průběhu testování, proměnná šíře dutiny zleva: 100 mm; 60 mm; 50 mm; 40 mm; 30 mm a 20 mm [4] .....	7
obr. 5 Vzorek EPS ve skladbě kontaktního zateplovacího systému [7] .....	8
obr. 6 Vzorek izolantu z kamenných vláken [9] .....	9
obr. 7 Skladba s černou difúzní fólií se spárovým obkladem [10] .....	11
obr. 8 Budovy s obkladem z kompozitních desek: (a) Desky "bond"; (b) Sklolaminátové průhledné desky ve funkci oken na budově AFI Vokovice v Praze .....	14
obr. 9 Schéma zkoušky středního rozměru dle ČSN ISO 13785-1[11] a ukázka reálného zkoušení vzorku kontaktně zateplené stěny [5] .....	16
obr. 10 Šíření požáru po povrchu obkladu [16] .....	18
obr. 11 Šíření požáru spárou mezi stropem s podlahou a fasádním systémem; šíření požáru exteriérem [16].....	18
obr. 12 Šíření požáru konstrukcí fasádního systému [16] .....	18
obr. 13 Fasáda bytového domu v Kroměříži po vnějším požáru, desky tepleného izolantu lepeny pouze na "buchtý", požár se rozšířil spárami mezi tepelnou izolací a stěnou [17].....	19
obr. 14 Typické podlaží v budově Grenfell Tower [16] .....	19
obr. 15 Obvodový plášť použitý na budově Grenfell Tower; legenda: 1 – nosná betonová konstrukce, 2 – PIR desky, 3 – větraná mezera, 4 – sendvičové desky, 5 – hliníkové plechy, 6 – PE jádro [16].....	20
obr. 16 Schéma přestupu požáru prostřednictvím předsazeného okna na fasádu[17] .....	21
obr. 17 Pohled na budovu, pilíře fungovaly jako komíny [17].....	21
obr. 18 (a) Budova Televizního kulturního centra před požárem; (b) po požáru, vyznačena oblast rozbití skleněné fasády [19].....	23
obr. 19 (a) Bytová výšková budova zasažená požárem, (b) Půdorys budovy s vyznačením ohniska požáru [19].....	24
obr. 20 Hotelový komplex Wanxin [19] .....	25

obr. 21 (a) Schéma zkoušky dle BS 8414, (b) Ukázka požární zkoušky z Barcelony [20].....	27
obr. 22 Schéma zkoušky dle Prüfbestimmung für Aussenwandbekleidungssysteme [17].....	27
obr. 23 Schéma zkoušky dle Lepir 2, zleva: pohled na vzorek fasády, svislý řez a půdorys [21] .....	28
obr. 24 Ukázka zkoušky dle MSZ 14800-6, zleva: fasáda před zkouškou, fasáda při zkoušce .....	29
obr. 25 Ukázka zkoušky dle Önorm B 3800-5; zleva: fasádní vzorek před zkouškou a během zkoušky.....	29
obr. 26 Dispozice zkoušky velkého rozměru dle ISO 13785-2; legenda: 1 – hlavní stěna, 2 – boční stěna, 3 – spalovací komora, 4 – otvor pro šlehání plamenů, 5 – zdroj hoření (tyče s propanem) [5] .....	30
obr. 27 Zkušební sestava podle SP Fire 105 [20] .....	32
obr. 28 (a) Ukázka zkoušky dle DIN 4102-20, (b) Konstrukce fasády po zkoušce .....	33
obr. 29 Schématické zobrazení obou navržených zkušebních metod [18], [17] .....	34
obr. 30 Zděná stěna s nerovným vnějším povrchem ve vodorovném řezu, povrch zarovnan omítkou či větší vrstvou lepicí hmoty – podmínka pro klasifikaci obvodového pláště ve formě kontaktní spojení tepelněizolačního výrobku s povrchem konstrukce dle ČSN 730810 [12].....	36
obr. 31 Příklad možných skladeb větrané fasády v souladu s ČSN 73 0810: (a) jednopodlažní budovy s $h = 0$ m; (b) objekty s $0 < h \leq 12,0$ m.....	38
obr. 32 Příklad možných skladeb větrané fasády v souladu s ČSN 73 0810: (a) objekty s $12,0 < h \leq 22,5$ m; (b) objekty s $h > 22,5$ m.....	39
obr. 33 Příklad rozdělení větrané dutiny a hořlavé izolace pomocí klempířských prvků; legenda: 1 – difúzní fólie, 2 a 3 a 4 – prvky nosného roštu obkladu, 5 – proudění vzduchu v dutině, 6 – výdech vzduchu z dutiny, 7 – nasátí vzduchu do dutiny [16].....	40
obr. 34 Referenční scénář v axonometrii, svislém řezu a vodorovném řezu .....	41
obr. 35 Rastr výpočetní sítě ve svislém a vodorovném řezu, počátek soustavy vyznačený v axonometrii .....	42
obr. 36 Rozmístění měřících zařízení na bočním a čelním pohledu .....	44
obr. 37 Referenční scénář - vizualizace plamene z programu Smokeview, vpravo lze sledovat prošlehávání plamene do dutiny v čase $\approx 18$ min.....	45
obr. 38 Referenční scénář - ukázka z průběhu teplot v čase $\approx 17$ min; vlevo rozložení teplot na spodní hraně vzorku a 500 mm nad spodní hranou, uprostřed teploty ve svislé ose, stupnice [°C] .....	45

