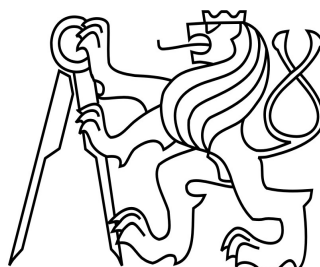


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta stavební**

**Katedra konstrukcí pozemních staveb**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**EXPERIMENTÁLNÍ ZJIŠŤOVÁNÍ POŽÁRNĚ- A  
TEPELNĚ TECHNICKÝCH CHARAKTERISTIK  
STAVEBNÍCH VÝROBKŮ A IMPLEMENTACE DAT DO  
CFD MODELŮ**

EXPERIMENTAL DETECTION OF FIRE AND HEAT TECHNICAL  
CHARACTERISTICS OF CONSTRUCTION PRODUCTS AND  
IMPLEMENTATION OF DATA INTO CFD MODELS

**Bc. Hana Buchnarová**

Praha, leden 2018

Vedoucí diplomové práce: Ing. arch. Bc. Petr Hejtmánek

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Integrální bezpečnost staveb



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Buchnarová</u>	Jméno: <u>Hana</u>	Osobní číslo: _____
Zadávající katedra: <u>K125 - Katedra konstrukcí pozemních staveb</u>		
Studijní program: <u>Magisterský</u>		
Studijní obor: <u>Integrovaná bezpečnost budov</u>		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Experimentální zjišťování požárně- a tepelně technických charakteristik stavebních výrobků a implementace dat do CFD modelů</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Experimental detection of fire and heat technical characteristics of construction products and implementation of data into CFD models</u>	
Pokyny pro vypracování:	
Seznam doporučené literatury: - Lyon, Richard E., and Marcelo M. Hirschler. Fire Calorimetry. Federal Aviation Administration, 1995. - Kim, Mihyun Esther, and Nicholas Dembsey. Engineering Guide for Estimating Material Pyrolysis Properties for Fire Modeling. Worcester Polytechnic Institute, 2012. - Babraukas, Vytenis, and Richard D. Peacock. "Heat Release Rate: The Single Most Important Variable in Fire Hazard." Fire Safety Journal, 18, no. issue 3 (1992): s.255-72. doi:10.3403/30145523. - Nicholas P. Setchkin. A Method and Apparatus for Determining the Ignition Characteristics of Plastics. US Department of Commerce National Bureau of Standards, 1949.	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. arch. Bc. Petr Hejtmánek</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>2.10.2017</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>7.1.2018</u> <i>Údaj uváděte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
_____ Podpis vedoucího práce	_____ Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>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“.</i>	
_____ Datum převzetí zadání	_____ Podpis studenta(ky)

---

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou prací na téma „Zjišťování požárně- a tepelně technických charakteristik stavebních výrobků a implementace dat do CFD modelů“ zpracovala samostatně. Podkladem mi byli uvedené informační zdroje a konzultace s vedoucím této diplomové práce Ing. arch. Bc. Petrem Hejtmánkem.

V Praze dne 7. 1. 2018

.....

Bc. Hana Buchnarová

---

## Poděkování

Ráda bych zde poděkovala vedoucímu své diplomové práce Ing. arch. Bc. Petru Hejtmánkovi. Jeho podpora, práce, nápady a ochota konzultovat i v nočních hodinách má velkou zásluhu na dokončení této práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Liboru Ševčíkovi z Technického ústavu požární ochrany MV ČR, který mi poskytl data z měření v kónickém kalorimetru. Ing. Marku Pokornému, Ph.D. z UCEEB ČVUT v Praze, který poskytl data z měření velkorozměrové požární zkoušky Room Corner Test.

Děkuji své rodině, svým rodičům Haně a Tomášovi, kteří mi poskytli podporu během celého mého studia. Mé sestře Adéle, která je mým nejlepším přítelem, a která mi vždy dokáže připomenout, co je v životě důležité.

---

# Obsah

<b>Čestné prohlášení .....</b>	<b>II</b>
<b>Poděkování .....</b>	<b>III</b>
<b>Abstrakt .....</b>	<b>VI</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 Cíle diplomové práce .....	1
<b>2 Nástroje k měření PTCH.....</b>	<b>3</b>
2.1 Požární a tepelně technické charakteristiky stavebních materiálů, používané v požárních modelacích.....	3
2.1.1 Tepelně technické charakteristiky materiálů.....	3
2.1.2 Požárně technické charakteristiky materiálů.....	4
2.2 Požární a tepelně technické charakteristiky stavebních materiálů, používané v návrhu podle preskriptivních předpisů .....	4
2.3 Kónický kalorimetr .....	5
2.3.1 Metoda spotřeby kyslíku .....	6
2.3.2 Přístroj.....	8
2.3.3 Měření .....	9
2.3.4 Výsledky měření.....	11
2.4 Setchkinova pec.....	11
2.4.1 Metoda.....	11
2.4.2 Přístroj.....	12
2.4.3 Vzorek.....	13
2.5 Room corner test.....	13
2.5.1 Požární zkušebna .....	14
2.5.2 Zdroj zapálení .....	14
2.5.3 Digestoř a odvodní potrubí.....	15
2.5.4 Příprava zkušebních těles .....	17
2.5.5 Průběh zkoušky.....	17
2.6 Další přístroje pro zjišťování HRR .....	18
2.6.1 Kalorimetr pro volné hoření .....	18
2.6.2 Středněrozměrový kalorimetr .....	18
<b>3 Požární modelování.....</b>	<b>20</b>
3.1 Computational Fluid Dynamics .....	20
3.1.1 Historie .....	21
3.1.2 Hydrodynamický model.....	22
3.1.3 Validace modelu .....	23
3.2 Fire Dynamics Simulator .....	24
3.2.1 Geometrie a překážky .....	25
3.2.2 Okrajové podmínky a vstupní údaje .....	27
3.2.3 Hoření a pyrolýza.....	28

---

3.2.4	Materiály .....	29
<b>4</b>	<b>Analýza testovaných materiálů.....</b>	<b>31</b>
4.1	Polymethylmethakrylát .....	31
4.2	Pyrolýza.....	32
4.3	Empirický model.....	34
4.3.1	Modelování.....	34
4.3.2	Modelování PMMA použitím empirického modelu.....	34
4.4	Jednoduchý analytický model .....	35
4.4.1	Přímé měření.....	36
4.4.2	Modelování PMMA jednoduchým analytickým modelem.....	36
<b>5</b>	<b>Analýza zkoušky v kónickém kalorimetru.....</b>	<b>38</b>
5.1	Zkouška desky PMMA v FDS.....	38
5.1.1	Výsledky měření a porovnání.....	42
5.2	Zkoušky OSB desek v FDS.....	45
5.2.1	OSB desky.....	46
5.3	Zkouška desky OSB Superfinish ECO v FDS .....	47
5.3.1	Výsledky měření a porovnání.....	49
<b>6</b>	<b>Analýza požární zkoušky Room Corner Test .....</b>	<b>53</b>
6.1	Room Corner Test s obkladem z OSB Firestop .....	54
6.1.1	Průběh reálné zkoušky .....	54
6.1.2	Zadání modelů zkoušky Room Corner Test.....	55
6.1.3	Porovnání modelu RCT s reálnou zkouškou.....	57
6.2	Room Corner Test s obkladem z OSB Superfinish ECO.....	60
6.2.1	Zadání modelů zkoušky Room Corner Test.....	60
6.2.2	Porovnání výsledků HRR naměřených v modelu RCT a kónického kalorimetru.....	61
6.3	Vyhodnocení.....	63
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>64</b>
	<b>Příloha 1 – Zdrojový kód: Zjednodušený kónický kalorimetr – Zkouška PMMA.....</b>	<b>66</b>
	<b>Příloha 2 – Zdrojový kód: Zjednodušený kónický kalorimetr – Zkouška OSB – 1. verze..</b>	<b>69</b>
	<b>Příloha 3 – Zdrojový kód: Zjednodušený kónický kalorimetr – Zkouška OSB – 2. verze..</b>	<b>72</b>
	<b>Příloha 4 – Zdrojový kód: Room Corner Test – Zkouška OSB – Verze 1 .....</b>	<b>75</b>
	<b>Příloha 5 – Zdrojový kód: Room Corner Test – Zkouška OSB – Verze 2 .....</b>	<b>82</b>
	<b>Příloha 6 – Zdrojový kód: Room Corner Test – Zkouška OSB Firestop – Verze 1 .....</b>	<b>89</b>
	<b>Příloha 7 – Zdrojový kód: Room Corner Test – Zkouška OSB Firestop.....</b>	<b>96</b>
	<b>Příloha 8 – Fotografie ze zkoušky Room Corner Testu .....</b>	<b>103</b>
	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>106</b>
	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>107</b>
	<b>Literatura .....</b>	<b>108</b>

---

---

## Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na zjišťování požárnětechnických a tepelnětechnických charakteristik stavebních výrobků. Práce je rozdělena na dvě základní části. První část je literární rešerše, která se zaměřuje na nástroje pro zjišťování těchto charakteristik. Detailně rozebrány jsou kónický kalorimetr, Setchkinova pec a Room Corner Test. Data získaná z těchto nástrojů se nejčastěji používají jako vstupní data do požárních modelů. Druhá část se zaměřuje na modelaci v programu FDS. Nejprve je řešen model kónického kalorimetru. Modelují se desky z polymethylmetakrylátu a OSB. Data naměřená v těchto zkouškách jsou porovnána se vzorky, které byly odzkoušeny v Technickém ústavu požární ochrany MV ČR. Poté je modelována velkorozměrová požární zkouška Room Corner Test. Modely zkoušky obkladů z OSB desek jsou srovnány mezi sebou a s reálnou zkouškou, která proběhla v Univerzitním centru efektivních budov.

### Klíčová slova

Kónický kalorimetr; Setchkinova pec; Room Corner Test, rychlost uvolňování tepla; teplota vznícení; teplota vzplanutí; Požár; Spalování

## Abstract

Diploma thesis is focused on detection of fire and heat technical characteristic of construction products. Thesis is divided into two basic parts. The first part is literary research that focuses on the tools for detecting these characteristics. The Cone calorimeter, Setchkin apparatus and Room Corner Test are described in detail. The data obtained from these tools are most frequently used as input data for fire models. The second part focuses on modelling in FDS program. At first there is solved model of a Cone calorimeter. There will be simulated tests of a slab of polymethyl methacrylate and OSB. The data measured in these tests are compared with the samples that have been examine by the Technical Institute of Fire Protection of the Ministry of the Interior of the Czech Republic.

### Keywords

Cone calorimeter; Setchkin apparatus; Room Corner Test; Heat release rate; Self-ignition temperature; Flash initiation temperature; Fire; Combustion

---

## Seznam použitých symbolů a zkratk

### Latinské symboly

HRR	Heat Release Rate	kW
MLR	Mass Loss Rate	g/s
$M_t$	Okamžitá hmotnost	g
t	Čas	s
T	Teplota	°C
$\rho$	Objemová hmotnost	kg/m <sup>3</sup>
$\lambda$	Součinitel tepelné vodivosti	W/m.K
c	Měrná tepelná kapacita	J/kg.K

### Zkratky

ASTM	American Society of Testing and Materials (Americká společnost pro testování materiálů)
CFD	Computational Fluid Dynamics model (Modely počítačové dynamiky tekutin)
ČSN	Česká technická norma
DIN	Deutsche Industrie-Norm (Německá národní norma)
FDS	Fire Dynamics Simulator (Simulátor požární dynamiky)
HMV	Horizontal Motot Vehicle Flamability (Horizontální hořlavost motorových vozidel)
HRR	Heat Release Rate (Rychlost uvolňování tepla)
ICAL	Intermediate-scale calorimeter (Středněrozměrový kalorimetr)
ISO	International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro standardizaci)
LES	Large Eddy Simulation modely
MLR	Mass Loss Rate (Rychlost úbytku hmotnosti)
NBS	National Bureau of Standards (Národní úřad pro standardizaci)



---

NIST	National Institute of Standards and Technology (Národní institut pro standardizaci a technologie)
OSB	Oriented Strand Board
PIP	Požárně inženýrský přístup
PMMA	Polymethylmethakrylát
PTCH	Požárně technické charakteristiky
RANS	Reynolds-Averagedovi Navier- Stokesovy modely
RCT	Room corner test (Test v rohu místnosti)
SBI	Single Burning Item (Samostatně hořící předmět)
TTCH	Tepelně technické charakteristiky
TÚPO	Technický ústav požární ochrany MV ČR
UCEEB	Univerzitní centrum energetický efektivních budov ČVUT v Praze

# 1 Úvod

V současné době se projekce a realizace stavebních objektů setkává se stoupající tendencí složitosti projektů, které jsou náročné pro zajištění bezpečnosti. Projekty jako výškové budovy, velkorozměrové sklady anebo liniové podzemní stavby mají, z hlediska požární bezpečnosti, vysoké požadavky. Normativní přístup k těmto projektům je mnohdy neefektivní a neekonomický, a proto je výhodné k takovýmto projektům přistupovat individuálně tzv. inženýrským přístupem. Inženýrský přístup vychází z vědeckých poznatků a zkušeností. Výhodou inženýrského přístupu je možnost snížení nákladů a požadavků při zajištění minimálně stejné míry bezpečnosti jakou zaručují preskriptivní předpisy. Nevýhodou je nedostatek podkladů pro návrh, časová náročnost, změny v projektu a přímá zodpovědnost projektanta.

Problematika požárně inženýrského přístupu (dále PIP) zahrnuje nezdávka i počítačovou modelaci objektů. Pro tuto modelaci se používají CFD modely, které zahrnují pokročilé požárně inženýrské simulace založené na algoritmech a fyzikálních poznatcích. CFD modely popisují dynamický pohyb tekutin, tedy vzduchu, kouře a plynných zplodin hoření. Program FDS pracuje na principech CFD a je jedním z nejvyužívanějších nástrojů počítačové modelace v požárně inženýrském přístupu.

CFD modely, a tedy i program FDS, jsou vhodné pro celou řadu požárních simulací. Modelovaná oblast vytváří trojrozměrnou síť skládající se z výpočtových buněk, které svou velikostí určují přesnost výpočtu (čím je síť jemnější, tím jsou výsledky přesnější). Nevýhodou těchto programů jsou vysoké nároky na výpočetní techniku, které mohou způsobit i neproveditelnost výpočtu. Dalším podstatným problémem je nedostatek vstupních dat v podobě požárně- a tepelně technických charakteristik stavebních materiálů.

Projekt bezpečnostního výzkumu ministerstva vnitra ČR „Výzkum a vývoj ověřených modelů požáru a evakuace osob a jejich praktická aplikace při posuzování požární bezpečnosti staveb“ se zabývá mimo jiné zjišťováním požárně- a tepelně technických charakteristik stavebních výrobků a implementací naměřených dat do CFD modelů. Diplomová práce bude čerpat z poznatků tohoto výzkumu a současně bude zjišťovat PTCH materiálů z dalších zdrojů.

## 1.1 Cíle diplomové práce

Cílem této práce je shromáždění dat o PTCH materiálů a současně i podrobná literární rešerše zabývající se problematikou měření a jejich ověření pomocí modelu FDS. Hodnoty PTCH stavebních výrobků budou převzaty z ověřených výzkumů a zahraniční literatury, a dále ze zkoušek v kónickém kalorimetru a Setchkinově peci prováděných v Technickém ústavu požární ochrany MV ČR (TÚPO) a z Room Corner Testu provedeném v Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT v Praze (UCEEB). Zkoušeny budou vybrané vzorky materiálů.

Řešeným příkladem budou zkoušky vzorku materiálu v kónickém kalorimetru a stavebního výrobku z tohoto materiálu v Room Corner Testu. Reálně provedené experimenty budou porovnány s modely vytvořenými v FDS.

Diplomová práce si klade za cíl najít spojitost mezi malorozměrovou zkouškou vzorku materiálu v kónickém kalorimetru a velkorozměrovou zkouškou (RCT). Data z obou měření budou zaznamenána a porovnána.

## 2 Nástroje k měření PTCH

V požárně inženýrském modelování je důležité užívat co nejpřesnější vstupní data tak, aby zvolený požární scénář byl plnohodnotnou náhradou normového návrhu. Přesnost požárních modelů závisí na uživateli, který rozhoduje, jaká data jsou použita pro definování požáru. Projekt, a tedy i model je definován celou řadou okrajových podmínek, vstupních a proměnných parametrů, jako je geometrie prostoru, jeho prostředí, vybavení, vybavení protipožárním zařízením, způsob a množství přiváděného vzduchu a samozřejmě i materiály, z kterých je modelovaný prostor vystavěn.

Diplomová práce se zabývá zjišťováním materiálových vlastností stavebních prvků, které se mohou vyskytovat v požárně inženýrských modelech. Tato kapitola představí některé z používaných nástrojů, především kónický kalorimetr, Setchkinovu pec a RCT.

### 2.1 Požární a tepelně technické charakteristiky stavebních materiálu, používané v požárních modelacích

Kvalitní modely obsahují přesný popis materiálu. Vstupní data používaná v požárních modelech se obvykle získávají z laboratorních testů a z literatury. Při modelaci požáru se definují požární a tepelně technické materiálové charakteristiky ohraničujících povrchů konstrukcí a hořícího materiálu.

#### 2.1.1 Tepelně technické charakteristiky materiálů

Tepelně technické charakteristiky používané v modelaci programu FDS a popisují změnu chování za zvyšující se teploty jsou hustota, měrná tepelná kapacita a součinitel tepelné vodivosti. Tepelná setrvačnost je součinem těchto charakteristik a je ukazatelem tepelné stability konstrukce. Materiály s dostatečnou tepelnou setrvačností jsou schopny utlumit výkyvy teplot konstrukce, a tak oddálit teplotu vzplanutí.

Hustota nebo objemová hmotnost se mění při zvyšující se teplotě, a dochází k roztažnosti nebo smršťování. Během zahřívání se uvolňují těkavé látky obsažené v materiálu, které podporují hoření. Závislost hustoty na teplotě se stanovuje termogravimetrickou analýzou a objemové změny dilatometrickou analýzou.

Měrná tepelná kapacita vyjadřuje teplo potřebné k ohřátí jednoho kilogramu materiálu o jeden Kelvin. Jedná se o tepelnou reakci materiálu, která popisuje fyzikální a chemické přeměny v materiálu. Hodnota měrné tepelné kapacity se zjišťuje např. pomocí diferenciální skenovací kalorimetrie.

Součinitel tepelné vodivosti je přestup tepla vedením odpovídající pohybu tepla v materiálu v důsledku teplotního gradientu a závisí na vlhkosti, teplotě, pórovitosti, hustotě a mikrostruktuře

materiálu. Měří se impulsem, anebo pomocí odporového drátu, který měří rychlost vzrůstu teploty v okolí vzorku při dané teplotě. [1]

### 2.1.2 Požárně technické charakteristiky materiálů

Požárně technické charakteristiky materiálů jsou nejdůležitější vstupní data pro modelaci CFD v požárně inženýrském řešení a pro stanovení třídy reakce na oheň, která se používá pro klasifikaci výrobků v preskriptivních předpisech. PTCH popisují chování materiálu za zvýšené teploty a jeho vliv na rozvoj požáru.

CFD model využívaný v PIP ve svých výpočtech používá řadu PTCH, které ovlivňují správnost výsledných hodnot. Pro potřeby modelace je nejpodstatnější rychlost uvolňování tepla, časově proměnná veličina závislá na dalších PTCH materiálů přítomných v modelu a okrajových podmínkách.

Pro modelaci v FDS se nejčastěji používají hodnoty rychlosti uvolňování tepla (dále HRR), efektivní výhřevnosti a spalného tepla a Soot-yield<sup>1</sup>, které se měří kalorimetrickými přístroji, dále teplota vznícení a vzplanutí, která je zjišťována v Setchkinově peci. Kónický kalorimetr a Setchkinova pec jsou nejčastěji používanými nástroji malorozměrových zkoušek, a proto budou v následujících kapitolách popsány detailněji.

## 2.2 Požární a tepelně technické charakteristiky stavebních materiálů, používané v návrhu podle preskriptivních předpisů

Klasifikace hořlavosti stavebních materiálů je dle evropských standardů<sup>2</sup> třída reakce na oheň. Popisuje příspěvek materiálu k rozvoji a intenzitě požáru. Dle českých norem je určován i index šíření plamene po povrchu<sup>3</sup> a odkapávání hmot<sup>4</sup>. Zatřídění výrobku do jedné ze sedmi tříd vychází z výsledků testů malorozměrových laboratorních zkoušek.

- Spalné teplo je teplo vznikající při dokonalém spálení jednotky hmotnosti paliva. Pro zjištění spalného tepla se používá bombový kalorimetr. Měření v bombovém kalorimetru je podle ČSN EN ISO 1928 a ČSN DIN 51900-1.
- Zápalnost materiálu je vyjádřena pomocí parametru šíření plamene, který popisuje přestup tepla ze spodní části plamene na palivo.

---

<sup>1</sup> Soot-yield je produkce sazí nebo spalin, která vzniká během spalování.

<sup>2</sup> ČSN EN 13501-1 – Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň

<sup>3</sup> ČSN 73 0863 – Požárně technické vlastnosti hmot – Stanovení šíření plamene po povrchu stavebních hmot

<sup>4</sup> ČSN 73 0865 – Požární bezpečnost staveb – Hodnocení odkapávání hmot z podhledů stropů a střeš

- SBI (Single Burning Item) test je způsob stanovení reakce na oheň stavebních výrobků vystavených tepelnému namáhání od samostatně hořícího předmětu.
- Zkouška nehořlavosti se používá pro materiály, které jsou stejnorodé a mají malý vývin tepla a plamenů nebo jsou nestejnorodé, ale podstatná část materiálu je stejnorodá. Měří se přístroji na zkoušku ne/hořlavosti HMV (Horizontal Motor Vehicle Flamability) Tester nebo Autoflam. Výpočet odpovídá ČSN EN ISO 1182.[1]

## 2.3 Kónický kalorimetr

Kónický kalorimetr je požární testovací zařízení pracující na principu spotřebování kyslíku během spalování. Jedná se o nejpoužívanější zařízení k zjišťování vlastností materiálu.[2] Data z něj zjištěná jsou používána pro modelování chování materiálu během požáru. Výsledkem testu jsou čas zapálení, hmotnostní úbytek, množství částic v kouři, analýza plynů, rychlost uvolňování tepla, optická hustota kouře a další požární parametry.