obr. 39 Referenční scénář - průběh průměrných teplot plynů v ose větrané dutiny vlevo, vpravo rozložení teplot [°C] v dutině v čase $\approx 17$ min .....	46
obr. 40 Referenční scénář - průběh průměrných teplot plynů 25 mm před obkladem vlevo, vpravo rozložení teplot [°C] před obkladem v čase $\approx 17$ min .....	46
obr. 41 Referenční scénář - průběh průměrných povrchových teplot obkladu.....	47
obr. 42 Referenční scénář - průběh rychlosti proudění plynů v ose větrané dutiny vlevo, vpravo rozložení rychlostí [m/s] v dutině v čase $\approx 17$ min.....	47
obr. 43 Referenční scénář - průběh naměřené hustoty tepelného toku nad fasádním vzorkem ...	48
obr. 44 Referenční scénář - průběh průměrných tlakových rozdílů v ose větrané dutiny .....	48
obr. 45 Model s hořlavým obkladem v axonometrii, svislém řezu a vodorovném řezu.....	49
obr. 46 Model s hořlavým obkladem – výpočetní síť v modelu s hořlavým obkladem, celkový počet výpočetních buněk je 7 296.....	50
obr. 47 Rozmístění měřících bodů na modelu s hořlavým obkladem .....	51
obr. 48 Model s hořlavým obkladem – vizualizace plamene; zleva: v čase $\approx 2$ min většina plamenů směřuje do dutiny, v čase cca 6 minut hoří vnější povrch obkladu a většina plamenů míří před obklad, v čase 14 minut hoří obklad z obou stran .....	51
obr. 49 Model s hořlavým obkladem – teplotní isoplocha kolmo na vzorek se stupnicí [°C], čas simulace vlevo $\approx 2$ min, uprostřed $\approx 20$ min a vpravo $\approx 26$ min.....	52
obr. 50 Model s hořlavým obkladem – průběh průměrných teplot plynů v ose větrané dutiny vlevo, vpravo rozložení teplot [°C] v dutině po zahoření dřevěného obkladu obou stran v čase $\approx 26$ min .....	52
obr. 51 Model s hořlavým obkladem – průběh průměrných teplot plynů 25 mm před obkladem vlevo, vpravo rozložení teplot [°C] před obkladem po zahoření dřevěného obkladu obou stran v čase $\approx 26$ min .....	53
obr. 52 Model s hořlavým obkladem – průběh průměrných povrchových teplot obkladu: (a) na povrchu směrem do dutiny; (b) vnější povrch .....	54
obr. 53 Model s hořlavým obkladem – průběh rychlosti proudění plynů ve větrané dutině vlevo, vpravo rozložení rychlostí [m/s] v dutině po zahoření obkladu z obou stran v čase $\approx 26$ min ....	54
obr. 54 Model s hořlavým obkladem – průběh naměřené sálavé složky tepelného toku nad fasádním vzorkem.....	55
obr. 55 Model s hořlavým obkladem – průběhy průměrných tlakových rozdílů v ose větrané dutiny .....	55



---

obr. 56 Porovnání průměrných teplot plynů v ose větrané dutiny: (a) Spodní hrana; (b) 500 mm nad spodní hranou.....	56
obr. 57 Porovnání průměrných teplot plynů vnějšího povrchu obkladu; (a) Spodní hrana, (b) 500 mm nad spodní hranou.....	57
obr. 58 Porovnání průměrných rychlostí proudění horkých plynů v ose větrané dutiny: (a) Spodní hrana; (b) 500 mm nad spodní hranou .....	57
obr. 59 Porovnání sálavé složky tepelného toku 50 mm nad fasádním vzorkem.....	58
obr. 60 Porovnání tlakových rozdílů v ose dutiny: (a) Spodní hrana; (b) 500 mm nad spodní hranou .....	58
obr. 61 Detail uchycení nosného roštu obkladu.....	60
obr. 62 Sestava vzorku s popisem prvků, vlevo rozestavěný vzorek, vpravo kompletní první vzorek s obkladem z ocelového plechu Cor-Ten.....	60
obr. 63 Rozmístění měřicích zařízení na vzorcích na čelním a bočním pohledu .....	61
obr. 64 Popis sestaveného vzorku bez obkladové desky, vyznačeny pitotovy trubice a radiometr .....	62
obr. 65 Vzorek 01 – Referenční scénář před zkouškou vlevo; po zkoušce a sejmutí ocelové desky Cor-Ten vpravo, první dvě řady na spodní části čedičové vaty Isover UNI byly výrazně zkřehlé .....	62
obr. 66 Referenční scénář – průběh průměrných teplot plynů v dutině: (a) spodní hrana; (b) 500 mm nad spodní hranou.....	63
obr. 67 Referenční scénář – průběh průměrných teplot plynů v dutině v úrovni 1600 mm nad spodní hranou vzorku .....	64
obr. 68 Referenční scénář - průběh průměrných povrchových teplot na obkladu z vnější strany: (a) 500 mm nad spodní hranou; (b) 1600 mm nad spodní hranou .....	64
obr. 69 Referenční scénář – průběhy naměřeného tlaku ve větrané dutině: (a) 500 mm nad spodní hranou; (b) 1600 mm nad spodní hranou.....	65
obr. 70 Referenční scénář – průběh sálavé složky tepelného toku nad větranou dutinou .....	65
obr. 71 Fasádní vzorek s kompozitním panelem, který měl polymerní jádro z retardovaného PE: (a) vzorek před zkouškou; (b) vzorek při zkoušce, patrné odkapávání hořících částí obkladu; (c) vzorek po vypnutí přívodu plynu k hořáku, kdy docházelo i nadále k šíření plamene prostřednictvím obkladových kompozitních panelů, taktéž k odkapávání hořících částí a plamennému hoření nad dutinou.....	66
obr. 72 Fasáda s kompozitním panelem – průběhy průměrných teplot, (a) v dutině, (b) na vnějším povrchu obkladu .....	67

---

---

obr. 73 Fasáda s kompozitním panelem – průběhy tlaků ve větrané dutině.....	68
obr. 74 Průběh sálavé složky tepelného toku nad větranou dutinou.....	68
obr. 75 Fasádní vzorek s OSB deskou: (a) vzorek před zkouškou; (b) vzorek při zkoušce po vypnutí přívodu plynu k hořáku, plamenné hoření nad dutinou bylo velmi výrazné; (c) odmontovaná OSB deska po zkoušce .....	69
obr. 76 Fasáda s OSB deskou – průběh průměrných teplot plynů v dutině: (a) spodní hrana; (b) 500 mm nad spodní hranou.....	69
obr. 77 Fasáda s OSB deskou – průběh průměrných teplot plynů v dutině v úrovni 1600 mm nad spodní hranou vzorku.....	70
obr. 78 Fasáda s OSB deskou – průběhy průměrných povrchových teplot na obkladu z vnější strany: (a) 500 mm nad spodní hranou; (b) 1600 mm nad spodní hranou.....	70
obr. 79 Fasáda s OSB deskou – průběhy tlakových rozdílů v dutině: (a) 500 mm nad spodní hranou; (b) 1600 mm nad spodní hranou.....	71
obr. 80 Fasáda s OSB deskou – průběh sálavé složky tepelného toku nad větranou dutinou .....	71
obr. 81 Porovnání zkoušených fasádních vzorků – průběh průměrných teplot plynů v dutině: (a) spodní hrana; (b) 500 mm nad spodní hranou .....	72
obr. 82 Porovnání zkoušených fasádních vzorků – průběh průměrných teplot plynů v dutině v úrovni 1600 mm nad spodní hranou vzorku .....	72
obr. 83 Porovnání zkoušených fasádních vzorků – průběhy průměrných povrchových teplot na obkladu z vnější strany: (a) 500 mm nad spodní hranou; (b) 1600 mm nad spodní hranou.....	73
obr. 84 Porovnání zkoušených fasádních vzorků – průběhy tlakových rozdílů v dutině: (a) 500 mm nad spodní hranou; (b) 1600 mm nad spodní hranou .....	73
obr. 85 Porovnání zkoušených fasádních vzorků – průběh hustoty tepelného toku nad větranou dutinou .....	74
obr. 86 Průběh HRR pro dřevěnou desku [25] .....	86
obr. 87 Fotodokumentace průběhu sestavování fasádních vzorků a zkoušky funkčnosti plynového hořáku .....	87
obr. 88 Fotodokumentace průběhu sestavování fasádních vzorků .....	88
obr. 89 Fotozáznam ze zkoušky fasádního vzorku s kompozitním panelem.....	89
obr. 90 Fotozáznam ze zkoušky fasádního vzorku s OSB deskou .....	90