Vývoj technologie kónického kalorimetru začal již v padesátých letech minulého století a v sedmdesátých letech vznikl první NBS kalorimetr (National Bureau of Standards<sup>5</sup>) V roce 1985 byl uveden v Japonsku první kónický kalorimetr, který nevznikal pod záštitou NIST a v následujícím roce i na univerzitě v Gentu. V dnešní době je používáno více než 130 přístrojů po celém světě.

První návrh standardizování měření kónickým kalorimetrem ASTM P 190 byl roku 1986 a publikován byl v roce 1990 v ASTM E 1354-90. Jednalo se o první požárně testovací zařízení uznané americkou Cenou za technologickou inovaci. Roku 1990 byla metoda měření kónickým kalorimetrem doporučena ISO standardizací a o tři roky později bylo vydáno ISO 5660-1.<sup>6</sup> První vydání se zaměřilo pouze na měření HRR a optická hustota kouře byla zahrnuta ve druhém vydání.[2], [3]

Rychlost uvolňování tepla je základní veličina, která popisuje příspěvek nebezpečí při požáru. Od 70. let jsou vyvíjeny metody a nástroje k měření přesných hodnot. Tyto kalorimetry jsou založeny na jedné z následujících čtyř metod:

- *Metoda jemného nárůstu entalpie* – rychlost uvolňování tepla je měřena na základě rozdílu teploty vzduchu, konstantně dodávaného do spalovací komory, a produktů spalování.
- *Substituční metoda* – rychlost uvolňování tepla je určena z toku plynového hořáku, který napodobuje zaznamenanou teplotní křivku páleného vzorku, který byl měřen dříve.

---

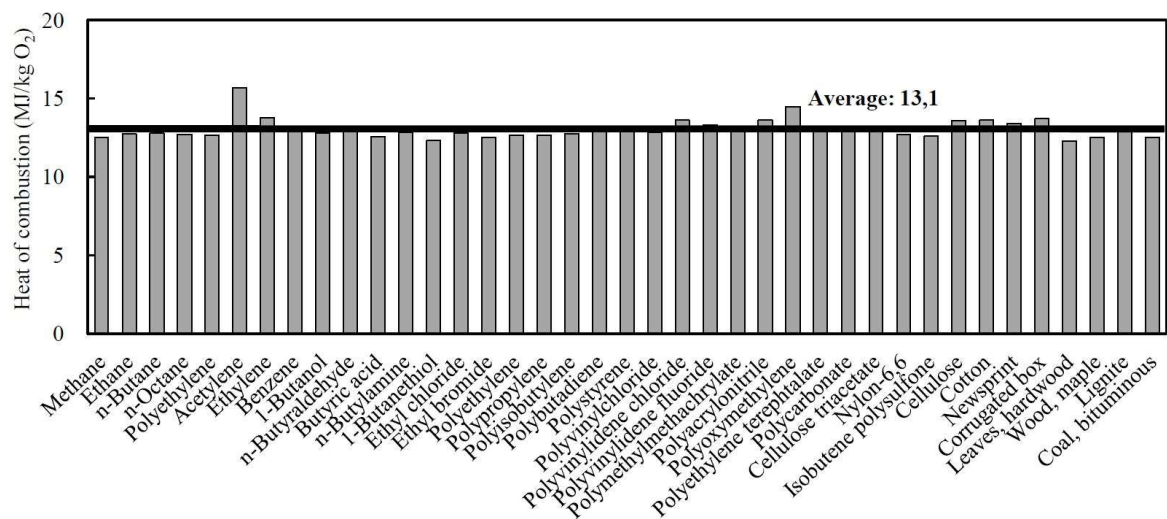
<sup>5</sup> NBS se roku 1988 přejmenoval na NIST - National Institute of Standards and Technology (Národní institut pro standardizaci a technologie)

<sup>6</sup> ISO 5660-1 Reaction-to-fire tests – Heat release, smoke production and mass loss rate – Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement). Mezinárodní technická norma. Poslední novela z roku 2015.

- *Kompenzační metoda* – rychlost uvolňování tepla je vyjádřena z redukce toku plynového hořáku, který je během testu vzorku činný tak, aby byla udržována konstantní teplota vyfukovaných plynů.
- *Metoda spotřeby kyslíku* – rychlost uvolňování tepla je určována z koncentrace kyslíku a z toku plyných spalin. Tato metoda je založena na faktu, že velké množství materiálu má podobnou konstantu teploty uvolňované na jednotku hmotnosti kyslíku během kompletního spalování. Tato metoda je v současnosti klíčová pro měření kónickým kalorimetrem.

### 2.3.1 Metoda spotřeby kyslíku

V roce 1917 W. M. Thornton poukázal na fakt, že velké množství kapalin a plynů má přibližně stejnou hodnotu konstanty pro množství uvolněného tepla na jednotku hmotnosti spotřebovaného kyslíku pro úplné spalování. Clayton Huggett ve své studii z roku 1980 prokázal, že tento vztah platí i pro tuhá paliva, jak je vidět na Obr. 1. V měření kónickým kalorimetrem je spotřeba kyslíku vyjádřena hodnotou konstanty 13,1 MJ/kg. Tato hodnota se v praxi běžně používá pro svou přesnost a maximální odchylku 5 %. Pravidlo prokazuje, že je tato konstanta dostačující pro měření spotřeby kyslíku při spalování za účelem určení přesného uvolňovaného tepla. Tato hodnota je základem metody spotřeby kyslíku pro měření rychlosti uvolňování tepla.



Obr. 1 Teplota spalování pro různá paliva (Převzato z [4])

Prvně byla tato výzkumná metoda použita v ASTM E-84 tunelovém testu. V 70. a 80. letech byla vylepšena v NBS. V současnosti se jedná o jednu z nejpřesnějších a nejpraktičtějších měřících technik, která je používána po celém světě.

Kritériem pro použití této metody je nutnost zachycení všech produktů spalování a jejich vedení skrze spalinovou cestu. V dostatečné vzdálenosti dojde k promíchání průtoku se složením

měřených plynů. Teplota toku vzduchu a ostatní produkty hoření se měří v spalinovém potrubí. Pokud je měřen přísávaný vzduch před vstupem do potrubí, musí být zajištěno, že teplo odrážené od přístroje neovlivní měření tím, že by ozářilo měřený vzorek. To zajistí, že je naměřeno pouze teplo emitující ze vzorku a vzorek je ozařován pouze kontrolovaným tokem tepla. Proto jsou kalorimetry měřící spotřebu kyslíku otevřené.

Prakticky má tato metoda tři úskalí, která je třeba řešit, anebo alespoň zmírnit jejich dopad:

- Kyslíkový analyzátor měří molární frakci, a ne hmotnostní podíl kyslíku ve vzorku plynu. Molární frakce může být převedena na hmotnostní podíl tím, že se znásobí poměrem mezi molekulovou hmotností kyslíku a molekulovou hmotností vzorku plynu. Tento poměr je blízký molekulové hmotnosti vzduchu a z toho vyplývá, že chyba zatěžující měření není velká.
- Voda se vypařuje ze vzorku ještě před tím, než projde paramagnetickým analyzátozem<sup>7</sup>, takže výsledky molární frakce vycházejí ze sušiny. Tomu se dá předejít použitím Zirkoniového oxidového analyzátoru, který měří molární frakci kyslíku v ohřátém a v mokřém vzorku. Nicméně výkon takovýchto analyzátorů je významně horší než výkon paramagnetických přístrojů, a proto je nevhodný pro metodu spotřebování kyslíku.
- Posledním problémem je, že průtokoměry měří objem, a ne hmotnostní průtoky. Objemový průtok v odvodním potrubí je normalizován na stejný tlak a teplotu a je obvykle lehce odlišný od přítoku vzduchu kvůli roztažnosti v důsledku spalování.

Rovnice výpočtu rychlosti uvolňování tepla metodou spotřeby kyslíku pro různé aplikace byla vyvinuta W. J. Parkerem a M. Jensensem. Rozdíl mezi měřením a výpočtem rovnice spočívá především v míře a přesnosti měření a analýzy plynů. Přesnost měření může být zlepšena přidáním přístrojů, které měří koncentraci CO, CO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O. Bez výjimky musí být měřena koncentrace kyslíku.

V případě, že je měřen pouze O<sub>2</sub>, musí být všechny vodní páry odstraněny ze vzorku plynu vznikajícího při spalování ještě před tím, než dojde k měření O<sub>2</sub>. To vede k předpokladu, že vzorek plynu sestává pouze z O<sub>2</sub> a N<sub>2</sub>. Výpočty předpokládají, že přesnost je zatížena chybou do 10 % z předpokladu kompletního spalování a vázání veškerého uhlíku do CO<sub>2</sub>. Chyba může být větší, pokud je značná produkce CO nebo sazí, a nebo pokud vzniká významné množství spalin jiných než CO<sub>2</sub> nebo H<sub>2</sub>O.

---

<sup>7</sup> Selektivně stanovuje obsah kyslíku v odpadních plynech, v nichž je většina ostatních složek diamagnetická nebo nepatrně paramagnetická. Je-li plyn obsahující kyslík vystaven magnetickému poli v omezeném prostoru, proudí ve směru tohoto magnetického pole. Rychlost proudění závisí na obsahu kyslíku ve vzorku při konstantních podmínkách.

Paramagnetické analyzátoři se připojují k extraktivnímu vzorkovacímu přístroji. Pomocí vzorkovací sondy odeberou reprezentativní vzorek z potrubí a odvedou jej do analyzátoru vzorkovací trati, kde dochází k zpracování vzorku. Data z analyzátoru se elektronicky zaznamenávají a ukládají.



Když je měřeno  $O_2$  a  $CO_2$ , jsou pouze vodní páry zachycovány před tím, než vzorek plynu dosáhne analyzáru. Tím, že se měří i  $CO_2$ , nedochází k významnému zlepšení přesnosti celého výpočtu rychlosti uvolňování tepla.

Měření  $O_2$ ,  $CO_2$  a  $CO$  se provádí, když je značná část uhlíkové frakce paliva přeměněna na  $CO_2$  a  $CO$ . Při tomto měření se bere v úvahu fakt, že nedochází k dokonalému spalování.

Měření  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $H_2O$  je běžné, pokud produkty spalování obsahují  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $H_2O$  a velké množství  $N_2$ . Toto měření je nejpresnější, protože dokáže určit expanzní faktor, který je v ostatních případech jen odhadován.[2], [4]

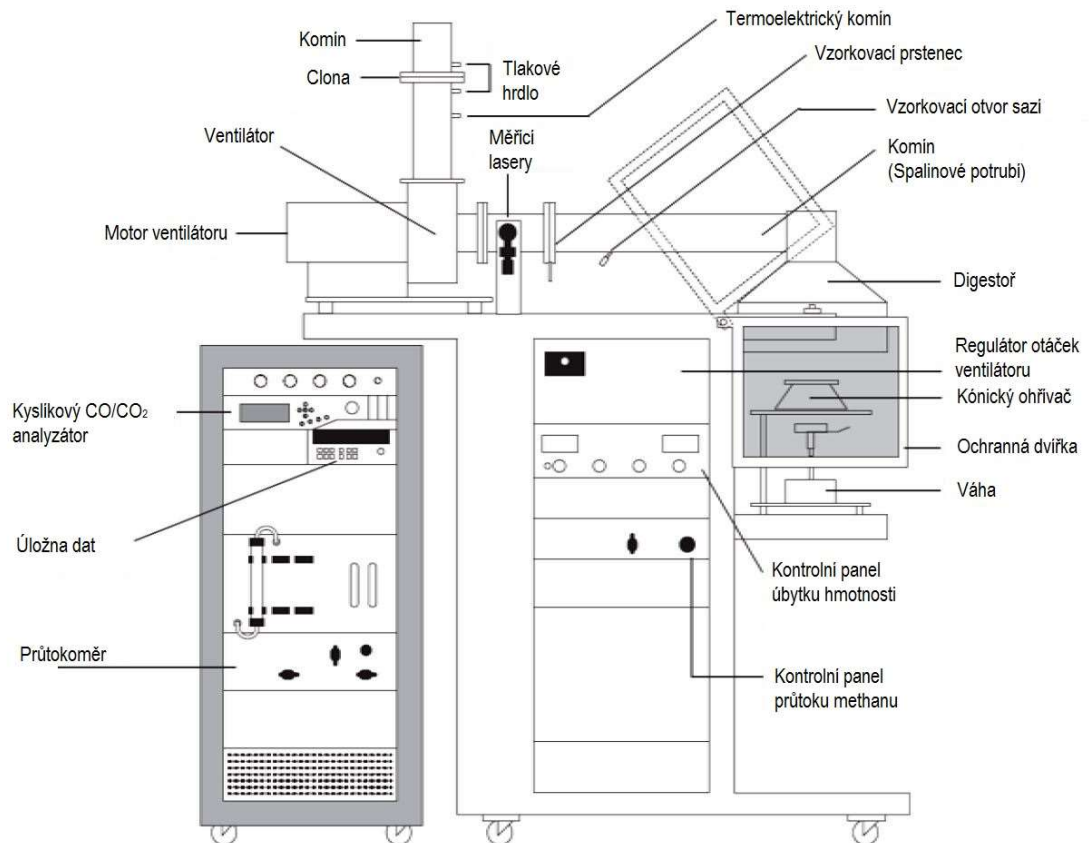
Rychlost uvolňování tepla může vycházet z měření  $CO_2$ . Tato metoda má výhodu, že je jednodušší a levnější pro měření  $CO_2$  s dostatečnou přesností, než je tomu tak při měření kyslíku. Nicméně množství energie vytvářené z jednotky hmotnosti  $CO_2$  je více závislé na objemu paliva než na množství energie pro spotřebování kyslíku. Proto tato technika není univerzální a přijatá jako metoda spotřeby kyslíku.

Metoda spotřebování kyslíku je nejpresnější a nejpraktičtější pro měření rychlosti uvolňování tepla při požáru. Eliminuje problém prodlevy tepla. Nevýhodou je vysoká cena za jednotlivé přístroje, které jsou potřeba pro přesnou kalibraci přístroje.[5]

### 2.3.2 Přístroj

Kónický kalorimetr se skládá z mnoha částí a zařízení, které měří, zaznamenávají, nastavují a upravují mnoho parametrů jako teplota, hmotnost, průtok plynů a jejich koncentrace. Na Obr. 2 je schématické zobrazení kalorimetru.

Vzorek je umístěn v kovovém držáku, na váze. Váha zaznamenává úbytek hmotnosti vzorku během experimentu. Existují dva typy vzorkových držáků s bočními stěnami a bez bočních stěn, které se vybírají v závislosti na zkoušeném vzorku. Vzorky, které bobtnají a vytváří ochranou vrstvu, potřebují prostor a pro tyto se použije kovová mřížka. Ta zajistí vzorek na místě během bobtnání. Další využití mřížky je při měření vzorku v horizontální pozici. Zápálná jiskra je umístěna přímo nad povrchem vzorku, pod kónickým ohříváčem. Ta zapálí hořlavé plyny unikající ze vzorku během ohřívání. Když dojde k celkovému vzplanutí vzorku, je zapalovač odsunut. Během kalibrace předcházející experimentu je vodou chlazené zařízení pro měření tepelného toku umístěno v úrovni povrchu vzorku. Kónický ohříváč se poté nastaví na požadovaný tepelný tok na povrchu vzorku. Tepelný tok se dá nastavit od 10 do 100  $kW/m^2$ . Tepelný zdroj je stočen z topného drátu do tvaru kužele, a je chráněn vrstvou žáruvzdorného oxidu hořečnatého. Tepelný zdroj se nejčastěji používá v horizontální poloze.



Obr. 2 Schématické zobrazení kónického kalorimetru (Převzato a přeloženo z [4])

Spaliny z hořícího vzorku jsou zachycovány digestoří umístěnou přímo nad ohřivačem. Spalinový ventilátor je namontován ve spalinovém potrubí pro zajištění proudění produktů spalování. Odběr vzorku plynu je umístěn před větrákem na spalinové cestě. Dříve než je dosaženo analyzátoru plynu, prochází plyn dvěma filtry, které zachycují částice, poté přes vymrazovací jednotku a silikagel pro odstranění vody. Mezi plynovým měřákem a ventilátorem je kouřový měřák měřící optickou hustotu kouře laserovým paprskem.

Jediný nepostradatelný analyzátor potřebný k vykonání zkoušky kónického kalorimetru je kyslíkový analyzátor. Další analyzátoři, pro CO a CO<sub>2</sub> analýzu, jsou pouze upřesňující vybavení k získání komplexnějšího pochopení procesu hoření a snížení nepřesnosti výsledku. Pro přesnější analýzy produktů spalování a plynů mohou být na spalinovou cestu osazeny další měřící zařízení.[4], [6]

### 2.3.3 Měření

Samotnému měření předchází celková kalibrace přístroje. Kalibrace se provádí před uvedením kónického kalorimetru do provozu, po údržbě, opravě nebo výměně některého z měřících zařízení. Nejprve se zapne kónický ohřivač a digestoř. Nastaví se teplotní tok 50 kW/m<sup>2</sup>. Po dosažení rovnováhy zářiče je zaznamenána ustálená teplota. Součástí kalibrace je zkouška vzorku černého

polymethylmethakrylátu (dále PMMA) a předpokládá, že průměrná rychlost uvolňování tepla je při 3 minutové zkoušce  $530 \text{ kW/m}^2$  a odtah zplodin skrze digestoř je rychlosti  $0,024 \text{ m}^3/\text{s}$ . Těmto předpokladům by měla kalibrace vyhovět.

Kalibrace vah se provádí při běžné teplotě, a tedy i vypnutém kónickém zářiči. Na váhu se umístí prázdný držák vzorku, který váží  $250 \pm 25 \text{ g}$  a provede se měření. Naměřená hodnota se vynuluje buď mechanicky nebo elektronicky. Do držáku se poté umístí vzorek a zváží se. Držák se vzorkem je z váhy odstraněn a znovu vrácen zpět. Toto vážení se opakuje celkem čtyřikrát. Dále se musí nakalibrovat kyslíkový analyzátor. Spustí se digestoř a trubičkou se nasaje zkušební vzorek vzduchu, který je výchozí pro měření okolního prostředí. Poté se tato data vynulují. Měření rychlosti uvolňování tepla a dalších sbíraných dat se kalibruje spuštěním speciálního výpočetního programu při zapnuté digestoři. Poslední běžnou kalibrací je zkouška zářiče. Ten musí být vždy schopen produkovat rovnoměrný tepelný tok. Proto je testován tím, že po dobu 10 minut ohřívá teremočlánek.

Zkušební vzorky mají standardní rozměr  $100 \times 100 \text{ mm}$ , tloušťky max.  $50 \text{ mm}$  a jsou pro potřebu měření obaleny hliníkovou folií tak, že pouze jedna strana povrchu vzorku je vystavena tepelnému toku, boční stěny mu nesmí být vystaveny. Vzorky jsou vloženy do speciálního držáku, který je umístěn  $25 \text{ mm}$  (případně  $60 \text{ mm}$  u PVC a polykarbonátu) pod zářičem na vahách. Začátku testu předchází měření základních dat po dobu 60 sekund. Data zaznamenaná během této doby jsou použita jako výchozí. Standardně se data zaznamenávají v intervalu  $5 \text{ s}$ , pokud se předpokládá, že vzorek bude testován kratší dobu (méně než 3 minuty), je třeba interval zkrátit na  $2 \text{ s}$ .

Po nezbytných kalibracích může započít zkouška. Kónický zářič je nejprve zakryt štítem tak, aby byl vzorek ochráněn před ozářením, které by mohlo nastat před samotnou zkouškou. Poté se odstraní ochranná bariéra vah a může být umístěn vzorek v ochranném držáku na váhu. Umístí se zápalná jiskra a odstraní se radiační štít. Přívodní potrubí ventilátoru vzorkuje spaliny nasávané čerpadlem přes filtr sazí a vymrazovač do analyzátorů ke stanovení obsahu  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$  a  $\text{CO}_2$ . Na výtlačném potrubí ventilátoru se měří teplota spalin a tlaková diference na cloně.

Během zkoušky se zaznamenávají všechny časy. Časy, při kterých dojde k zažehávání, přechodnému vzplanutí a trvalému vzplanutí. Po trvalém vzplanutí je třeba vypnout zažehovací jiskru a odsunout ji. Pokud dojde zhasnutí plamene, musí se jiskra vrátit zpět a zapojit, znovu se již neodstraňuje. Pozorují a zaznamenávají se všechny fyzikální změny, které probíhají ve vzorku, jako je tání, bobtnání nebo praskání. Všechna data se shromažďují do 32 minuty po celkovém vzplanutí vzorku. Záznam dat je měřen po dobu 32 minut, protože sestává z 30 minutového úseku zkoušky a 2 minut po ukončení zkoušky, pro nasbírání dat s časovým posunem. Zaznamenávají se i data u vzorku, který ani po 30 minutách nevzplanul. Konec testu může nastávat i ve chvíli, kdy je vzorek zcela spálen nebo když se koncentrace kyslíku navrátí na hodnotu, jenž byla naměřena před zkouškou.

Minimální délka zkoušky je požadována 5 min. Data z analyzátorů, termočlánků, clony a váhy se sbírají v čase a ukládají v PC. Zkouška každého vzorku se musí opakovat nejméně třikrát a výsledky se nesmí lišit o více než 10 %, jinak se celá zkouška musí opakovat. Opakují se znovu všechna tři měření a z nich se získají nové výsledky pro porovnání.