## Seznam tabulek

tab. 1 Požárně technické vlastnosti EPS [5] .....	9
tab. 2 Požárně technické vlastnosti minerálního vlákna [5],[9],[6] .....	10
tab. 3 Přehled zkoušek pro stanovení tříd reakce na oheň [5] .....	15
tab. 4 Zkušební metody velkorozměrových zkoušek fasád v rámci Evropy [20].....	26
tab. 5 Třída reakce na oheň výrobků ve větraných fasádách dle požární výšky objektu.....	39
tab. 6 Referenční scénář –Tepelně-technické vlastnosti použitých materiálů .....	43
tab. 7 Model s hořlavým obkladem – tepelně-technické vlastnosti použitých materiálů .....	49
tab. 8 Přepočítání hodnot křivky HRR dřevěné desky na poměrné hodnoty [25] .....	86

---

## Literatura

- [1] PUŠKÁR, Anton, Jozef FUČILA, Ivan ŘEHÁK a Boris VAVROVIČ. *Obvodové pláště budov - Fasády*. B.m.: Bratislava: Jaga group, v.o.s., 2002. ISBN 80-88905-72-9.
- [2] BARBOSA, Sabrina a Kenneth IP. Perspectives of double skin façades for naturally ventilated buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2014, **40**, 1019–1029. ISSN 13640321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2014.07.192
- [3] CHOW, W.K. a W.Y. HUNG. Effect of cavity depth on smoke spreading of double-skin façade. *Building and Environment* [online]. 2006, **41**(7), 970–979. ISSN 03601323. Dostupné z: doi:10.1016/j.buildenv.2005.04.009
- [4] LIVKISS, Karlis, Stefan SVENSSON, Bjarne HUSTED a Patrick VAN HEES. Flame Heights and Heat Transfer in Façade System Ventilation Cavities. *Fire Technology* [online]. 2018 [vid. 2018-04-17]. ISSN 0015-2684, 1572-8099. Dostupné z: doi:10.1007/s10694-018-0706-2
- [5] VODIČKA, Tadeáš. *Srovnání středněrozměrové a velkorozměrové požární zkoušky kontaktního zateplovacího systému - Diplomová práce*. B.m.: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb. 2014
- [6] SCHIAVONI, S., F. D'ALESSANDRO, F. BIANCHI a F. ASDRUBALI. Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2016, **62**, 988–1011. ISSN 13640321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2016.05.045
- [7] ZHOU, Biao, Hideki YOSHIOKA, Takafumi NOGUCHI a Tatsuo ANDO. Numerical prediction of mass loss rate of expanded polystyrene (EPS) used for external thermal insulation composite systems (ETICS) in cone calorimeter. *Fire and Materials* [online]. 2018, **42**(5), 517–526. ISSN 03080501. Dostupné z: doi:10.1002/fam.2495
- [8] MIKULECKÁ, Kristýna a Radimír NOVOTNÝ. Přehled tepelných izolací ve stavební praxi se zaměřením na novodobé materiály a jejich ekonomické posouzení. *Mladá věda*. 2017, **5**(10), 47–62. ISSN 1339-3189.
- [9] PEŠKOVÁ, Zdeňka. *Vliv účinku požáru na chování tepelných minerálních izolantů - Diplomová práce*. B.m.: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb. 2016
- [10] KNAUF INSULATION, SPOL. S R.O. Tipy a rady pro větrané fasády. *TZB-info* [online]. 30. listopad 2015. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/13508-tipy-a-rady-pro-vetrane-fasady>
- [11] ČSN ISO 13785-1 *Zkoušky reakce na oheň pro fasády - Část 1: Zkouška středního rozměru*. B.m.: Praha: ÚNMZ. 2010
- [12] ČSN 73 0810 *Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení*. B.m.: Praha: ÚNMZ. 2016

- [13] HEJTMÁNEK, Petr a Marek POKORNÝ. Požární hledisko kontaktních zateplovacích systémů dle ČSN 73 0810:2016. *TZB-info* [online]. 14. březen 2018 [vid. 2018-03-14]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/14515-pozarni-hledisko-kontaktnich-zateplovacich-systemu-dle-csn-73-0810-2016>
- [14] *ISO 13785-2. Reaction-to-fire test for façades – Part 2: Large-scale test*. B.m.: Geneva: ISO copyright office. 2002
- [15] PELÁKOVÁ, Petra. *Vnější kontaktní zateplovací systémy budov z požárního hlediska - Bakalářská práce*. B.m.: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb. 2012
- [16] Y. MARTIN, S. EECKHOUT, L. LASSOIE, E. WINNEPENNINCKX a B. DESCHOOLMEESTER. *Fire safety of multi-storey building façades* [online]. B.m.: Brusel: BBRI. 2017. Dostupné z: [https://www.bbri.be/homepage/download.cfm?lang=en&dtype=publ&doc=FIRE\\_SAFE\\_TY\\_FACADES.pdf](https://www.bbri.be/homepage/download.cfm?lang=en&dtype=publ&doc=FIRE_SAFE_TY_FACADES.pdf)
- [17] MAREK POKORNÝ. Požární bezpečnost a rizika větraných fasádních systémů. In: *Konference Požární bezpečnost staveb 2018*. Praha-Letňany. září 2018.
- [18] LARS BOSTRÖM, ANJA HOFMANN-BÖLLINGHAUS, SARAH COLWELL, ROMAN CHIVA, PÉTER TÓTH, ISTVAN MODER, JOHAN SJÖSTRÖM, JOHAN ANDERSON a DAVID LANGE. *Development of a European approach to assess the fire performance of façades*. B.m.: Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. ISBN 978-92-79-88000-1.
- [19] PENG, Lei, Zhaopeng NI a Xin HUANG. Review on the Fire Safety of Exterior Wall Claddings in High-rise Buildings in China. *Procedia Engineering* [online]. 2013, **62**, 663–670. ISSN 18777058. Dostupné z: doi:10.1016/j.proeng.2013.08.112
- [20] JOHAN ANDERSSON, LARS BOSTRÖM a ROBERT JANSSON MCNAMEE. *Fire Safety of Facades* [online]. B.m.: Boras: Research Institutes of Sweden. březen 2017. Dostupné z: [https://www.brandskyddsforeningen.se/globalassets/brandforsk/brandforsk\\_rapport\\_300\\_151\\_brandkrav-pa-fasader.pdf](https://www.brandskyddsforeningen.se/globalassets/brandforsk/brandforsk_rapport_300_151_brandkrav-pa-fasader.pdf)
- [21] DREAN, Virginie, Renaud SCHILLINGER, Hervé LEBORGNE, Gildas AUGUIN a Eric GUILLAUME. Numerical Simulation of Fire Exposed Façades Using LEPİR II Testing Facility. *Fire Technology* [online]. 2018, **54**(4), 943–966. ISSN 0015-2684, 1572-8099. Dostupné z: doi:10.1007/s10694-018-0718-y
- [22] MÓDER, István, Ádám VARGA, Péter GEIER, Bálint VÁGÓ a Edit RAJNA. Brief summary of the Hungarian test method (MSZ 14800-6:2009) of fire propagation on building façades. *MATEC Web of Conferences* [online]. 2016, **46**, 01002. ISSN 2261-236X. Dostupné z: doi:10.1051/matecconf/20164601002
- [23] *ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty, Z1 (2013), Z2 (2015)*. B.m.: Praha: ÚNMZ. 2009

- [24] ČSN 73 0804 *Požární bezpečnost staveb - Výrobní objekty, Z1 (2013), Z2 (2015)*. B.m.: Praha: ÚNMZ. 2010
- [25] HYEONG-JIN KIM a DAVID G. LILLEY. Heat Release Rates of Burning Items in Fires. In: *38th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit* [online]. Reno, Nevada, USA: Stillwater, Oklahoma, USA: Lilley and Associates, 2000. Dostupné z: <http://www.firebid.umd.edu/docs/Kim%20-%20HRR%20of%20Burning%20Items%20in%20Fires.pdf>
- [26] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION a SOCIETY OF FIRE PROTECTION ENGINEERS, ed. *SFPE handbook of fire protection engineering*. 3rd ed. Quincy, Mass. : Bethesda, Md: National Fire Protection Association ; Society of Fire Protection Engineers, 2002. ISBN 978-0-87765-451-3.
- [27] POKORNÝ, Marek. *Instalační šachty z požárního hlediska - Disertační práce*. B.m.: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb. 2012