### 2.3.4 Výsledky měření

Výsledky měření kónickým kalorimetrem zahrnují parametry a data, která mohou být použita pro různé účely:

- Modelování požáru
- Předvídání chování skutečného požáru
- Zařazení výrobku požárně inženýrskými znalostmi
- Zatřídění nových materiálů a výrobků

Navíc se průměry a špičky měření započítávají a zaznamenávají. Teplotní parametry zaznamenané během zkoušky jsou: čas vznícení, vrchol rychlosti uvolňování tepla, rychlost uvolňování tepla v době učené uživatelem, absolutní rychlost uvolňování tepla, úbytek hmotnosti a průměrná efektivní teplota spalování. Parametr vzorku zaznamenaný kouřovým analyzátozem je celkový uvolněný kouř, CO a část CO<sub>2</sub>. CO a kouř jsou ukazateli výsledků nedokonalého spalování nebo přítomnosti retardantů hoření.

## 2.4 Setchkinova pec

Měřicí přístroj vhodný k určování teploty vznícení a vzplanutí. Teplota vzplanutí je nejnižší teplota, při které přiblížením plamene vzplanou plyny vznikající tepelným rozkladem vzorku. Teplota vznícení je nejnižší teplota okolního vzduchu, která za optimálních podmínek způsobuje reakci, anebo při vzniku produktů rozkladu, začne sama reagovat a přechází do fáze hoření.

### 2.4.1 Metoda

Tato metoda postupně ohřívá vzorky materiálů vzduchem různými konstantními teplotami, dokud jedna z nich nezpůsobí zapálení vzorku. Zápalná teplota je počáteční teplota okolo vzorku, která vytvoří dostatečné množství plynů, jež přiblížením plamene, jiskry anebo horkého povrchu, způsobí zapálení. Teplota vznícení je počáteční teplota vzduchu, která při absenci zápalného zdroje způsobí reakci vzorku (explozi, plamen nebo rozžhavení). Zapálení nejvíce hořlavých materiálů bývá iniciováno přítomností dostatečného množství kyslíku. Než dojde k zapálení, musí být kyslík součástí reakce s pevnými, kapalnými nebo plynnými látkami při vývoji teploty a rozkladu materiálu. Produkty rozkladu se musí uvolňovat postupně, tak aby podporovaly reakci.

Hoření je definováno jako neustálá exotermická reakce způsobená počáteční teplotou oxidace a vzrůstající teplotou reaktantu přesahující teplotu, při které dochází k explozi, plamennému hoření anebo žhnutí. Rychlost oxidační reakce, stejně jako rychlost jejího zrychlení

k samovznícení, závisí na rychlosti rozptylu tepla. To závisí částečně na teplotním rozdílu reakční hmoty a jejího okolí a částečně na rychlosti proudění vzduchu. Optimální příznivé rychlosti vzduchu musí být dosaženo podle potřeb každého vzorku. Tento proces je často doprovázen vznikem par, které v této fázi nemusí být hořlavé kvůli malé rychlosti vývoje a následným zředěním vzduchem.

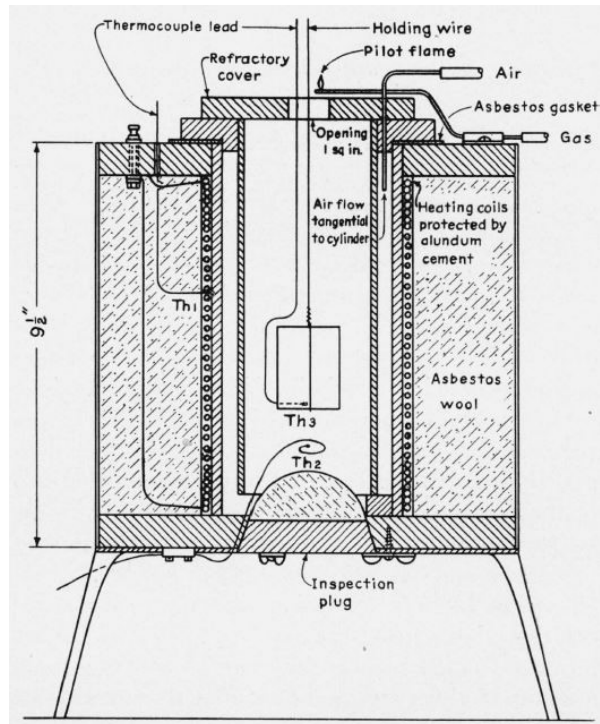
Samovznícení je obvykle pozorováno v podobě exploze, ohně nebo žhnutí. Teplota vznícení je doprovázena explozí nebo plameny a obvykle k ní dochází za poměrně vysoké teploty vzduchu. Nicméně pomalý rozklad a karbonizace některých plastů vede k roztavení rohů a hran i při nižších teplotách. [7], [8]

## 2.4.2 Přístroj

Teplota vzduchu v okolí vzorku musí být jednotná a konstantní. Proud vzduchu musí být stabilní a kontrolovatelný a musí mít stálou teplotu. Vzorek musí být viditelný zvenku a musí být zajištěna jednoduchá manipulovatelnost.

Na Obr. 3 je vyobrazena Setckinova pec sestávající z vertikální elektricky vyhřívané trubkové pece s otvorem průměru 10 cm a výšky 22 cm. Pec je z žáruvzdorného materiálu (např. keramika) a odolává nejméně 1000 °C. Trubní pec je ohřívána elektřinou procházející skrze padesáti závitový nichromový drát upnutý v azbestovém pouzdru, ovinutý kolem trubky a zapuštěný v alundovém cementu. Vnitřní žáruvzdorná trouba průměru 7,6 cm, výšky 22 cm a tloušťkou stěny 0,3 cm je umístěna uvnitř trubkové pece na malých krychlích na dně pece. Prostor mezi trubkami je využíván k cirkulaci a ohřívání vzduchu, od měděné trouby je přejímáno teplo tangenciálně do žáruvzdorné trubice. Předehřátý vzduch vstupuje do vnitřní trubice spodem. Vrch této trubky je zakryt žáruvzdorným diskem s dvířky pro pozorování a pro odvod kouře a plynů. Pokud je požadováno, může malý plamen procházet skrze tato dvířka. Na otvoru ve spodní části pece je namontován kotouč pro odstranění residuí, které se nahromadí během zkoušky.

Nárůst teploty vzduchu ve vnitřní trubce je měřen termočlánekem ( $TH_2$ ) umístěným pod přístrojem. Doporučuje se tento termočlánek chránit před tepelným tokem vzorku během silné oxidační reakce, zvláště pokud je termočlánek blízko vzorku. Nicméně protože teplota vzduchu přiváděná do komory je konstantní, je jakýkoliv okamžitý nárůst zaznamenaný termočlánekem ( $TH_2$ ) během silných oxidačních reakcí nepodstatný. Teplota vzduchu ve vnitřní troubě je udržována konstantní, díky proudu přiváděnému regulátorem zapojeným do série s topnými spirálami. Nastavení proudu je přednostně vytvářeno dle záznamu prvního termočlánu ( $TH_1$ ), který oproti druhému nemá zpožděnou reakci na změny. Třetí termočlánek ( $TH_3$ ) je buď připevněn na povrch vzorku, nebo je zasunut zespodu do vzorku. Nárůst teploty vzorku je indikován právě tímto termočlánekem a je závislý na rychlosti oxidační reakce. Přesné umístění třetího termočlánu ve vzorku nemá velký význam, kvůli odchylce místa vznícení. Vznícení obvykle začíná od povrchu spodní části, a proto je důležité umístit termočlánek v této oblasti. Malý holý termočlánek se na styk se vzorkem umísťuje, protože zaznamená jemné kolísání teploty. [7], [8]



Obr. 3 - Setchkinova pec (Převzato z [7])

### 2.4.3 Vzorek

Velikost vzorku závisí na typu a možnostech materiálu. Standardní velikost je obvykle specifikována pro nespalitelné testy 3,8 cm šířka, 5 cm délka a tloušťka vzorku nepřekračuje 1,9 cm. Avšak pro určení vlastností vzplanutí plastů je preferována velikost vzorku 1,9 cm šířky, 1,9 cm délky a 1,3 cm tloušťky. Pro materiály vyráběné jako tenké pláty je pro účel testu vzorek navrstven z několika plátů, ale do maximální tloušťky 1,3 cm. Pospojování vzorku je zajištěno obmotáním drátem. Materiály vyráběné ve formě malých kusů, jako třísek, pilin nebo prachů, nebo takových, které se během ohřívání roztaví nebo bublají ještě před vznícením, se testují pomocí drátěného košíku nebo porcelánového kelímku o objemu 0,5 cm<sup>3</sup> (8 ml). Velikost vzorku odpovídá množství hořlavých plynů, které během testu emitují, proto jsou větší vzorky vhodnější. Nicméně velikost vzorku je při testu omezena vahou, ta se musí být v rozmezí 2 – 3 g.[7], [9]

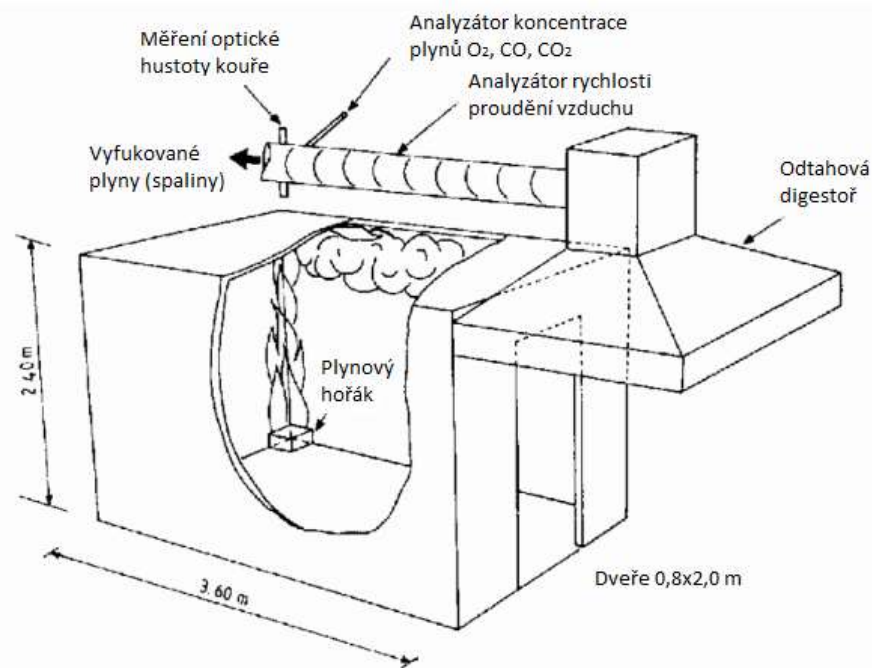
## 2.5 Room corner test

Velkorozměrová zkouška, Room corner test, byla navržena roku 1982. Zkouška byla standardizována v ISO 9705. Test má velký zápalný zdroj a je zajištěn proti vnějším vlivům. Prvních deset minut je místnost vystavena 100 kW a následujících 10 min je tepelný tok navýšen na 300 kW. Testují se stěny nebo strop místnosti, na které jsou pro účel zkoušky namontovány obložení a další testované vzorky. Měřicí technologie je stejná jako u kónického kalorimetru.[2]

Tato zkušební metoda se zabývá požárním scénářem, který začíná za dobře větraných podmínek v rohu dané místnosti s jedním otevřeným vstupem. Zkouška RCT vyhodnocuje reakce výrobků upevněných ke stěnám anebo stropu místnosti při požáru a je prováděna v souladu s ISO 9705. Tato metoda není určena k hodnocení podlahových krytin, sendvičových panelů, izolací potrubí a fasád.

### 2.5.1 Požární zkušebna

Zkušební místnost na Obr. 4 je postavena z nehořlavých materiálů a je  $3,6 \pm 0,05$  m dlouhá,  $2,4 \pm 0,05$  m široká a  $2,4 \pm 0,05$  m vysoká. V přední stěně je umístěn otvor o velikosti  $2,0 \times 0,8$  m.



Obr. 4 Room corner test (Převzato a přeloženo z [10])

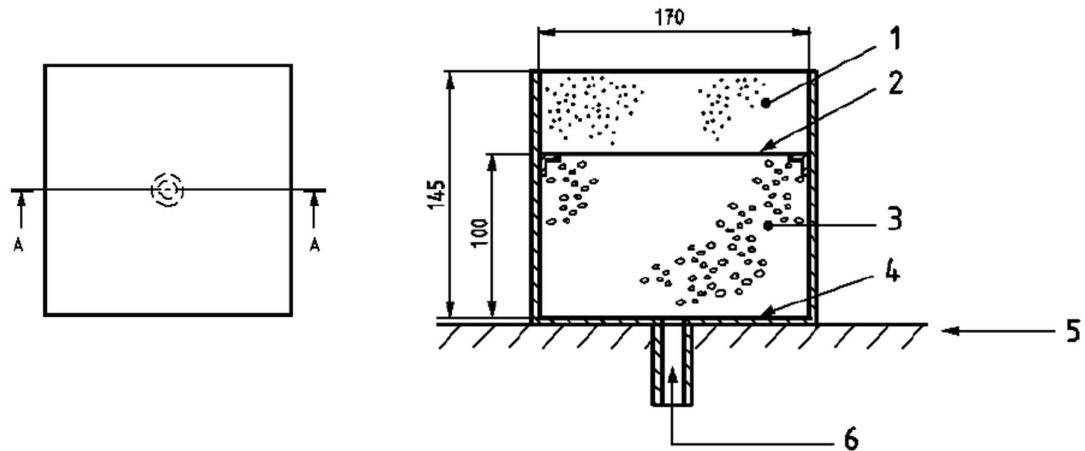
### 2.5.2 Zdroj zapálení

Zdrojem zapálení je hořák s propanovým plynem, o rozměrech  $170 \times 170$  mm s horní povrchovou vrstvou z porézního inertního materiálu (písku o minimální tloušťce 45 mm tak, aby bylo dosaženo rovnoměrného proudu plynu po celé ploše hoření).

Hořák na Obr. 5 je vyroben z ocelových plechů o minimální tloušťce 2 mm a je naplněn šterkem velikosti 4 – 8 mm a pískem o velikosti 2 – 3 mm nebo keramickými kuličkami. Šterk je srovnán pomocí ocelových sítok. Hořák musí být zapalován dálkově ovládaným zapalovacím zařízením, například řídicím hořákem nebo zapalovací jiskrou a je vybaven ovládacími prvky pro uzavření přívodu plynu, pokud dojde k výbuchu nebo k úniku plynu. Hořák je umístěn na podlaze

v rohu místnosti naproti dveřnímu otvoru tak, aby se dvěma stěnami dotýkal stěn zkušebny. Svrchní část hořáku musí být umístěna horizontálně  $146 \pm 3$  mm od podlahy.

Pro RCT test je používán čistý propan. Průtok plynu hořákem se měří po celou dobu zkoušky a reguluje se tepelný výkon. Čistý tepelný výkon je v prvních 10 minutách 100 kW a poté se na dalších 10 minut navýší na 300 kW.



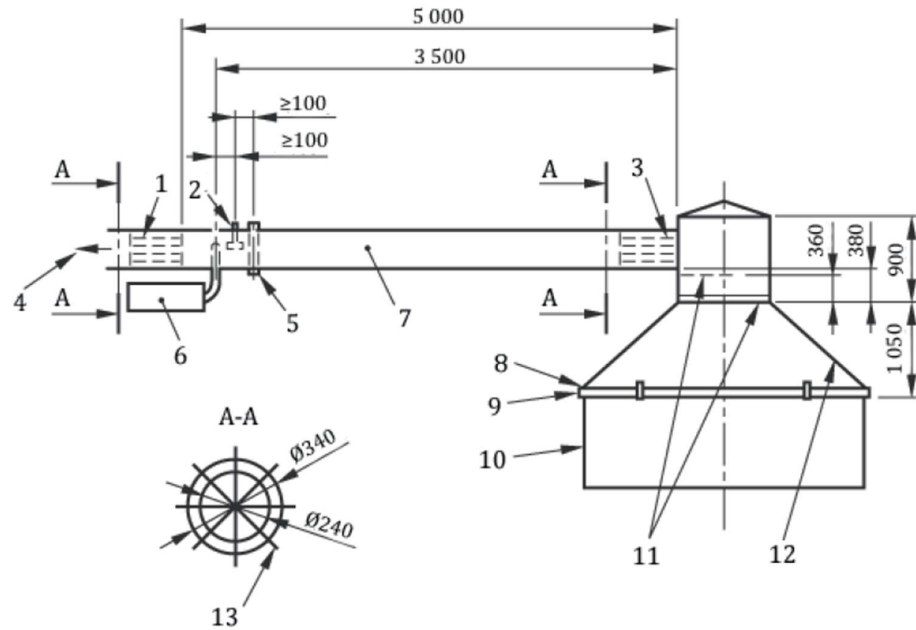
Obr. 5 Propanový pískový hořák: (1) písek; (2) ocelové sítko; (3) štěrk; (4) ocelové sítko; (5) podlaha zkušebny; (6) přívod plynu

### 2.5.3 Digestoř a odvodní potrubí

Digestoř a odvodní potrubí na Obr. 6 tvoří systém shromažďování produktů spalování. Tento systém je navržen tak, aby všechny přebývající produkty spalování byly z místnosti odváděny a shromážděny, ale svým působením nesmí ovlivňovat průběh požáru.

Objemový průtok se v odvodním potrubí měří s přesností  $\pm 5$  %. Odezva měřicího systému na změnu průtoku smí být maximálně 3 s při poklesu na 90 %.





Obr. 6 Digestoř a odvodní potrubí: (1) vodící lopatky; (2) Pitotova trubice; (3) vodící lopatky; (4) čistič odpadních plynů; (5) lampa, světelná clona; (6) analyzátor plynu; (7) spalínové potrubí; (8) otvory 3000×3000 mm; (9) rám z ocelového profilu 50×100×3,2 mm; (10) ocelové plechy 1000×3000 mm; (11) ocelové desky 2×500×900 mm; (12) digestoř z ocelových desek tl. 2 mm; (13) průřez spalínovým potrubím ze 4 ocelových desek

### 2.5.3.1 Analyzátoř plynu

Vzorky plynů se ve výfukovém potrubí odebírají v odběrné lince umístěné v místě, kde jsou rovnoměrně smíchány produkty spalování. Tato vzorkovací linka musí být vyrobena z inertního materiálu, který neovlivní koncentraci analyzovaných plynů.

V potrubí je umístěn i paramagnetický analyzátoř, který je schopen měřit objem kyslíku v rozsahu 0 – 21 % z celkového objemu vzorku. Odchylka v analyzátořu je méně než 0,1 % a výsledky jsou zaznamenávány s přesností nejméně 0,01 % objemu kyslíku.

Analyzátoř CO<sub>2</sub> měří v rozsahu 0 – 10 % objemu CO<sub>2</sub> z celkového objemu vzorku. Odchylka v analyzátořu je méně než 0,1 % při celkovém objemu CO<sub>2</sub> do 5 % a 0,2 % při celkovém objemu CO<sub>2</sub> 5 – 10 % a výsledky jsou zaznamenávány s přesností nejméně 0,01 %.

### 2.5.3.2 Optická hustota kouře

Optická hustota kouře se stanoví měřením zatmění světla systémem lamp, čoček, clon, světelné závory nebo laserového systému. Svítidla musí být schopna pracovat i při teplotě 2900 ± 100 K. Systém čoček usměrní světlo na paralelní paprsek o průměru nejméně 20 mm.

## 2.5.4 Příprava zkušebních těles

Testovaný vzorek musí být umístěn stejným způsobem, jakým by byl umístěn ve skutečné konstrukci a musí být v běžné délce, šířce i tloušťce. Výrobek musí být umístěn buď nalepením přímo na stěny zkušební místnosti anebo mechanicky ukotven podle toho, jak by byl výrobek umístěn ve skutečné stavbě. Montáž vzorku musí být zaznamenána do protokolu, zvláště tehdy kdy upevňovací technika zlepšuje fyzikální vlastnosti materiálu. Tloušťka vzorku včetně vzduchové mezery může být podle ČSN EN 14390 maximálně 150 mm.<sup>89</sup>

Barvy a laky musí být v množství předepsaném výrobcem. U produktů na bázi dřeva, kde je možnost, že bude docházet k odpaření rozpouštědla, je zapotřebí nechat vzorek alespoň čtyři týdny před zkouškou odpočívat a zrát.

## 2.5.5 Průběh zkoušky

Před začátkem zkoušky musí být zajištěny počáteční podmínky. Teplota ve zkušebně musí být  $20 \pm 10$  °C. Teplota a vlhkost vzduchu musí být zaznamenána nejlépe po celou dobu zkoušky. Horizontální rychlost proudu vzduchu se měří 1 m od středu dveří a nesmí překročit 0,5 m/s. Plynový hořák je umístěn tak, aby se dotýkal zkoušeného vzorku, a jeho povrch musí být očištěn.

Zkouška probíhá 20 minut nebo dokud nenastane flashover, záleží na tom co začne dříve. Celá zkouška musí být zdokumentována fotograficky nebo videozáznamem. Naměřené údaje musí být zaznamenány automaticky každé 3s. Záznam je spuštěn alespoň 2 min před zapálením hořáku a končí nejméně 2 hodiny po ukončení zkoušky.

Zaznamenávané údaje:

- Čas (t) – počátek záznamu dat  $t = -120$  s
- Hmotnostní průtok plynu hořákem  $m_b = [\text{mg/s}]$
- Tlakový rozdíl ( $\Delta p$ ) ve zkušební místnosti a místností s digestoří
- Průtok kyslíku a plynů produkovaných při spalování
- Teplota v místnosti a v potrubí  $T = [\text{K}]$

Během testu se zaznamenávají i události ke kterým dochází spolu s jím příslušným časovým údajem:

- Vznícení stropu
- Šíření plamenů po stěnách zkušební místnosti

<sup>8</sup> Podle ČSN EN 14390, čl. 10.3 je přípustná tloušťka 150 mm. Tato zkušební norma se odvíjí od ISO 9705 z roku 1996, kde nebylo omezení tloušťky zkušební vzorku vyjádřeno a její novelizace z roku 2016, kde je tloušťka vzorku omezena na 100 mm.

<sup>9</sup> Je zajímavé, že malorozměrová zkouška SBI test, která je odvozena z Room corner testu může zkoušet vzorky o větší tloušťce. SBI test zkouší vzorky o maximální tloušťce 200 mm.

- Změna teploty v hořáku
- Přiblížení plamenů ke dveřím
- Výskyt a umístění hořlavých kapek

Po testu je třeba zaznamenat a popsat všechna poškození zkoušeného výrobku a další neobvyklé chování, deformace a delaminace.

## 2.6 Další přístroje pro zjišťování HRR

Následující podkapitoly představí další možná zařízení, která se v současnosti používají pro zjišťování HRR materiálů nebo výrobků. Tyto nástroje jsou uvedeny jen pro doplnění poznatků o možnostech zjišťování HRR, jenž je nejdůležitějším veličinou při modelaci a popisu požárních modelů.

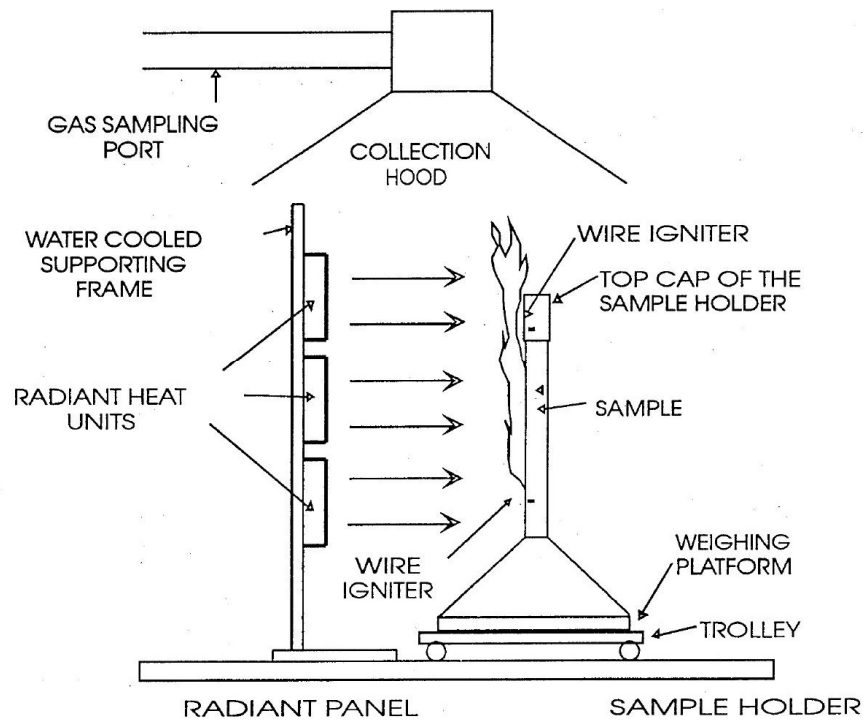
### 2.6.1 Kalorimetr pro volné hoření

Odezva hoření není ovlivněna interakcí místnosti, až do chvíle, než se požár rozšíří. Nicméně je potřeba měření HRR velkorozměrového předmětu za podmínek volného hoření. V podstatě se jedná o velkorozměrový kalorimetr bez ohříváče, technologicky stejný jako u Room Corner Testu. Výhodou otevřeného měření je podstatně nižší cena zkoušky a vhodnější data, která nejsou ovlivněna.

Kalorimetr pro volné hoření je méně používaný než Room corner test, protože nedokáže zohlednit vliv vnitřního prostředí. Hoření uvnitř místnosti je ovlivněno polohou hořícího předmětu. V University of Canterbury na Novém Zélandu byl napsán článek o dopadu velikosti a umístění nádoby s hořlavou kapalinou tzv. Pool fire na chování během požáru. Ve své práci prokázal, že vnitřní prostředí ovlivňuje všechny sledované veličiny požáru jako je HRR, teplota, rychlost proudění vzduchu, hmotnostní úbytek, hmotnostní průtok a další. Předmět, který hoří uprostřed místnosti, vykazuje nižší HRR než předmět hořící u stěny, který vykazuje menší HRR než předmět v rohu místnosti. Dále je hoření ovlivněno větráním, velikostí otvorů (oken, dveří). [2], [11]

### 2.6.2 Středněrozměrový kalorimetr

Středněrozměrový kalorimetr na Obr. 7 je nejnovější z řady kalorimetrů, jejichž měření se zakládá na metodě spotřebování kyslíku a nazývá se ICAL (intermediate-scale calorimeter). Tato metoda se používá pro testování nesourodých vzorků velikosti 1 x 1 m a tloušťky dle potřeby vzorku. Tepelný tok dosahuje při měření maximálně 50 kW/m<sup>2</sup> a je zajištěn plynovým panelem. Vzorek je umístěn do vertikální polohy a měřící přístroj je podobný kónickému kalorimetru.[2]



Obr. 7 Intermediate-scale calorimeter (Převzato z [2])

## 3 Požární modelování

Požární modely v požárním inženýrství jsou široce používané nástroje založené hlavně na principu performance-based design, tj. návrhu podle zkušeností a znalostí. Matematické modely se dělí na zónové a modely pole. Nedostatek vstupních dat je největším problémem, se kterým se každý projektant setkává. Nalezení a správné sestavení vstupních dat modelu je nejobtížnější a nejdůležitější součástí praktického používání požárních modelů.

Dostupnost dat uživatelům je zásadní pro jejich využívání. ASTM E 1591 sestavilo databázi a návod pro správné užívání zónových modelů. ASTM standard popisuje potřebná vstupní data pro matematické modelování a představuje návod k získání výsledků. Řada standardních informací se dá nalézt v literatuře, snadno dostupné jsou vstupy do požárních modelů v plynné fázi. Naopak informace o materiálech v pevné fázi jsou poskytovány zřídka, i když je jejich praktická potřeba vysoká. Proto další praktické metody jsou nezbytné pro odhad chování modelu požáru.

V posledních letech vzrostla poptávka po CFD simulacích v požárním inženýrství. I zde jsou důležitá přesná data navazující na vývoj CFD požárních modelů. Problematické je, že ani tyto modely nemají veřejnou databázi, takže si uživatelé musí potřebná data zjišťovat sami. Výzkumná střediska své databáze nezveřejňují a jediná data se dají získat ze zveřejněných výzkumných prací. Databáze ASTM E 1591 je zastaralá a zaměřuje se na zónové modely, proto neobsahuje potřebné parametry výpočtu fáze pyrolýzy.[12], [13],[14]

### 3.1 Computational Fluid Dynamics

Computational fluid dynamics, zkráceně CFD modely nebo česky Modely počítačové dynamiky tekutin, jsou jedním z nejdokonalejších dostupných nástrojů požární techniky. Tyto modely jsou založeny na fyzikálních zákonech. Proto se jedná o všestranné modely vhodné pro problematiku dynamiky požáru. Jejich nevýhodou je složitost a potřeba odborné znalosti uživatele.

CFD modely se používají v požární technice při řešení praktických problémů při návrhu požární bezpečnosti budov. Proto je zásadní, aby byla přesnost a vhodnost jejich předpovědí byla vždy spolehlivá pro konkrétní případ.

Jednotný systém norem pro modely počítačové dynamiky tekutin se postupně připravuje a rozšiřuje. V Evropě ve Velké Británii je založena pracovní skupina, která se tímto úkolem systematicky zabývá, jmenuje se *Fire Research Division of the Office of Deputy Prime Minister*. V USA byla vypracována norma ASTM pro vyhodnocování požárních modelů, která obsahuje pokyny pro metodiku hodnocení prediktivních schopností modelů požáru pro konkrétní použití.[15]

### 3.1.1 Historie

Mechanikou tekutin se zabýval již Aristotelés, ale první základy tomuto fyzikálnímu odvětví dal Archimédes ze Syrakús, který se zabýval hydrostatikou i hydrodynamikou. V 17. století se začaly současné teoretické poznatky propojovat s experimenty. Francouzský fyzik a fyziolog Edme Mariotte popsal vztah mezi objemem a tlakem plynů. Anglický fyzik a matematik Isaac Newton studoval odpor kladený prostředím pohybujícímu se tělesu.

Pojem hydrodynamika zavedl až švýcarský fyzik a matematik Daniel Bernoulli. Jako první studoval vztah mezi tlakem a rychlostí kapalin a vytvořil i první kinetickou teorii plynů. Jeho nejznámějším dílem se stalo pojednání *Hydrodynamica* z roku 1738 v němž popsal všechny své poznatky a výsledky svých pokusů v oblasti kapalin a popsal proudění kapalin<sup>10</sup>.

Leonhard Euler, švýcarský matematik, fyzik a astronom je považován za zakladatele mechaniky tekutin. Eulerova rovnice popisuje tok ideální neviskózní tekutiny. Tekutina může být modelována jako soubor nekonečně malých částíček tekutiny, které mohou neustále měnit tvar a velikost.

Claude Louis Navier modifikoval Eulerovu rovnici. Do teorie o proudění tekutin zahrnul i efekt tření. Popsal vzájemné působení sil mezi molekulami v tekutině. Nezávisle na jeho práci pracoval i irský fyzik George Gabriel Stokes, který popisoval proudění viskózních kapalin. Navier-Stokesova rovnice popisuje rovnováhu sil při proudění skutečné tekutiny.

V 19. a 20. století nastal rozvoj vědy, který přinesl řadu poznatků z oboru hydrostatiky a hydrodynamiky. Anglický fyzik Osborn Reynolds zkoumal změny proudění uvnitř potrubí při přechodu mezi laminárním a turbulentním prouděním. Německý fyzik a zakladatel moderní aerodynamiky a hydrodynamiky Ludwig Prandtl se věnoval teorii mezní vrstvy, turbulentnímu, podzvukovému a nadzvukovému proudění. Anglický fyzik a matematik Geoffrey Ingram Taylor se zabýval teorií vln a statickou teorií turbulence. Ruský matematik Andrej Nikolajevič Kolmogorov zkoumal teorii turbulence a definice velikosti vírů. Australský fyzik George Batchelor popsal teorii homogenní turbulence. První numerický model se zabýval turbulencemi v atmosféře a je používán pro předpověď počasí. Tento model představil Lewis Fry Richardson. Model ale vyžadoval velké množství výpočtů.

Tok tekutiny podél válce byl prvním výpočtem provedeným na počítači. Výpočet trval 18 měsíců a byl proveden roku 1953 v Japonsku. V 60. a 70. letech byla vyvinuta řada numerických metod. CFD modely byly nejprve vyvíjeny na univerzitách a vývojových centrech, tyto programy jsou stále inovovány, ale jsou soukromé a ve většině případů zpoplatněné.

V 80. letech v USA proběhly první pokusy o používání CFD modelů ve vědě zabývající se požární bezpečností. Vývoj modelů zabývající se požárními aplikacemi byl sloučen pod záštitou

---

<sup>10</sup> Bernoulliho rovnice je vztah užívaný v mechanice tekutin, vyjadřující zákon zachování mechanické energie při ustáleném proudění kapalin.

NIST a byly vyvinut program FDS, který je volně dostupný a v této diplomové práci použitý. [16]–[18]

### 3.1.2 Hydrodynamický model

CFD řeší numericky Navier-Stokesovy rovnice, které jsou vhodné pro pomalý, tepelně řízený tok kouře a tepla. Následující rovnice jsou základní pro výpočet zachování hmoty, hybnosti a energie řešených modelů.

Rovnice zachování hmoty:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho u = 0$$

Rovnice zachování hybnosti:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u) + \nabla \cdot \rho u u + \nabla p = \rho f + \nabla \tau_{ij}$$

Rovnice zachování energie:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla \cdot \rho h u = \frac{Dp}{Dt} + q''' - \nabla \cdot q + \Phi$$

Stavová rovnice pro ideální plyn

$$p = \frac{\rho RT}{M}$$

Výše uvedené rovnice jsou propojeny diferenciálními rovnicemi. I když je teoreticky možné je řešit analyticky, prakticky je nalezení řešení Navier-Stokesových rovnic velice obtížné pro většinu praktických problémů. Abychom našli řešení, musí být vyřešeny aproximace těchto rovnic numericky pomocí technik jako je metoda konečných prvků a metoda konečných rozdílů. Proto lze CFD považovat za disciplínu, která řeší Navier-Stokesovy rovnice.

Jedním z nejdůležitějších aspektů modelování CFD je způsob úpravy turbulencí. CFD modely lze rozdělit do dvou hlavních skupin. První skupinou jsou Reynolds-Averagedovi Navier-Stokesovy (dále RANS) modely a druhou Large Eddy Simulation (dále LES) modely. Většina modelů CFD používá při požárním modelování přístup RANS, kde jsou Navier-Stokesovy rovnice zprůměrovány v čase pro všechny délkové stupnice vírů. V LES přístupu jsou turbulence v průtoku zprůměrovány pouze pro míry, které jsou menší než buňka výpočetní sítě. Turbulence větší, než buňky jsou řešeny přímo. Přístup LES je přesnější ale výpočetně náročnější než RANS. Proto většina CFD modelů používaných v požárním inženýrství používá přístup RANS, výjimkou je program FDS, který používá LES model.

Vzhledem k tomu, že neexistuje analytické vyjádření plně turbulentního proudění podle Navier-Stokesovy rovnice, je potřeba využít numerických metod a výpočetní prostor rozdělit na

trojrozměrnou síť, kde každá kostička (mřížka buňky) je vypočítávána samostatně v daném časovém okamžiku.

Nejprve výpočet upraví a upřesní schéma výpočtu, poté zahrne do výpočtu prostor a čas a upraví se turbulence. Numerické simulace vyžadují velmi jemné výpočetní mřížky. Takovéto výpočty jsou vzhledem k dostupnému výpočetnímu výkonu limitující, a proto většinou i nepoužitelné v praxi.

Program FDS používá směs frakčních modelů jako výchozí výpočetní model spalování. Frakční směs je skalární veličina, definována jako podíl plynu v daném bodě v proudovém poli, které vzniklo jako palivo. Tento model předpokládá, že spalování je řízené míchání, a že reakce paliva s kyslíkem probíhá nekonečně rychle. Hmotnostní frakce všech hlavních reakčních složek a produktů spalování mohou být odvozeny z frakce směsi pomocí základních vztahů, empirických výrazů kombinovaných s měřením zjednodušenou analýzou. [15]

### 3.1.3 Validace modelu

Validace modelu je důležitou součástí celého procesu modelování. Pouze validovaný model může poskytnout přesné a skutečnosti odpovídající výsledky. Programy jsou validovány tak, aby dokázaly co nejlépe simulovat stanovené požární scénáře. Takovéto scénáře představují situaci a její okrajové podmínky, např. scénář požáru ve skladovací hale, která má skladovací výšku osm metrů nemůže být zkoušen v programu, který je validován na sklady s konstrukční výškou šest metrů.

ASTM E 1355<sup>11</sup> definuje validaci modelu jako „*proces určování stupně přesnosti výpočetní metody, která znázorňuje skutečný svět z hlediska zamýšleného způsobu výpočtu*“. A FDS Technical Reference Guide jako: „*Validace je proces určení vhodnosti řídicích rovnic jako matematický model fyzikálních jevů. Typické ověření zahrnuje porovnání modelových výsledků s experimentálním měřením*“. [19], [20]

Validační procesy lze rozdělit do kategorií:

- Srovnání s rozsáhlými testy prováděnými speciálně pro hodnocení kódu
- Srovnání s technickými korelacemi
- Srovnání s výsledky testů prováděnými v minulosti
- Srovnání se standardními testy
- Srovnání se zdokumentovaným reálně provedeným experimentem

Ověření údajů získaných z FDS bylo prováděno vývojáři a dalšími výzkumníky a subjekty, kteří se zabývají a používají ke své práci tento program. Součástí instalačního balíčku programu

---

<sup>11</sup> ASTM E 1355 – Standard Guide for Evaluating the Predictive Capability of Deterministic Fire Model. V překladu „Standardní příručka pro hodnocení prediktivní schopnosti deterministických modelů požáru“. Příručka poskytuje metodiku pro hodnocení prediktivních schopností pro konkrétní použití.



FDS jsou i průvodce pro uživatele, průvodce validací a průvodce verifikací. Tyto příručky poskytují shrnutí ověřovacích procesů, ale neposkytují podrobné informace o každém možném modelovaném příkladu.

Jedním z problémů, které jsou pro ověřování modelu požáru nezbytné je dostupnost spolehlivých dat získaných z experimentálních zkoušek pro porovnání s předpovědí modelu. K dispozici jsou data získána z rozsáhlých experimentálních požárů. Tyto experimenty byly prováděny z jiných důvodů, než je ověření požárních modelů. Potřeba spolehlivých dat je nutná pro validaci všech modelů požáru.

Ideální experiment pro validaci modelu CFD by měl poskytnout přesné informace ve vztahu ke všem modelovaným vstupům (počáteční a hraniční podmínky) a výstupům (předpokládané množství).

U modelovaných vstupů jsou požadovány následující informace:

- Geometrie
- Informace o fyzikálních vlastnostech použitých materiálů
- Informace o velikosti požáru, rychlosti uvolňování tepla, objemu spalin a sazí
- Informace o vnějších hraničních podmínkách
- Informace o aktivních prvcích systému (např. sprinklery)

Jedná-li se o experimentální měření, je nutné, aby bylo provedeno alespoň jedno z následujících měření:

- Teploty
- Rychlosti proudění
- Měření toku tepla
- Koncentrace plynů a zplodin hoření
- Viditelnosti
- Vizuální záznamy o chování ohně a kouře[15], [19], [21]

## 3.2 Fire Dynamics Simulator

Program FDS je v různých formách vyvíjen skoro 30 let. Veřejně byl představen v únoru roku 2000 a od té doby jeho vývoj pokračuje spolu s potřebami uživatelů. Během svého vývoje byl program zaměřen na řešení praktických problémů v požárním inženýrství, a současně se zabýval studiem dynamiky požáru a spalování. Zhruba polovina aplikací byla určena pro konstrukce systému pro manipulaci s kouřem a studie sprinklerů a detektorů. Druhá polovina se zabývá obytnými a průmyslovými objekty a rekonstrukcí požáru v nich.

Software FDS spadá do modelací CFD, které modelují proud tekutin. Ke svým výpočtům používá Navier-Stokesovy rovnice, které popisují nízko rychlostní pohyb tekutin, především

proud kouře a tepla během požáru. Modely jsou validovány a verifikovány. Vizualizace modelů je prováděna v samostatném programu Smokeview, který je vyvinut přímo pro spolupráci s FDS.

FDS lze využít k modelování:

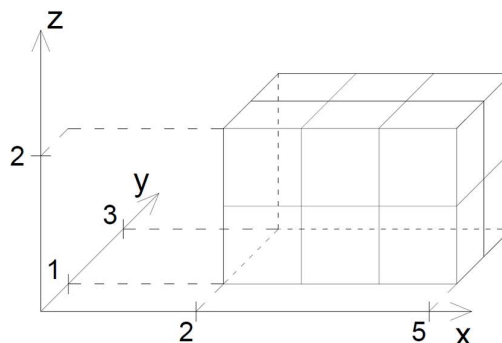
- Pomalého proudění tepla a produktů spalování při požáru
- Přestup tepla mezi plynem a pevným povrchem
- Pyrolýza
- Růst požáru
- Šíření plamene
- Aktivace sprinklerových hlavice a teplotních čidel
- Zabránění šíření požáru sprinklerovými hlavicemi

Při modelaci spalování pracuje FDS na principu řízeného míchání, které v každém bodě a v každém časovém kroku počítá poměr mezi palivem a vzduchem. Tento poměr určuje, zda dojde k hoření anebo ne. [19]

### 3.2.1 Geometrie a překážky

FDS upravuje řídicí rovnice v přímé výpočetní síti. Uživatel umísťuje překážky, odpovídající podkladové mřížce. Podkladová mřížka je určena velikostí výpočetní sítě a rozměry výpočetní sítě, které závisí na požadovaném rozlišení dynamiky toku. To vytváří omezení, pro některé geometrické prvky, které nejsou kompatibilní s obdélníkovým rastroem, a proto musí být nahrazeny pravoúhlými překážkami. Příkladem může být v kapitole 5 kónický zářič, který je pro potřeby modelování zjednodušen do tvaru duté pyramidy namísto kónusu s ohřívací spirálou.

Sít' (MESH) je pravoúhlá a její souřadnicový systém odpovídá pravidlu pravé ruky. Výchozí body jsou definovány první, třetí a pátou hodnotou příkazu XB a protější rohy jsou definovány druhou, čtvrtou a šestou hodnotou. Mřížky buňky mohou být jednotné velikosti, nebo mohou být protažené. Nejvýhodnější pro výpočet je, když se buňka podobá kostce, tedy když je velikost délky výšky a šířky stejná. Na Obr. 8 je příklad umístění sítě. Souřadnice takovéto sítě by byly zapsány takto: XB=2.0,5.0, 1.0,3.0, 0.0,2.0/



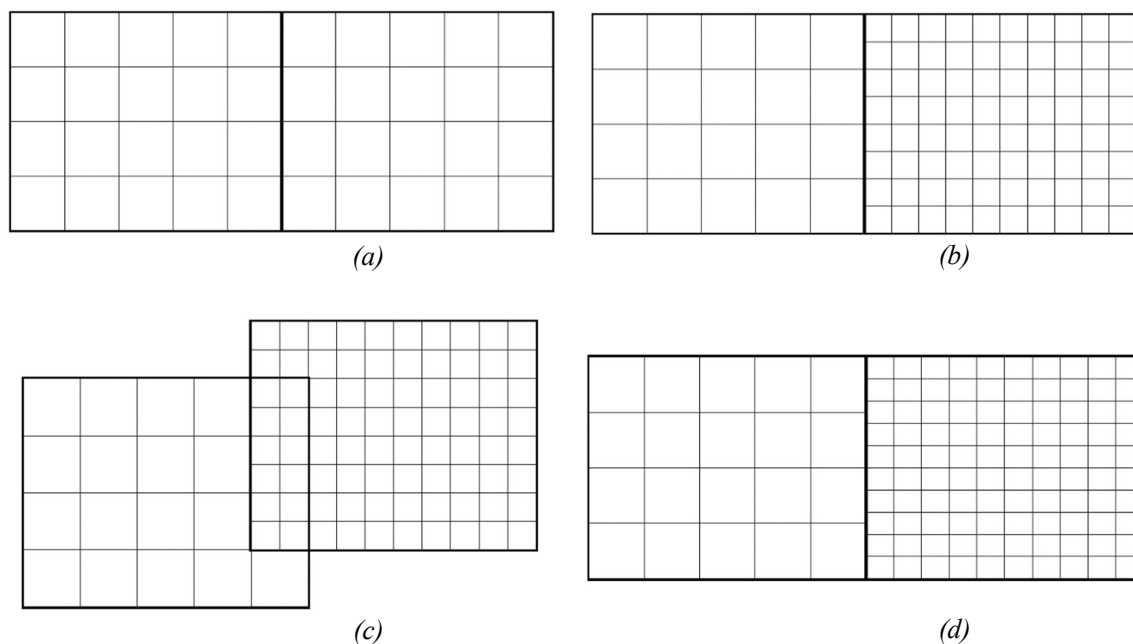
Obr. 8 Příklad umístění sítě v souřadnicovém systému

Ve výpočtu je možné použít více druhů těchto obdélníkových sítí, které jsou obvykle spojeny, i když to není nutné. To umožňuje upravení sítě u geometricky složitějších překážek. Obecně se sítě zadávají od nejjemnějších po nejhrubší.

Mřížky mohou být i zjemněny v kritických oblastech, bez toho, aby se výrazně navýšil výpočetní čas a nároky na výpočetní výkon, jako by tomu bylo v případě celoplošného použití jedné sítě. Překážky jsou zadávány z hlediska celkového souřadnicového systému a nemusí se vztahovat na žádné konkrétní oko sítě.

Oba postupy uživatele, buď natažení mřížky, anebo použití více sítí, umožňují uživateli lépe aplikovat rozlišení v kritických oblastech (např. v blízkosti ohně), bez zbytečného zvyšování požadavků na výpočetní výkon použitím jemné sítě v celé výpočetní oblasti.

Při vytváření modelu s více sítěmi se musí předem promyslet rozmístění překážek a možných kritických oblastí. Nejvýhodnější je vyvarovat se sítí mezi kterými by se šířil oheň. Někdy je takovéto šíření nevyhnutelné, v tom případě je třeba vytvořit síťové rozhraní, které na sebe přesně navazuje, aby bylo rozhraní sítí co nejjednodušší. Na Obr. 9 je zobrazena návaznost sítí.



Obr. 9 Pravidla pro napojení více sítí: (a) ideální napojení; (b) Vhodný způsob napojení dvou sítí s rozdílnou hustotou – hranice buněk k sobě přiléhají; (c) Možný způsob, ale ne nejvhodnější; (d) Nemožný způsob napojení. Převzato a přeloženo z [22].

V modelech je možné překrývání ok dvou různých sítí, tak jak je na Obr. 9 (c). Obecně platí, že překrývání ok je nevhodné, protože výsledky výpočtů se předávají přes vnější hranici. Buňka umístěna zcela v jiné buňce získává informace z okolních buněk, ale nepředává je buňce vnější.

Hrubší síť tedy vytváří vlastní výpočet bez ovlivnění jemnější sítí. Proto je vhodnější dvě sítě od sebe navzájem izolovat.

Geometrie modelu je tvořena zcela obdélníkovými tělesy, z nichž každé je uvedeno na jediném řádku ve vstupním souboru. Tenké překážky (OBST) mohou mít až nulovou tloušťku. Používají se na okna nebo tenké plechy, hlavně v hrubých sítích, kde by se nedala jejich skutečná tloušťka nastavit. Vlastnosti tenké překážky jsou navázány na hranici buněk, pokud je překážka určena pouze hranicí buněk mohou oba její povrchy vykazovat rozdílné vlastnosti. Překážky tenké, dobře fungují jako bariéry průtoku, ale jsou považovány za křehké a co se týká ostatních materiálových vlastností jsou nestabilní.

Pokud se překážky překrývají, je uvažována ta, která se ve zdrojovém souboru zapíše jako druhá, nebo ta, která se určí zvláštním příkazem. Nebo jednodušeji stačí zmenšit překážku, a tak se vyhnout křížení. [15], [19], [22], [23]

### 3.2.2 Okrajové podmínky a vstupní údaje

Všem pevným povrchům jsou přiřazeny tepelné okrajové podmínky, spolu s informacemi o hořlavosti materiálu. To je velmi důležitá část výpočtu, protože růst a šíření ohně závisí na tepelných vlastnostech okolních materiálů. Přestup tepla a úbytek hmotnosti pevných konstrukcí vychází z empirických znalostí. Empirickými znalostmi jsou myšleny dřívější poznatky uživatelů o tom, jak se program chová a pracuje, a zároveň i poznatky, které mohl získat z literatury, provedených studií a zkoušek. Materiálové vlastnosti by měly být předepsány v závislosti na teplotě.

Všechny vstupní parametry zadávané do FDS popisují konkrétní scénáře. Jsou zapsány v textovém souboru vytvořeném uživatelem. Zdrojové kódy obsahují informace o velikosti a rozměrech výpočetní sítě, o geometrii modelu, materiálových vlastnostech, okolním prostředí a okrajových podmínkách a informace o ohni samotném. Dále by měl tento soubor obsahovat informace o očekávaných výstupech.

Ve výchozím nastavení se předpokládá, že vnější hranice výpočetního prostoru vytváří pevnou hranici, která má teplotu okolí. Vlastnosti pevných látek se zadávají příkazem SURF. Předpokládá se, že pevné látky sestávají z vrstev, které mohou být vyrobeny z různých materiálů. Vlastnosti každého jednotlivého materiálu jsou popsány příkazem MATL.

Někdy je vhodné definovat materiál pevnou hraniční teplotou (TMP\_FRONT). Ta zajistí, že daný materiál má stálou teplotu. Příkladem je v kapitole 5 otopná plocha kónického zářiče. Většina materiálů je ale popsána svou měrnou tepelnou kapacitou (SPECIFIC\_HEAT), hustotou (DENSITY), součinitelem tepelné vodivosti (CONDUCTIVITY) a emisivitou. Měrná tepelná kapacita, součinitel tepelné vodivosti a hustota společně tvoří tepelnou setrvačnost materiálu a jsou základními materiálovými charakteristikami, které se při modelaci používají, a které zajistí prohrátí materiálu konstrukce. Emisivita je předem nastavena na 0,9, ale může být upravena

příkazem EMISSIVITY. Měrná tepelná kapacita a součinitel tepelné vodivosti mohou být zadány jako funkce času.

Pokud je stěna hranicí výpočetní sítě mohou nastat tři případy. Buď příkaz BACKING = 'INSULATED' zajistí, že se prostor za stěnou chová jako dokonalý izolant a zabraňuje tepelné ztrátě z druhé strany povrchu stěny. Nebo příkaz BACKING = 'EXPOSED' nechává prostor za stěnou chovat se jako prázdný a teplo skrze stěnu volně prochází a ztrácí se v okolní teplotě. To je výchozí okrajovou podmínkou. Pokud se předpokládá, že stěna přejímá vlastnosti okolního prostředí, nastaví se příkaz BACKING = 'VOID, kterým se nastaví inertní prostředí v prostoru za stěnou. [15], [22]

### 3.2.3 Hoření a pyrolýza

Složitost modelování v FDS je způsobena zahrnutím spalování v plynné fázi a pyrolýzy probíhající ve fázi pevné. Hoření popisuje reakci plynného paliva s kyslíkem. Pyrolýza popisuje vývoj palivových plynů z pevných nebo kapalných materiálů. Program FDS dokáže do výpočtu zahrnout více druhů paliv a reakcí. Také dokáže rozlišit poměr v množství spalovaných materiálů a pro zjednodušení výpočtu tento poměr dokáže upravit a reakci nahradit plynným palivem.

Hoření a pyrolýza jsou procesy, které nastávají při tepelném rozkladu materiálů. U pevných materiálů jako je např. dřevo, působením tepelného toku se na povrchu konstrukce začne postupně vytvářet zuhelnatělá vrstva. Vrchní zuhelnatělá vrstva slouží jako izolant a retardér hoření. Pod touto vrstvou se postupným ohříváním vytváří vrstva pyrolýzy, která se postupně rozšiřuje a ohřívá a rozkládá materiál hlouběji.

**Pyrolýza** je termický proces<sup>12</sup> rozkladu látek bez přístupu kyslíku, tedy v prostředí, ve kterém nedochází k spalování nebo v prostředí s omezeným přístupem kyslíku, ve kterém nemůže dojít k úplnému spálení. Reakčními produkty jsou plyny, plynné uhlovodíky a pevné koks podobné zbytky s inertními materiály. Pyrolýza probíhá ve třech fázích: sušení, karbonizace a tvorba plynu. Nejprve dochází k uvolnění vázané vody. Poté započne proces karbonizace, kdy se celulóza, bílkoviny, tuky a plasty odštěpí a vznikají plyny, kapalně uhlovodíky a pevný zbytek jímž je uhlík. Po přesažení teploty kdy dochází pouze ke karbonizaci se plyny dále štěpí až do vzniku vodíku, oxidu uhelnatého, oxidu siřičitého a metanu. Modelování pyrolýzy je popsáno v kapitole 4.2.

**Hoření** je redoxní exotermní reakce<sup>13</sup>, která probíhá za přítomnosti tří hlavních činitelů tzv. trojúhelníku hoření. Prvním činitelem je hořlavá látka, která je v pevném, kapalném nebo plynném

---

<sup>12</sup> Termické procesy působí na odpad teplotou přesahující mez jeho chemické stability. Termické procesy se dělí na oxidační a redukční.

<sup>13</sup> Redoxní reakce je chemická reakce, při které dochází ke změně oxidačního čísla atomu. Tato reakce se skládá ze dvou částí. Nejprve dochází k oxidaci, kdy se oxidační číslo atomu zvýší, a tedy atom ztrácí elektrony. Poté dochází k redukci, kdy se oxidační číslo snižuje a atom znovu elektrony přijímá.

skupenství. Hořlavá látka za určitých podmínek reaguje s oxidovadlem a tím se podílí na rozvoji hoření. Druhým činitelem je oxidační činidlo, které je nejčastěji zastoupeno vzdušným kyslíkem. Třetím činitelem je teplo nebo iniciační zdroj, kterým může být jiskra nebo plamen, tedy tepelná energie. K hoření dochází pouze za přítomnosti všech tří složek. Při hoření vzniká teplo, světlo a produkty hoření (např. kouř).

Při modelování ohně se musí definovat přímo příkaz REAC, tedy reakce probíhající v materiálu a FUEL což je reagující palivo. Jednoduchý model spalování počítá palivo, které se skládá z uhlíku (C), a vodíku (H), kyslíku (O) a dusíku (N). Toto palivo reaguje kyslíkem při řízeném míchání a vzniká H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CO a saze. Poměr, v jakém se prvky míchají, se zadává společně s příkazem SOOT\_YIELD, který určuje podíl sazí. Pokud je palivo vybráno ze seznamu možných paliv, které jsou určeny v FDS User's Guide [22], pak nemusí být C, H, O a N specifikováno. FDS palivu vždy přiřadí příkaz SPEC Tento příkaz je nadřazený výchozím hodnotám.

Pevný povrch se může v FDS skládat z několika vrstev nebo komponentních materiálů. Materiály (MATL) a jejich části jsou uvedeny v řádku SURF. Materiál může procházet maximálně deseti reakcemi. Materiál může při reakci vyprodukovat jiný pevný materiál označený v příkazovém řádku jako MATL\_ID a plyn označený jako SPEC\_ID. Pro danou reakci je množství pevných nebo plynných produktů zadáváno výnosy NU\_MATL a NU\_SPEC. V ideálním případě by součet všech produktů hoření měl být roven jedné.

Rozdíl mezi hořením a pyrolýzou spočívá v přítomnosti kyslíku během termické reakce. Hoření vzniká a probíhá za dostatečného přístupu kyslíku, naopak pyrolýzu lze považovat za materiálovou dekompozici bez přístupu kyslíku.[15], [22], [24]

### 3.2.4 Materiály

V požárním modelování je důležité přesně definovat materiály. Každý objekt samostatně má přisouzené materiálové vlastnosti. Základními materiálovými vlastnostmi jsou měrná tepelná kapacita, hustota a součinitel tepelné vodivosti, které dohromady popisují tepelnou setrvačnost materiálu. Zadáním těchto tří veličin se zajistí pouze prohřátí materiálu. Při zadání dalších PTCH může u materiálů nastat hoření.

Dalšími důležitými materiálovými vlastnostmi jsou například teplota vznícení, která je zadána příkazem IGNITION\_TEMPERATURE, která je ale zadávána jako funkce povrchu materiálu. Dále teplota, při které se pevná látka mění na plyn a rychlost úbytku hmotnosti je maximální REFERENCE\_TEMPERATURE, tato rychlost je zadána příkazem REFERENCE\_RATE. Příkaz HEAT\_OF\_COMBUSTION předepisuje energii uvolněnou na

---

Exotermní nebo i exotermická reakce je chemická reakce, při které se uvolňuje energie obvykle ve formě tepla. Produkty reakce proto mají nižší chemickou energii než reaktanty. Hoření je typickou exotermní reakcí, při které se uvolňuje světlo a teplo.

jednotku hmotnosti paliva, která se mísí s kyslíkem během spalování a HEATING\_RATE předepisuje míru ohřívání. ABSORPTION\_COEFFICIENT je koeficient určující pohlcení tepelného záření materiálem, tento příkaz umožňuje pronikání tepelného záření a jeho absorpci do pevné látky. HEAT\_OF\_REACTION je příkaz, který určí množství spotřebované energie na jednotku hmotnosti reaktantu, které se převádí na reakční produkty. Příkazem N\_REACTIONS určíme počet reakcí, které v materiálu během hoření budou probíhat. Velikost produkce spalin se zadá příkazem NU\_SPEC.

Aplikace materiálových vlastností je v kapitole 5. [22], [24]

## 4 Analýza testovaných materiálů

V posledních desetiletích jsou hledány metody odhadu parametrů numerickým přístupem, který dokáže extrahovat pevnou fázi vstupních parametrů pyrolýzy pro rozsáhlou modelovou požární zkoušku. Dřívější výzkumy zahrnují teplotu vznícení a fázi hoření. Vychází z prací Tewartsova, Quintiera a Harkleroda, jejichž přístup uvažuje pouze souhrnné chování pevných materiálů a nezabývá se jejich rozkladem. Modely pole se zakládají na stejných teplotních modelech a popisech referencí. Modely pyrolýzy se ukázaly jako vhodné parametry pro termoplasty.

Modelování pyrolýzy se zaměřilo na rozklad pevných látek, jejich mikrostrukturu a kinetiku spolu s odhadováním vlastností materiálu. Pro správné odhadnutí vlastností musí být měření optimalizováno. Jedná se o relativně nové modely, které ještě nejsou běžně používány. Pozorování kvality zpracování výsledků měření se zaměřuje na zjišťování modelů pyrolýzy, odhad parametrů měření a získávání dat z měření, pro porovnání se skutečnými zkouškami. Metod porovnávání modelů, jenž mají vhodné parametry a jsou dostupné, je stále málo. Proto je důležité, aby nástroje teoretické byly co nejvíce provázány matematickými poznatky, a aby data potřebná k fungování těchto modelů byla přesná a rozšířená.

Při modelování je důležité určit vstupní data, jejich vývoj v souladu s modelovými předpoklady a data výstupní. Vstupní údaje do modelů se obecně dají rozdělit podle fáze na pevné a plynné. Plynná fáze popisuje ozařování a spalování a pevná fáze popisuje ohřívání a pyrolýzu. Nejlépe popsaným materiálem je v požárním modelování a zkušebnictví polymethylmethakrylát, který v této práci slouží jako základní materiál pro nalezení souvislosti mezi skutečnou zkouškou a modelem.

Jak již bylo řečeno, standard ASTM E 1591 slouží jako návod pro zónové modely. Standard popisuje matematické vzory a postupy, jak vytvořit vstupní data pro modely zón. Pro modely počítačové dynamiky tekutin takovýto standard doposud nebyl vydán. V roce 2012 byla vydána pouze příručka „*Engineering Guide for Estimating Material Pyrolysis Properties for Fire Modeling*“ od Mihyun Esther Kima a Nicholas Dembseyho z Worcesterstského Polytechnického Institutu [12], která slouží jako návod pro vytváření vstupních dat a údajů pro modely počítačové dynamiky tekutin. Kapitola 4 zkráceně představuje možný přístup k modelování podle této příručky.

### 4.1 Polymethylmethakrylát

Polymethylmethakrylát (PMMA), obecně známý jako plexisklo nebo akrylátové sklo, je průhledný syntetický polymer s vlastnostmi termoplastů. Tento materiál je v požárním modelování důležitý, protože jeho charakteristiky hoření a chování během pyrolýzy byly široce prozkoumány, proto je vhodný pro využití v této práci. PMMA se při ohřevu rozteče, hoří jako kapalina a nezanechává pevné zbytky.



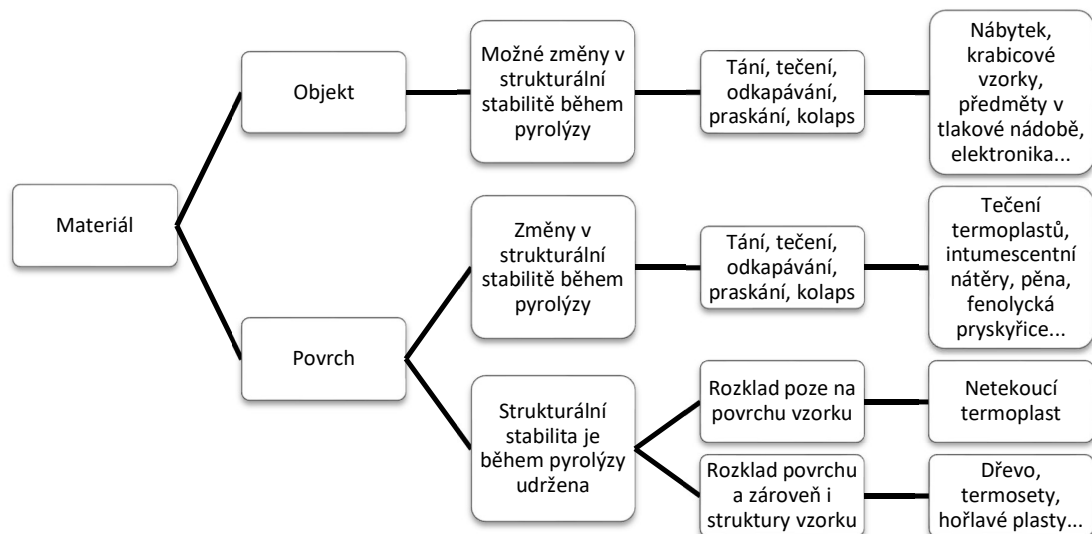
PMMA je používán jako kalibrační materiál v požárním zkušebnictví. Před každým zkušebním cyklem se nejprve odzkouší PMMA a výsledky kalibrační zkoušky jsou porovnány s předešlými měřeními. Kalibrační zkouška prokazuje funkčnost zkušebního aparátu.

V CFD modelování se předpokládá, že během pyrolýzy probíhá pouze jedna reakce, ale z výsledků termogravimetrických testů bylo prokázáno, že během pyrolýzy PMMA probíhá několik fyzikálních reakcí. Předpoklad jednoho druhu reakce zjednodušuje a umožňuje výpočet a zkracuje výpočetní čas.

## 4.2 Pyrolýza

Pyrolýza představuje teplotní dekompozici porézních i neporézních pevných materiálů, která nastává během vystavení teplotě během požáru. Jedná se o komplikovaný jev, který je kombinací prostupu tepla skrze materiál vystavený účinkům ohně, dále teplotnímu rozkladu, jenž vytváří hořlavé a nehořlavé pyrolyzáty v plynné, tekuté i pevné formě a přenosu kyslíku z okolního prostředí do pyrolyzátu.

Vzorek pyrolýzy je pro účely modelování nejprve zařazen podle své geometrie buď jako předmět nebo jako povrch. Nezáleží však na vlastnosti vzorku, jako je jeho plochost nebo složitost tvaru, ani na struktuře materiálu, která poukazuje stabilitu vzorku materiálu během pyrolýzy. Změny ve struktuře a stabilitě vzorku obvykle závisí na tom, zda vzorek taje, teče a odkapává, bobtná, praská, hrouť se atd. Pokud materiál udrží během pyrolýzy svou strukturální stabilitu, je zaříděn dle své aplikace a dle místa, v němž probíhá teplotní rozklad.

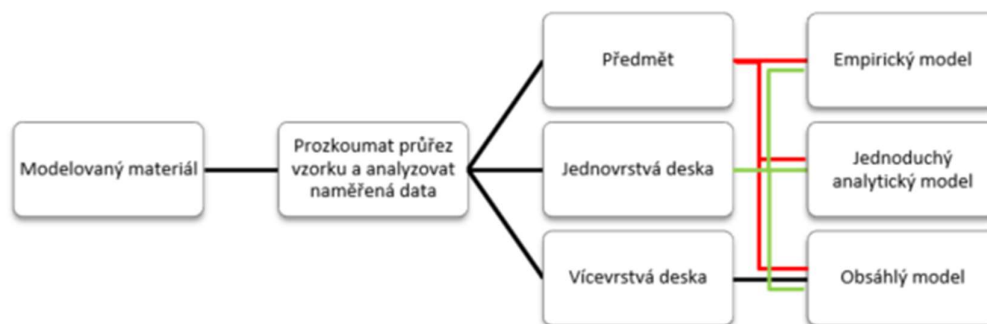


Obr. 10 Schéma zařazení materiálu dle jeho vlastností do kategorie (Převzato a přeloženo z [12])

Cílem požárního modelování pyrolýzy je simulace hmotnostního úbytku na jednotku plochy v důsledku rozkladu materiálu v pevné fázi. Informace jsou používány jako vstupní parametryního za podmínek požáru.

Nejjednodušší přístup k modelaci pyrolýzy je skrze využití dat naměřených v kalorimetru, tzv. **empirickým modelem**. Přestup tepla, teplotní rozklad a účinky přenosu hmoty si jsou podobny za předpokladu, že rozdíl mezi podmínkami zkoušky a modelu jsou mizivé. Další možný přístup používá analytické řešení pro popis pyrolýzy, jedná se o **jednoduchý analytický model**. Tento přístup řeší přenos tepla pyrolyzovaných materiálů ve fázi předcházející vznícení tím, že předpokládá, že materiály jsou inertní, a i přes nesourodost pospolitě. Tepelný rozklad je charakterizován teplotou vznícení na povrchu vzorku a ustálené spalování se předpokládá v následující fázi hoření. Nejkomplexnější přístup k modelaci řeší přestup tepla se zachováním energie, to zajišťuje flexibilitu při určování okrajových podmínek povrchu. Teplotní rozklad je modelován pomocí zachování energie hmoty buď kritériem pyrolýzy nebo teplotou pyrolýzy anebo rychlostí kinetické reakce modelu.

Empirické modely mohou být použity pro jakýkoliv druh materiálů ze kterékoli ze čtyř skupin materiálů, které jsou zobrazeny ve schématu na Obr. 10. Jednoduché analytické modely mohou být použity pouze pro ploché povrchy, které udržují svou strukturální stabilitu během pyrolýzy. Komplexní modely mohou být použity k modelování všech materiálů, které jsou ploché, a které si udržují svou strukturální stabilitu během pyrolýzy. Výběr modelu je znázorněn ve schéma na Obr. 11. [12]



Obr. 11 Schéma výběru vhodného modelu pro modelování a analýzu dat

Mezi předměty jsou zařazeny materiály, které jsou většinou nehomogenní a nemohou být považovány za jednorozměrné. U vícevrstevných desek musí být vizuálně zkontrolovány, že se jedná o homogenní nebo relativně homogenní vrstvy, výsledná data z experimentu musí zohledňovat vrstevnatost, a proto je v modelu popsána mikrostruktura. Jednovrstvé deskové materiály jsou homogenní nebo relativně homogenní materiály, které nemohou být zařazeny mezi vícevrstvé desky.

## 4.3 Empirický model

Nejjednodušší způsob k určení rychlosti hoření předmětů nebo desek, kde rychlost uvolňování tepla a rychlost úbytku hmotnosti jsou měřeny během zkoušky a popisují proces pyrolýzy. Data jsou získávána z velkorozměrových zkoušek, například z nábytkového kalorimetru pro předměty a z kónického kalorimetru pro desky. Předpokladem použití těchto dat jsou rovnocenné podmínky prostředí a způsobu zapálení při reálné zkoušce a modelu. Navíc se předpokládá, že ploché povrchy vedou teplo a hmotu pouze jednosměrně, tedy kolmo k povrchu vystavenému zahřívání nebo ohni.

Rychlost uvolňování tepla a rychlost úbytku hmotnosti naměřené v kónickém kalorimetru nebo při středněrozměrové zkoušce jsou obvykle vyjádřeny jako rychlost na jednotku plochy. Data získána při Room Corner Testu jsou vyjadřována především poměrem množství.

Modelovaný materiál je zdroj energie, který uvolňuje teplo jako plynnou fázi a je charakterizován jako rychlost uvolňování tepla, míra úbytku hmotnosti a skutečné spalné teplo. Charakteristiky nejsou závislé na geometrii vzorku.[12]

### 4.3.1 Modelování

Při vytvoření virtuálního materiálu je třeba nejprve vytvořit seznam vstupních modelů, které je třeba určit a získat neznámá data z literatury nebo měření. Poté je potřeba zvážit a provést validaci a popsat parametry výpočtu. Výpočet se analyzuje a zhodnotí se kvalita simulace s ohledem na nejistoty při modelování výstupů a dat.

Výsledky modelování se nejlépe prezentují jako souhrnné tabulky nebo grafy. Tabulka modelových parametrů obsahuje parametry potřebné k provedení modelu pyrolýzy, jeho odhadované hodnoty a metody odhadu těchto neznámých. Tabulka validací obsahuje popis modelovaného cíle, typ modelu pyrolýzy a modelovacího přístupu, typ experimentu a informace potřebné k empirické simulaci rychlosti uvolňování tepla, informace o nejistotě experimentálních dat a výstupní model. Poslední tabulka obsahuje komentář omezení výstupů modelu pyrolýzy popsaných v předešlých částech.

Požárně inženýrský přístup musí brát při modelování v úvahu nepřesnost vstupních dat, která bude ovlivňovat výsledky. Takovýto proces se nazývá analýza nejistot. Vstupní data modelů jako rozměry modelovaných objektů jsou známá, ale charakteristická materiálové údaje jsou většinou proměnlivé, a právě u nich se musí počítat právě s analýzou nejistot. Rozlišujeme dva typy nejistot: nejistoty náhodné změny a nejistoty způsobené neznalostí.[12]

### 4.3.2 Modelování PMMA použitím empirického modelu

Při modelování pyrolýzy PMMA pomocí empirického modelu se používají data naměřená při kalibrační zkoušce kónického kalorimetru. Nastavená hladina tepelného toku  $50 \text{ kW/m}^2$  se

používá k odhadnutí doby vzplanutí a energie uvolněné při hoření PMMA při vystavení povrchu desky ohřívání.

Tento model je srovnatelný s požárním scénářem skutečné zkoušky, ale jeho provedení je omezeno následujícími podmínkami:

- Vzorek je zapálen pomocí elektrické jiskry.
- Vzorek je při skutečné zkoušce rovnoměrně zahříván elektricky vyhřívanou cívkou, která dokáže vytvořit předepsaný tepelný tok na povrch zkušebního materiálu.
- Přenos tepla a hmoty je v tomto modelu uvažován jako jednorozměrný, kolmo k exponovanému povrchu.
- Data jsou zadávána na jednotku plochy pouze u větších ploch, kde se dají jednoduše přepočíst.
- Model nezahrnuje údaje o reakci v krajích zkušebního tělesa (jak předmět odhořívá od krajů anebo jak reaguje v místě dotyku s držákem vzorku).

Empirický model je vhodné používat, pouze pokud máme k dispozici data naměřená v TÚPO jako je HRR, MLR nebo teplota vznícení. Tato data se dají vhodně do FDS implementovat a jsou ideální pro modelování praktických jednoduchých zkoušek, protože jsou výpočetně méně náročná.

## 4.4 Jednoduchý analytický model

Jednoduchý analytický model popisuje povrchovou teplotu materiálu na základě přechodové rovnice tepelného vedení u tepelně tenkého nebo silného materiálu. Za předpokladu použití silného materiálu se uvažuje, že je materiál inertní do chvíle, kdy je vystaven ohřívání. Rychlost uvolňování tepla z povrchu materiálu závisí na jeho tepelné stálosti. Tenké předměty jsou vystaveny ohřevu při vyšší konvektivní odolnosti mezi pevnou a plynnou fází. To umožňuje, aby materiál byl modelován podle tepelně koncentrační analýzy pro výpočet nárůstu teploty během fáze před zapálením vzorku, kde je zanedbán teplotní gradient v pevné fázi a úbytek hmotnosti.

Rychlost nárůstu teploty závisí na hustotě vynásobené měrnou tepelnou kapacitou materiálu. Předpokládá se, že se materiál zapálí, když jeho povrchová teplota dosáhne teploty vzplanutí, která závisí na materiálu. Po zapálení se rychlost úbytku hmotnosti určí na základě čistého tepelného toku na exponovaném povrchu a teplotě, při které dochází k přeměně na plyn. Nakonec je rychlost uvolňování tepla určena vynásobením rychlostí úbytku hmotnosti při efektivním spalování.

Hlavní předpoklady jsou stejné jako u empirických modelů pro silné povrchy. Navíc jsou zjednodušené analytické modely založeny na předpokladu, že se jedná o stabilní hoření na povrchu materiálu.

#### 4.4.1 Přímé měření

Nejběžnějším přístupem k zjištění teploty na povrchu je použití termočlánku. Průměr drátu termočlánku musí být co možná nejmenší, tak aby jeho použití neovlivňovalo výsledky zkoušky. Přestože se vyrábí termočlánky o průměru drátku 0,013 mm je velmi obtížné pracovat s dráty o průměru menším než 0,25 mm. Upřednostňují se termočlánky svařované na tupo, protože nemají žádné hrany. Termočlánky jsou na povrchu umístěny do předem vyvrtaných malých otvorů tak, aby byly v kontaktu se vzorkem.

Měření povrchové teploty vzorku je pomocí termočlánku náročné. Existují bezkontaktní metody pro měření povrchové teploty, např. optický pyrometr nebo infračervenou kamerou. Tyto metody vyžadují přesné nastavení kamery na cílovou plochu, výhledu však brání řada překážek. Překážkou může být samotná sálavá plocha a odražený tepelný tok, proto musí být kamera nastavena pod úhlem a musí umět filtrovat odražený tepelný tok. Nejlépe povrchovou teplotu snímá úzko-pásový pyrometr, který pracuje v rozsahu 8-10  $\mu\text{m}$  IR spektra mimo pásy absorpce a emise  $\text{CO}_2$  a vodní páry.

Vzhledem k tomu, že je velmi náročné měřit povrchovou teplotu materiálu přímo, je časté určovat vlastnosti materiálu při vznícení na základě analýzy údajů o době vznícení získaných v rámci mnoha měření tepelných toků. Analýza je založena na předpokladu jednoduchého modelu tepelné vodivosti, který předpokládá, že pevná látka je inertní<sup>14</sup> a tepelně odolná<sup>15</sup> nebo tepelně tenká<sup>16</sup>. Je důležité si uvědomit, že tepelné analýzy a data z nich získaná nemusí představovat dobrý odhad materiálových vlastností a skutečným hodnotám se nemusí přiblížit

#### 4.4.2 Modelování PMMA jednoduchým analytickým modelem

Při modelování pyrolýzy PMMA jednoduchým analytickým modelem jsou použita data z experimentu v kónickém kalorimetru při použití několika úrovní toku tepla 10 – 75  $\text{kW/m}^2$ . Pro analýzu dat týkajících se pouze spalování se použije doba vzplanutí vzorku. Pro analýzu dat týkajících se rychlosti spalování budou použity tři základní tepelné toky: 25, 50 a 75  $\text{kW/m}^2$ , které se dají odzkoušet v modelu i při skutečné zkoušce, a které budou popisovat HRR a MLR v závislosti na těchto tepelných tocích

Jednoduchý analytický model předpokládá:

- PMMA deska je tepelně stabilní a teplo jí okamžitě při vystavení tepelnému toku neprojde až k zadní ploše.
- po zapálení se začnou uvolňovat těkavé látky, které přecházejí z pevné fáze ihned do plynné

<sup>14</sup> Míra pyrolýzy vzorku materiálu před zapálením je zanedbatelná.

<sup>15</sup> Tepelná vlna před zapálením u těchto materiálů nedosáhne zadní plochy před zapálením

<sup>16</sup> Tepelná vlna dosáhne zadní plochy před zapálením, takže tepelný gradient může být v pevné fázi zanedbán.

- PMMA deska má konstantní tloušťku. Model zanedbává skutečnost, že se během hoření desky vytvářejí na povrchu bublinky.

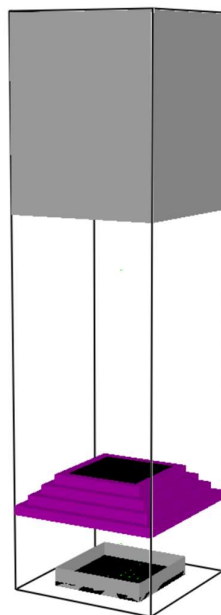
Z porovnání modelů a skutečných experimentů vyplývá, že tento přístup vykazuje značnou shodu ve výstupech pro odhad parametrů požáru PMMA. I přes pozitivní výsledek je rozumné uvažovat s limity jednoduchého analytického modelu, které se objevují při použití vysokých tepelných toků. Při vysokých tepelných tocích není možné předpokládat, že budou ve fázi před zapálením vzorku inertní podmínky. Dále není možno v předběžné fázi zapálení zanedbávat chování, jako je bublání, protože takováto efekty prostupují při vyšších tepelných tocích hlouběji do profilu zkušební vzorku.

Kapitola 5 se zabývá modelováním kónického kalorimetru. Prvním výpočetním modelem je zkouška desky PMMA. Data získaná z modelu jsou porovnána se zkouškou uskutečněnou v TÚPO. Zkouška je modelována podle principů zjednodušeného analytického modelu. V této kapitole je tedy předvedena skutečná aplikace s prezentací skutečných výsledků.

## 5 Analýza zkoušky v kónickém kalorimetru

Jedním z cílů této práce je modelovat materiál při zkoušce v kónickém kalorimetru tak, aby odpovídal skutečné požární zkoušce. V Technickém ústavu požární ochrany byla v prosinci 2017 provedena zkouška desky PMMA, OSB a desky OSB Firestop. OSB desky byly nejprve páleny ve standartní horizontální poloze a poté ve vertikální. PMMA deska byla pálena pouze v horizontální poloze. Tyto dva materiály jsou namodelovány v FDS pro porovnání s reálnou zkouškou.

V programu FDS byl namodelován kónický kalorimetr. Jedná se o zjednodušenou verzi na Obr. 12, která je však pro potřeby tohoto měření zcela dostačující. Model zachycuje pouze zkoušený prvek, kónický zářič a zjednodušenou hlavici digestoře.



Obr. 12 Zjednodušený model kónického kalorimetru v FDS

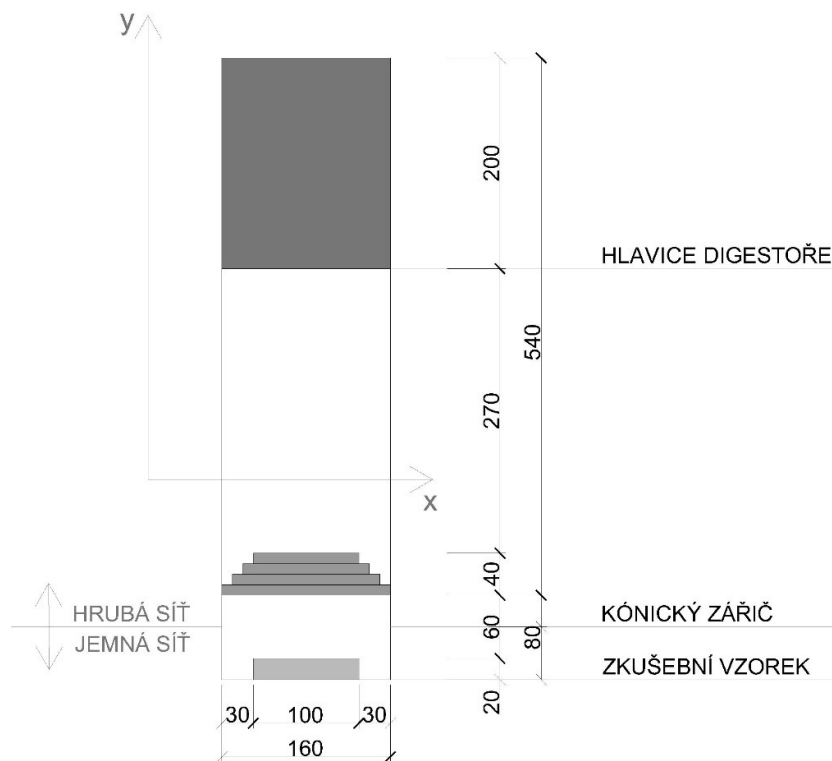
Zkouška desky PMMA bude podrobně rozebrána, protože tento materiál má nejlépe popsané vlastnosti během hoření. Kalibrační zkouška PMMA se provádí pravidelně při každém zkušebním cyklu kónického kalorimetru, a proto je tento materiál nejvhodnější pro pozorování souvislostí. Poznatky z porovnání PMMA zkoušek budou aplikovány na zkoušce OSB desky.

### 5.1 Zkouška desky PMMA v FDS

V této kapitole je podrobně rozepsán postup zadání materiálu a zkušebního aparátu do FDS. Zkouška je popsána pomocí okrajových podmínek materiálu a prostředí, ve kterém se nachází. Vstupní parametry byly upraveny se záměrem dosažení shody ve výsledcích. Modelovaná zkouška v FDS byla mnohokrát opakována a upravována, tak aby co nejlépe odpovídala skutečné zkoušce.

Nejprve byl odhadem určen výpočetní čas TIME T\_END. Pro zajištění dostatečného času, tak aby byla obsažena celá zkouška, byl tento čas nadhodnocen na 700 s. V modelu se uvažuje, že vzorek je zapálen pouze působením tepelného toku z kónického zářiče. Jemnost kroku výpočtu je upravena pokynem  $DT = 0.01$ , která určuje nejnižší hranici pro velikost časového kroku, ve kterém bude výpočet proveden.

Výpočetní oblast je rozdělena do dvou sítí (MESH). Hrubší síť začíná nad vzorkem a zahrnuje kónický zářič a digestoř. Buňky této sítě jsou rozměru  $10 \times 10 \times 10$  mm. Jemnější síť je ve spodní polovině modelu, buňky této sítě jsou rozměru  $10 \times 10 \times 5$  mm a zahrnují vzorek. Jemnější síť je zvolena kvůli větší přesnosti výpočtu v místě vzorku a lepší modelaci ve Smokeview. Z-velikost buňky je zvolena tak, aby obsáhla celou tloušťku zkušební vzorku. Nejprve byla zvolena síť jemnější o z-výšce 1mm, ale takováto síť neumožňovala exaktní popis materiálu. Každá vrstva buněk byla ohřívána vždy od počáteční teploty. Model nedokázal zohlednit postupné ohřívání a tavení vzorku před jeho přímým vystavením ohřevu. Nejprve byla ohřáta svrchní vrstva buněk, po jejím spálení byla druhá vrstva znovu ohřívána od počáteční teploty  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Celkový počet buněk je 17 152. Rozměry zařízení odpovídají Obr. 13. Základní rozměry a geometrie kónického kalorimetru vychází z diplomové práce Jana Mandince [24].



Obr. 13 Schéma rozměru kónického kalorimetru

Reaktivní složkou REAC při této zkoušce je PMMA. FDS má ve svém programu popsáno, jak reagují prvky, které jsou chemicky sloučeninou uhlíku, vodíku, dusíku a kyslíku. Proto jsou reaktivní plyny vznikající při ohřívání popsány palivem, jímž je FUEL = PMMA, který



vychází z monomeru MMA  $C_5H_8O_2$  a spalinami SOOT\_YIELD, které vznikají při hoření v reálném čase. Výpočet paliva je zajištěn příkazem EPUMO2, který spočítá reakci soustředěného paliva z množství uvolněné energie z jednotky hmotnosti. Výchozí hodnotou je konstanta vyjadřující spotřebu kyslíku 13,1 MJ/kg[4], význam této hodnoty byl popsán v kapitole 2.3.1.

Zkoušený vzorek desky z polymethylmethakrylátu má rozměry ( $x \times y \times z$ ) 100 × 100 × 5 mm. V příručce „FDS User Guide“ [22] byly definovány materiálové vlastnosti a způsob jejich zadání při simulaci kónického kalorimetru. Při spuštění tohoto modelu byla naměřená data čtyřnásobná oproti reálné zkoušce. Proto byla deska popsána materiálovými vlastnostmi MATL shrnutými v Tab. 1. Údaje o materiálových vlastnostech byli získány z termogravimetrické analýzy, kterou v rámci své disertační práce provedl Ing. Marek Pokorný, Ph.D. [25], tato data jsou vhodnější a lépe vyjadřují skutečné vlastnosti materiálu. Kromě materiálových vlastností je PMMA popsáno strukturou ohraničujících ploch (SURF). Ohraničující plochy jsou popsány barvou (COLOR), která je vzorku přiřazena pro animaci ve Smokeview a způsobem jakým reagují na své okolí. Příkaz BACKING = ‘INSULATED‘ zajišťuje, že FDS bude PMMA chápat jako rovnou pevnou desku se stabilní strukturou, u které nedochází z odvrácené strany k odnímání tepla. Žádné teplo není ztraceno na odvrácené straně. A příkaz BURN\_AWAY = .TRUE. způsobí, že PMMA bude odhořívát a ubývat.

Tab. 1 Materiálové vlastnosti PMMA získané z [25]

DENSITY	Hustota	1190	kg/m <sup>3</sup>
SPECIFIC HEAT	Měrná tepelná kapacita	0,19	J/kg·K
CONDUCTIVITY	Součinitel tepelné vodivosti	1,32	W/m·K
N_REACTIONS	Počet reakcí probíhajících při hoření	1	-
NU_SPEC	Produkce plynu ze vzorku	1	-
REFERENCE_TEMPERATURE(1)	Teplota, při které se pevná látka mění na plyn	306,59	°C
REFERENCE_RATE(1)	Rychlost (míra) reakce	0,003560667	-
HEATING_RATE(1)	Rychlost (míra) ohřívání	5,0	K/s
HEAT_OF_COMBUSTION	Energie uvolněná na jednotku paliva	25 000	kJ/kg
HEAT_OF_REACTION	Energie spotřebovaná na jednotku hmotnosti reaktantu	1500	kJ/kg
ABSORPTION_COEFFICIENT	Koeficient pohlcení tepelného záření materiálem	1000	1/m

Pro potřeby výpočtu je kónický zářič zjednodušen do tvaru dutého zkoseného jehlanu. Stěny kónusu rovnoměrně ozařují vzorek tepelným tokem. Středem kónusu může procházet teplo a produkty spalování, které jsou dále zachycovány a měřeny v digestoři. Geometrie kónu, držáku vzorku a digestoře je zadána příkazem OBST. Tento příkaz utváří trojrozměrnými souřadnicemi stěny prvků, spolu s přiřazením SURF materiálu.

Vnitřnímu povrchu tělesa kónického zářiče je navíc přiřazen SURF ID = FIRE. Tomuto povrchu je přiřazena příkazem TMP\_FRONT teplota 700 °C a příkazem EMISSIVITY=0,7 se upravuje emisivita ovlivňující uvolňování tepelného toku. Kombinace teploty 700 °C a 70 % emisivity se ukázala jako ideální kompromis pro získání výsledků modelu obdobných k výsledkům skutečné zkoušky. Reálná zkouška má u kónického zářiče umístěn termočlánek, na kterém je naměřeno 1400 °C, ale při zadání této teploty bylo výsledné HRR v modelu čtyřnásobné oproti skutečnosti, proto byly výpočty opakovány a teplota, přiřazená povrchu kónického zářiče, byla postupně snižována. To je způsobeno rozdílnými podmínkami reálné zkoušky a modelu. Při reálné zkoušce je v odtahovém potrubí spuštěn ventilátor, který vytváří proudění vzduchu směrem vzhůru, a tím způsobuje odnímání části tepelného toku. Dále je důležité upozornit na zkreslení tvaru kónického zářiče. Kónický zářič je ve skutečnosti tvořen do spirály stočenou otopnou trubicí, která vydává teplo všesměrně. V modelu, jak již bylo výše psáno, je zářič ve tvaru dutého zkoseného jehlanu, ale tepelné záření vychází pouze z jeho vnitřních stěn.

Je důležité do modelu umístit měřící zařízení (DEVC) termočlánky a radiometry. Pomocí příkazu QUANTITY = 'RADIOMETER' se měří radiální tepelný tok. Radiometry jsou určeny svou polohou ve výpočetní síti a směrem měření. Radiometry jsou rozmístěny po ploše zkušební desky PMMA. Příkazem QUANTITY = 'THERMOCOUPLE' se měří teplota. Termočlánky jsou určeny svou polohou a zaznamenávají teplotu pouze v daném bodě a jsou umístěny na svrchní a spodní ploše PMMA desky a uprostřed kónického zářiče. Nastavením výstupních hodnot RADIATIVE HEAT FLUX GAS se při zkoušce zaznamenává měření radiálního tepelného toku z povrchu pevného tělesa a nastavením WALL TEMPERATURE se zaznamená teplota na povrchu stěny ohřívané desky. Posledním výstupním měřením je zaznamenána rychlost úbytku hmotnosti BURNING RATE.

Modelový program vytváří výstupní soubory, které zachovávají napočtená data. Některé z těchto souborů jsou určeny pouze pro čtení a vykreslení programem Smokeview. Některé soubory jsou pouze textové, kde zaznamenaná data jsou oddělena čárkou. Takovéto soubory lze převést do tabulkového prostředí (např. MS Excel) a dále s nimi pracovat. Ve vstupním souboru je nutné deklarovat výstupní data. Pro vizualizaci je třeba nastavit rovinné plochy dat, zaznamenávající plynnou a pevnou fázi pomocí příkazu SLCF („slice file“) nebo BNDF („boundary file“). Oba tyto výstupní formáty umožňují animaci v čase.

Příkazem BNDF se zaznamenávají kvantitativní vlastnosti povrchu materiálu desky. Díky zadání příkazu BNDF QUANTITY nemusely být určeny přesné souřadnice, což bylo vhodné pro diagnostiku. Program FDS průměruje data hraničních míst do rohových bodů. Povrchové teploty jsou vypočítány ve středu každého povrchu buňky a dále jsou lineárně interpolovány do rohů. Tento příkaz je použit pro měření radiometrem, pro zaznamenávání rychlosti úbytku hmotnosti a povrchové teploty.

Příkaz SLCF umožňuje zaznamenávat různé množství plynné fáze ve více než jednom bodě. Zaznamenává se v řezu, který dokáže popsat celou podmnožinu plynu. Takovýto řez může být čarou, rovinou anebo objemem v závislosti na zadaných hodnotách souřadnic XB, jenž označují

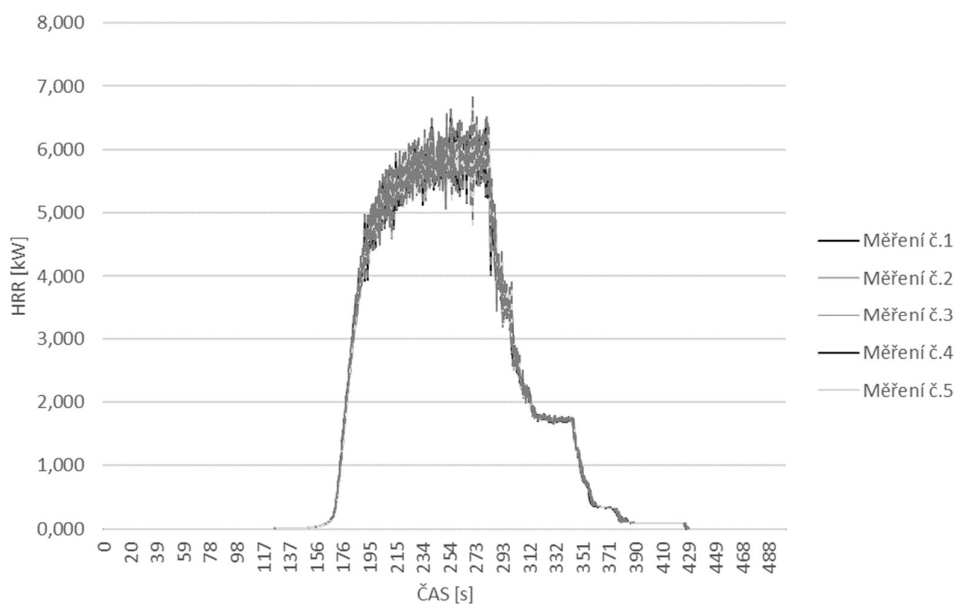
hranice roviny řezu a jsou předepsány jako ve skupinách OBST nebo VENT. Animace vektoru v aplikaci Smokeview je možná díky příkazu VECTOR = TRUE.

Zahříváním povrch desky PMMA při reálné zkoušce zkapalní „Kapičky“, které se objevují na povrchu vzorku během zahřívání PMMA, se drží povrchu desky. Takovéto kapky FDS nedokáže namodelovat, ale počítá s nimi vždy jen v jednom časovém okamžiku, v jedné poloze. Pokud se kapka pohybuje z jedné pevné stěnové buňky do druhé, bude počítána znovu. Příkaz DEVC ID = MPUA („mass per unit area“) spočítá hmotnost na jednotkovou oblast kapiček, nebo také okamžitou objemovou hustotu na jednotku plochy. MPUA počítá kapku vždy, když je na jakémkoli pevném povrchu, včetně stěn.

Zadáním příkazu DEVC ID = MLRPUA („mass lost rate per unit area“) se určí parametr hmotnostní ztráty reaktivní látky na jednotku hmotnosti na plochu. Reaktivní látka je v tomto případě zadána pomocí relevantních vlastností v příkazu MATL. Požár je v FDS modelován jako vyhoření plynného paliva z pevného povrchu nebo ovzduší.

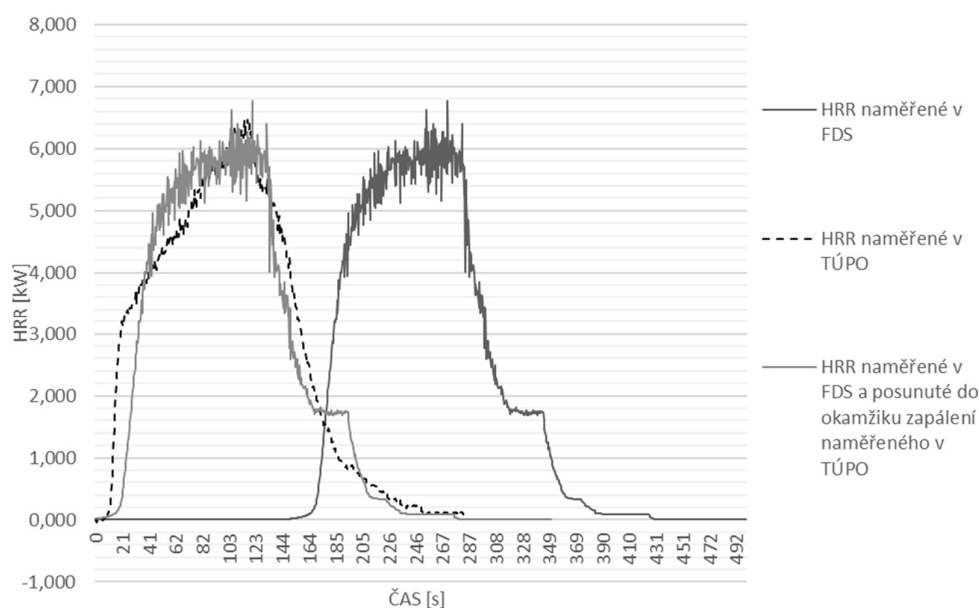
### 5.1.1 Výsledky měření a porovnání

Výpočet hoření PMMA desky v kónickém kalorimetru byl mnohokrát upravován, dokud výsledky neodpovídaly měření skutečné zkoušky v TÚPO. Pro jistotu měření se výpočet opakoval pětkrát se stejným zadáním, tak aby bylo prokázáno, že se jedná o správný a vždy opakovatelný výsledek. Nejdůležitější sledovanou veličinou je rychlost uvolňování tepla, která je opakována porovnána v grafu na Obr. 14. Z grafu vyplývá, že měření mají drobné odchylky, které však nejsou zásadní a celkový výsledek měření neovlivňují. V Příloze 1 je zdrojový kód pro měření desky PMMA v kónickém kalorimetru.



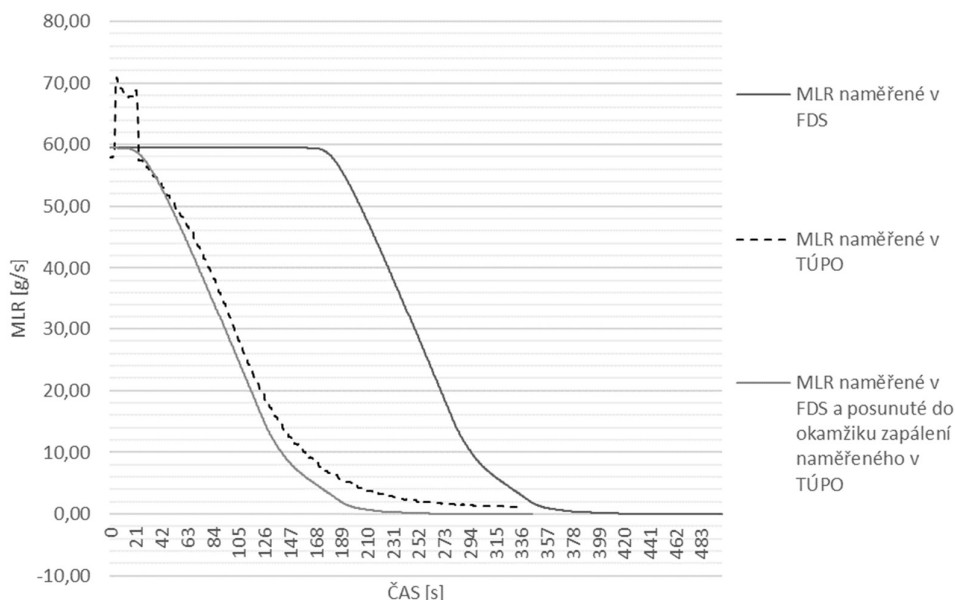
Obr. 14 Porovnání opakování výpočtu HRR desky PMMA v FDS pro ověření výsledků

V grafu na Obr. 15 je znázorněno porovnání HRR naměřené v reálné zkoušce a modelem v programu FDS. Z grafu se dají vyčíst patrné rozdíly v průběhu HRR. Tyto rozdíly jsou způsobeny několika rozdíly v okrajových podmínkách, které se nedají namodelovat. Prvním zásadním rozdílem je způsob zapálení vzorku. V reálné zkoušce je vzorek zapálen pomocí jiskry, která zažehne hořlavé plyny uvolňující se z ohřivané desky. V modelu se, jak již bylo řečeno, vzorek zapálí samovolně pouze ohříváním. Druhým důvodem je, že kónický zářič nedokáže v modelu usměrnit tepelný tok směrem dolů na PMMA desku a tepelný tok uniká vzhůru. To způsobilo, že začátek nárůstu HRR se oproti reálné zkoušce posunul v čase. Proto je zaznamenáno i posunutí v čase modelové zkoušky tak, aby se překrývalo s měřením v TÚPO. Model je posunut o 150 s. HRR v prvních cca 50 s prudce narůstá a svého vrcholu dosahuje o dalších 71 s později. Poté začne prudce klesat až do úplného shoření vzorku.



Obr. 15 Rychlost uvolňování tepla naměřena v TÚPO a porovnaná s měřením v FDS

Druhou sledovanou veličinou je rychlost úbytku hmotnosti (MLR) její průběh je znázorněn na Obr. 16. Tak jako v případě modelované HRR je i hodnota MLR naměřená v FDS posunuta o 150 s, tak aby její průběh mohl překrývat skutečnou zkoušku naměřenou v TÚPO. Tato veličina ukazuje, jak rychle vzorek ztrácí svou původní hmotnost a rozměry. Reálná zkouška kónického kalorimetru neměří rychlost úbytku hmotnosti, ale měří okamžitý úbytek váhy měřeného vzorku. Z tohoto důvodu se naměřená data musela upravit tak aby byla porovnatelná. Vzorek zkoušený v TÚPO měl počáteční hmotnost 57,466 g a konečnou hmotnost 1,251 g. Při prohlédnutí grafu zjistíte, že hmotnost vzorku zkoušeného v TÚPO přibližně v 11 s vystoupala až na 70,864 g. To je pravděpodobně způsobeno tlakem, který vzorek vyvinul na váhu, když se během bobtnání opřel o zápalný zdroj. Od 42 s pak začala hmotnost vzorku, dle předpokladu, klesat.



Obr. 16 Rychlost úbytku hmotnosti naměřená v TÚPO a porovnaná s výsledky FDS

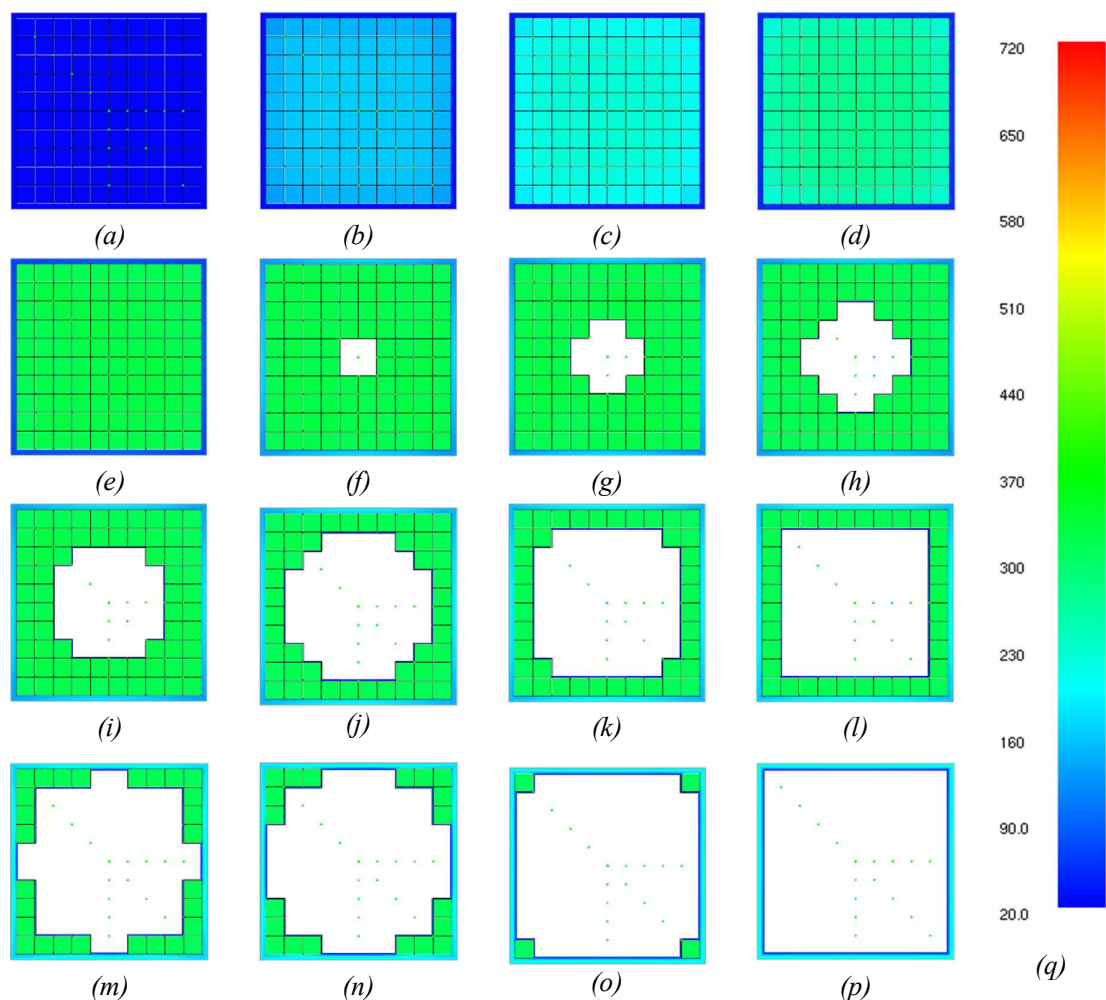
Pro vizuální představu je na Obr. 17 zaznamenáno postupné odhořívání desky v čase. Je vidět, že vzorek odhořívá od středu směrem do stran. To odpovídá reálnému průběhu zkoušky. Síť, ve které se nachází zkoušená deska, je o velikosti  $10 \times 10 \times 5$  mm, tak aby výška (tloušťka) desky byla obsažena v jedné buňce. Z tohoto důvodu je vizuální úbytek zpožděn za naměřeným MLR.<sup>17</sup>

V Tab. 2 Porovnání hodnot naměřených při reálné zkoušce s modelem v FDS Tab. 2 jsou shrnuty maximální naměřené hodnoty HRR a MLR v čase. V této tabulce jsou obsažena všechna měření v FDS a je zde i průměr těchto měření. Tato měření jsou porovnána se skutečnou zkouškou v TÚPO.

Tab. 2 Porovnání hodnot naměřených při reálné zkoušce s modelem v FDS

	$HRR_{MAX}$	čas $HRR_{MAX}$	$MLR_{MAX}$	čas $MLR_{MAX}$
	[kW]	[s]	[g/s]	[s]
<b>FDS č.1</b>	6,779	271	0,244	260
<b>FDS č.2</b>	6,525	274	0,242	278
<b>FDS č.3</b>	6,568	251	0,241	264
<b>FDS č.4</b>	6,493	241	0,241	262
<b>FDS č.5</b>	6,835	271	0,239	276
<b>průměr</b>	6,640	262	0,239	276
<b>TÚPO</b>	7,176	198	0,816	129

<sup>17</sup> Zelené tečky, na povrchu desky v Obr. 17 představují měřicí zařízení - radiometry. Nejedná se o žádné neshořelé zbytky PMMA desky.



Obr. 17 Postupné odhořívání PMMA desky v FDS (a) 0s; (b) 50s; (c) 100s; (d) 150s; (e) 200s; (f) 282s; (g) 284s; (h) 288s; (i) 293s; (j) 309s; (k) 318s; (l) 329s; (m) 346s; (n) 352s; (o) 382s; (p) 429s; (q) Teplotní stupnice

Měření v FDS získává v průměru nižší hodnoty než skutečné měření v kónickém kalorimetru. Měření získána z FDS mají mírnější postup, z důvodů, které byly uvedeny v předchozí kapitole (např. vzorek je v FDS zapálen bez jiskry). Nejvýraznější rozdíl je v MLR. Maximální hodnota této veličiny naměřená v FDS je 0,244 g/s v 260 s prvního měření. Maximální hodnota MLR skutečné zkoušky je 0,816 g/s ve 129 s. [26], [27]

## 5.2 Zkoušky OSB desek v FDS

V rámci této diplomové práce jsou odzkoušeny a popsány dva výrobky firmy Kronospan, jedná se o desky OSB Superfinish ECO a OSB Firestop. OSB desky a překližky jsou hlavní konstrukční kompozitní panely jak v obytných budovách, tak i v komerčních dřevěných konstrukcích. Stěny a přepážky jsou montovány pomocí šroubů z pevného řezaného dřeva. Desky se používají jako

konstrukční pláště. Použití kompozitů na bázi dřeva v nízkopodlažních rodinných domech se zvyšuje. V důsledku toho vzrůstá podíl na trhu s dřevařskými výrobky. Kvůli tomuto nárůstu je důležité zhodnotit požární odolnost a odolnost po vystavení vyšším teplotám. Protože OSB desky jsou tenčí než masivní dřevo, je pravděpodobné, že nebudou odolávat rychlému nárůstu teploty. Proto je zapotřebí studovat vliv zvýšené teploty na různé materiálové vlastnosti kompozitů na bázi dřeva, a naučit se předpovídat jejich chování.

OSB desky byly odzkoušeny v kónickém kalorimetru v TÚPO v prosinci 2017, jejich odzkoušení bylo součástí bezpečnostního výzkumu ministerstva vnitra ČR č. VII/VS/212: „Výzkum a vývoj ověřených modelů požáru a evakuace osob a jejich praktická aplikace při posuzování požární bezpečnosti staveb“. Výsledky tohoto měření jsou popsány v kapitole 5.3.1, kde jsou porovnány s výsledky získanými z programu FDS.

### 5.2.1 OSB desky

OSB desky (zkratka z anglického Oriented strand board) jsou desky z orientovaných velkoplošných třísek. Třísky mají ideální velikost  $75 \times 25 \times 0,6$  mm. Třísky jsou v povrchových vrstvách směřovány rovnoběžně s delší hranou desky, dle tohoto směru se určuje způsob montáže desky. Střední vrstva třísek je orientovaná kolmo k hlavní ose desky. Díky střídání směru třísek v jednotlivých vrstvách je dosaženo vysoké tuhosti a pevnosti ve směru delšího rozměru desky. Desky jsou mezi sebou spojeny lepidly jako je polyuretan nebo syntetická pryskyřice.

OSB desky jsou rozšířeným plošným stavebním materiálem na bázi dřeva. Jejich výhodou je absence vad dřeva jako jsou suky anebo praskliny. Desky jsou vyráběny z jehličnatého dřeva nejčastěji borovice. Tyto třísky jsou nejprve vysušeny a poté jsou zality pryskyřicemi. Jednotlivé vrstvy desky jsou lisovány za působení vysokých teplot a tlaků. Tímto způsobem jsou vrstvy mezi sebou propojeny a vytváří tak výslednou desku.

OSB desky jsou používány v dřevostavbách v sendvičových konstrukcích, kde prostor mezi dvěma deskami bývá vyplněn izolací nejlépe ze skelné nebo minerální vaty anebo z dřevité vlny. Někdy jsou OSB desky využívány jako designový prvek. Pak bývají zbroušeny a lakovány, a jsou používány jako obklady nebo povrchové vrstvy podlah.

Desky OSB Superfinish ECO jsou specifické nízkým obsahem formaldehydů, které jsou obsaženy pouze v přirozené míře v dřevěných třískách. Deska je zařazena do skupiny 3, tedy deska pro nosné účely pro použití ve vlhkém prostředí<sup>18</sup>. Z požárního hlediska je klasifikována třídou

---

<sup>18</sup> Evropská norma EN 300:2006 – Oriented strand boards (OSB) – Definitions, classification and specifications, dělí OSB desky do čtyř základních skupin:

- OSB/1 – Desky pro všeobecné účely a pro použití v interiéru v suchém prostředí
- OSB/2 – Desky pro nosné účely pro použití v suchém prostředí
- OSB/3 – Desky pro nosné účely pro použití ve vlhkém prostředí
- OSB/4 – Zvlášť zatížitelné nosné desky pro použití ve vlhkém prostředí.

reakce na oheň D-s2, d0 pro desky tloušťky 8–12 mm a D-s1, d0 pro desky tloušťky větší než 12 mm.

Deska OSB Superfinish ECO je základní deskou pro OSB Firestop. Základní deska OSB Firestop má na povrchu milimetrovou vrstvu Pyrotitu. Pyrotit je protipožární vrstva na bázi oxidu hořečnatého vyztužená mřížkou ze skelných vláken. Povrchová úprava zvyšuje pevnost desky v ohybu a smyku a je klasifikována třídou reakce na oheň B-s1,d0. [28], [29]

V této kapitole bude vytvořen model kónického kalorimetru pouze pro zkoušku OSB Superfinish ECO. Zkouška kónického kalorimetru pro OSB Firestop nebude modelována. Materiál je zde představen a bude modelován až ve zkoušce Room Corner Test v Kapitole 5

### 5.3 Zkouška desky OSB Superfinish ECO v FDS

Zkouška materiálu v FDS je popsána pomocí okrajových podmínek materiálu, prostředí a zkušební aparátu, stejně jako v kapitole 5.1. Pro získání odpovídajících výsledků byli vytvořeny dva modely zkoušky. V Příloze 2 a 3 jsou uvedeny zdrojové kódy použité pro modelaci OSB desky v kónickém kalorimetru. Tyto modely prokazují, že výsledky srovnatelné s reálnou zkouškou se dají namodelovat za použití rozdílných materiálových vlastností. Modely byli upraveny a opakovány, dokud nebyla získána nejvyšší shoda s reálnou zkouškou. V této kapitole budou popsány především rozdíly v zadání mezi těmito dvěma verzemi a modelem zkoušky PMMA.

V obou verzích je výpočetní čas nadhodnocen na  $T_{END} = 1500$  s, protože OSB deska se bude prohřívat pomaleji než deska z PMMA. Změnila se i velikost výpočetní sítě. První verze pro urychlení výpočtu zmenšila výpočetní oblast a zahrnuje pouze zkoušený vzorek a kónický zářič. Druhá verze nechala oblast výpočtu stejnou. Buňky obou verzí jsou rozděleny do dvou sítí a v hrubší síti mají velikost  $10 \times 10 \times 10$  mm a v jemnější síti (ve spodní části)  $10 \times 10 \times 5$  mm. Celkový počet buněk je pro první verzi 7 168 a pro druhou 17408.

V první verzi má OSB deska rozměry  $100 \times 100 \times 15$  mm a nachází v jemnější síti, která má z- velikost 5 mm. Proto se musí upravit zadání materiálových vlastností do FDS tak, aby se v jednotlivých vrstvách mohla deska prohřívat. Materiálové vlastnosti jsou uvedeny v Tab. 3. Měrná tepelná kapacita a součinitel tepelné vodivosti jsou zadány proměnlivé v čase příkazem RAMP. Tento příkaz přiřadí k dané teplotě  $T$  hodnotu velikosti příslušné veličiny  $F$ . To zajistí že se vzorek ohřívá postupně po jednotlivých vrstvách. Na Obr. 1 Obr. 18 je graf zobrazující zadaný průběh měrné tepelné kapacity a na Obr. 19 je zobrazen zadaný průběh součinitele tepelné vodivosti. Některé její materiálové vlastnosti jsou pro zjednodušení uvažovány, jako by se jednalo o desku z borovicového dřeva.



Tab. 3 Materiálové vlastnosti desky OSB Superfinish ECO – zadání 1. verze

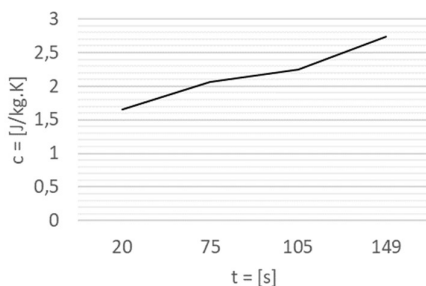
<i>DENSITY</i>	<i>Hustota</i>	600	kg/m <sup>3</sup>
<i>SPECIFIC HEAT RAMP</i>	<i>Měrná tepelná kapacita</i>	<i>c ramp</i>	J/kg·K
<i>CONDUCTIVITY RAMP</i>	<i>Součinitel tepelné vodivosti</i>	<i>k ramp</i>	W/m·K
<i>N_REACTIONS</i>	<i>Počet reakcí probíhajících při hoření</i>	1	-
<i>NU_SPEC(1,1)</i>	<i>Produkce plynu ze vzorku</i>	0,75	-
<i>MATL_ID(1,1)</i>		CHAR	
<i>NU_MATL(1,1)</i>		0,25	
<i>REFERENCE_RATE(1)</i>	<i>Rychlost (míra) reakce</i>	0,003560667	-
<i>HEATING_RATE(1)</i>	<i>Rychlost (míra) ohřívání</i>	5,0	K/s
<i>HEAT_OF_COMBUSTION</i>	<i>Energie uvolněná na jednotku paliva</i>	14500	kJ/kg
<i>HEAT_OF_REACTION</i>	<i>Energie spotřebovaná na jednotku hmotnosti reaktantu</i>	1047	kJ/kg
<i>A</i>	<i>Pre-exponenciální faktor</i>	2,38E06	-
<i>E</i>	<i>Aktivační energie</i>	1,05E05	kJ/kmol

Zkušební vzorek má u druhé verze stejné rozměry a i umístění. Některé materiálové vlastnosti jsou však zadány odlišně. Měrná tepelná kapacita, součinitel tepelné vodivosti a hustota jsou zadány podle údajů z katalogových listů firmy Kronospan [29].

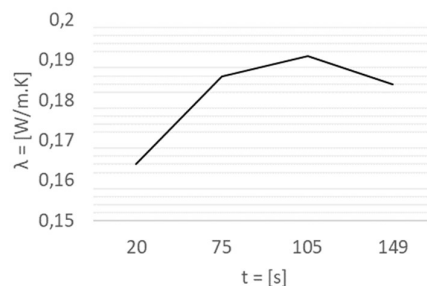
Tab. 4 Materiálové vlastnosti desky OSB Superfinish ECO – zadání 2. verze

<i>DENSITY</i>	<i>Hustota</i>	600	kg/m <sup>3</sup>
<i>SPECIFIC HEAT</i>	<i>Měrná tepelná kapacita</i>	0,98	J/kg·K
<i>CONDUCTIVITY</i>	<i>Součinitel tepelné vodivosti</i>	1,22	W/m·K
<i>N_REACTIONS</i>	<i>Počet reakcí probíhajících při hoření</i>	1	-
<i>NU_SPEC(1,1)</i>	<i>Produkce plynu ze vzorku</i>	0,82	-
<i>MATL_ID(1,1)</i>		CHAR	
<i>NU_MATL(1,1)</i>		0,18	
<i>HEAT_OF_COMBUSTION</i>	<i>Energie uvolněná na jednotku paliva</i>	14500	kJ/kg
<i>HEAT_OF_REACTION</i>	<i>Energie spotřebovaná na jednotku hmotnosti reaktantu</i>	1047	kJ/kg
<i>REFERENCE_TEMPERATURE(1)</i>	<i>Teplota, při které se pevná látka mění na plyn</i>	306,59	°C
<i>PYROLYSIS_RANGE</i>	<i>Rozsah teplot během pyrolýzy</i>	100	
<i>EMISSIVITY</i>	<i>Emisivita</i>	0,9	

Reaktivní složkou je při hoření OSB nebo při hoření dřeva pyrolyzát (REAC ID = PYROLYZATE), který je zadán pouze poměrem C-H-O a spaliny, vznikajícími při hoření. Při hoření ve vzorku probíhá reakce  $N\_REACTION = 1$ . Tato reakce je rozdělena na dvě části. V první verzi se při hoření 75 % materiálu přetvoří na plyn, zbylých 25 % se přetvoří na pevný zbytek příkazem  $MATL\_ID = 'CHAR'$ . V druhé verzi je poměr 82 % plynu ku 18 % pevného zbytku.



Obr. 18 Měrná tepelná kapacita



Obr. 19 Součinitel tepelné vodivosti

Nejzásadnější rozdíl v materiálových vlastnostech je v použití kinetických konstant v první verzi výpočtu. Aktivační energie (E) a pre-exponenciální faktor (A), jsou veličiny získané z termogravimetrické analýzy. Jejich hodnoty nejsou u většiny materiálů známe, a proto se většinou nahrazují jinými materiálovými vlastnostmi jako jsou např. reakční teplo, rychlost reakce a referenční teplota. Namísto použití konstant aktivační energie a pre-exponenciálního faktoru se v druhé verzi použije příkaz REFERENCE\_TEMPERATURE, který představuje teplotu při maximální rychlosti úbytku hmotnosti. Tento příkaz se doplní příkazem PYROLYSIS\_RANGE, který představuje rozsah teplot v průběhu pyrolýzy. Velikost těchto hodnot byla převzata z diplomové práce Jana Mandince [24]. Hodnoty materiálových vlastností jsou uvedeny v Tab. 4. Zkušební vzorek má u druhé verze stejné rozměry a i umístění. Některé materiálové vlastnosti jsou však zadány odlišně. Měrná tepelná kapacita, součinitel tepelné vodivosti a hustota jsou zadány podle údajů z katalogových listů firmy Kronospan [29].

Tab. 4 Kónický zářič je geometricky i technicky stejný jako v příkladu modelové zkoušky PMMA. V kapitole 5.1 jsou také uvedeny důvody, proč se musí teplota zářiče upravovat. Rozdíl, mezi zkouškami desky PMMA a OSB desky, je při modelování kónického zářiče v teplotě přiřazené vnitřnímu povrchu zářiče. První verze přiřazuje TMP\_FRONT rovno 1050 °C spolu se 70 % emisivitou, což je ideální poměr pro prohřátí desky. Nižší teploty nedokázali vytvořit podmínky pro hoření takové, aby výsledky odpovídali skutečným zkouškám. Druhá verze je stejná jako při zkoušce PMMA. TMP\_FRONT je rovno 700 °C a emisivita je 70 %.

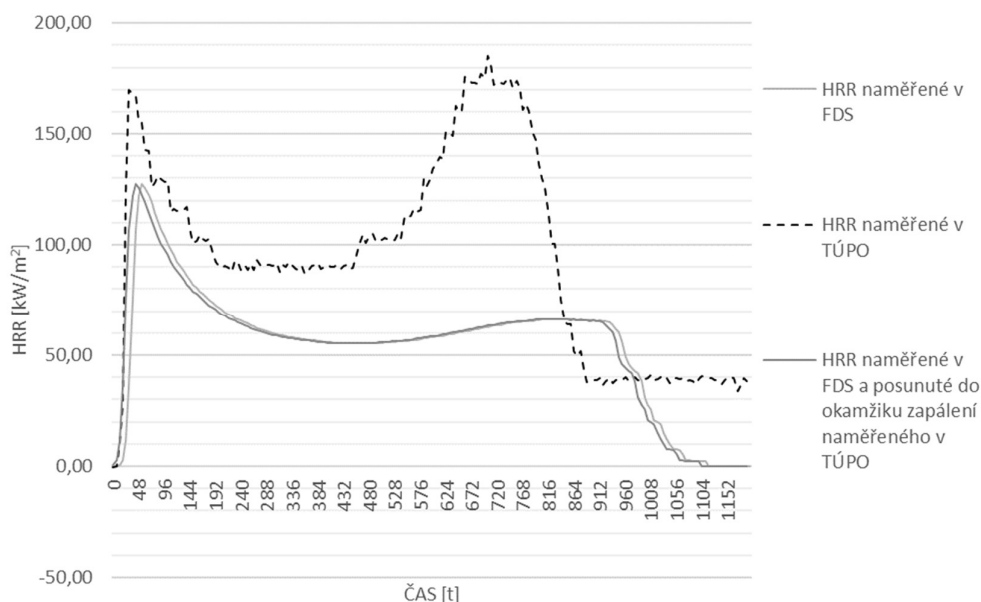
Umístění a význam měřících zařízení, jako jsou termočlánky a radiometry, je při zkoušce OSB desky stejné jako v modelu desky PMMA. Liší se pouze z-tové souřadnici, tak aby měřící zařízení byla v přímém kontaktu s povrchem modelované desky. [13], [22], [30],

### 5.3.1 Výsledky měření a porovnání

Dva výsledné modely zkoušky OSB desky v kónickém kalorimetru vytvořené v programu FDS jsou porovnány s reálnou zkouškou, která proběhla v TÚPO. Sledovanou veličinou je rychlost uvolňování tepla. OSB deska by měla dosáhnout dvou vrcholů hoření. Průběh HRR je zaznamenán v grafech na Obr. 20, Obr. 21 a Obr. 22.

Obě dvě modelové varianty nedosahují maximálních hodnot reálné zkoušky. To je způsobeno rozdíly v prostředí a podmínkách mezi zkouškou skutečnou a FDS modely. V reálné

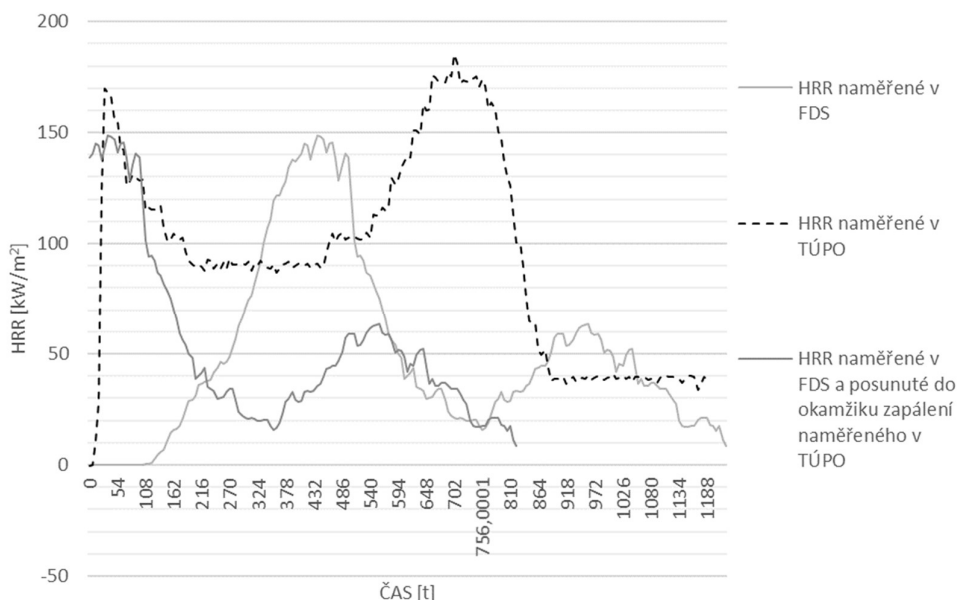
zkoušce je vzorek zapálen jiskrou, která zažehne hořlavé plyny vznikající při zahřívání desky kónickým zářičem. Hodnoty HRR jsou převedeny na  $\text{kW/m}^2$ . Proto vzorek vzplane a rychle narůstá a již v 31 s dosáhne prvního vrcholu o velikosti  $\text{HRR}_{\text{MAX},1,\text{s}} = 172,576 \text{ kW/m}^2$ . OSB deska hoří a ubývá postupně od středu směrem do krajů. První model má rychlý nárůst hodnot a svého prvního vrcholu  $\text{HRR}_{\text{MAX},1,1} = 127,307 \text{ kW/m}^2$  dosáhne již v 54 s. Časový posun je v tomto modelu minimální, průběh křivky je hladký, ale výsledná maximální hodnota je nižší. Druhý model má pozvolnější nárůst a jeho křivka je neuhlazená. Prvního vrcholu  $\text{HRR}_{\text{MAX},1,1} = 148,603 \text{ kW/m}^2$  dosáhne až v 438 s. Deska se v tomto modelu prohřívá pomaleji a teplo se z desky začne uvolňovat až po cca 110 s. Výsledné hodnoty HRR jsou však vyšší.



Obr. 20 Rychlost uvolňování tepla na měřená v TÚPO a porovnána s měřením v FDS – Verze 1

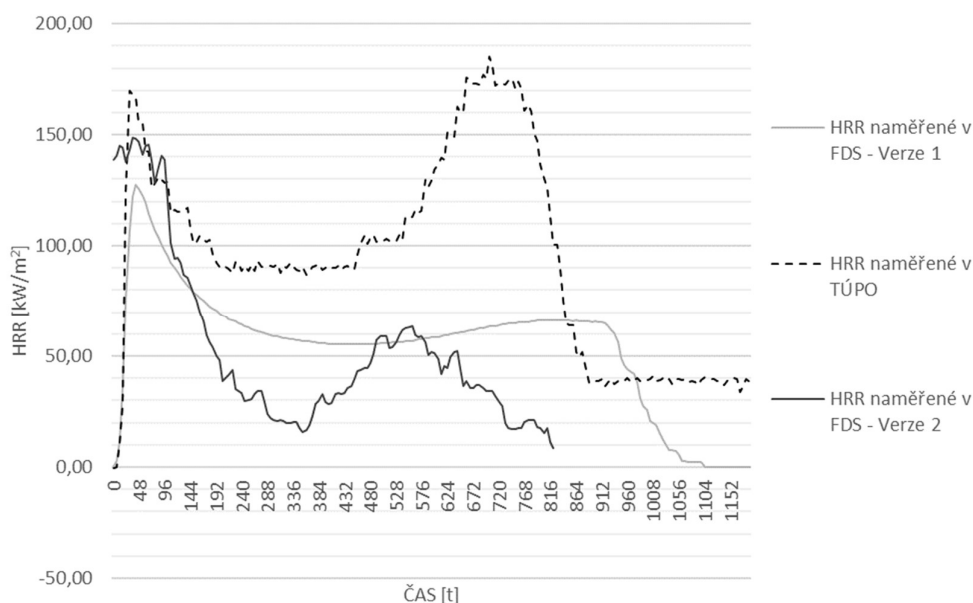
Po dosažení prvního vrcholu dochází ke snižování hodnot HRR. V reálné zkoušce se hodnota ustálí ve 186 s na přibližně  $90 \text{ kW/m}^2$  a po dalších 270 s začne znovu postupně narůstat až dosáhne svého druhého vrcholu. OSB deska v ustálené fázi hoří po stranách a v rozích. Tento jev v reálné zkoušce podporuje nárůst druhého vrcholu, protože hoří souměrně celý povrch desky. Druhý vrchol nastává v 702 s má hodnotu  $184,965 \text{ kW/m}^2$ .

V modelech dochází k postupnému ohřívání a zapalování jednotlivých buněk. Povrch desky hoří nesouměrně. To způsobuje ustálenost, nízké hodnoty a pomalý nárůst HRR. První model snižuje HRR až do 348 s, kdy se ustálí na cca  $57 \text{ kW/m}^2$  po dobu 210 s. Druhý vrchol nastává v 858 s dosahuje hodnoty pouze  $66,313 \text{ kW/m}^2$ . Druhý model nemá ustálený průběh a jeho hodnota klesá až 756 s kdy dosáhne svého nejnižšího bodu hodnotou  $15,596 \text{ kW/m}^2$ . Nárůst hodnot HRR směrem k druhému vrcholu je pozvolný a je ho dosaženo v 960 s hodnotou  $63,452 \text{ kW/m}^2$ . Shrnutí maximálních naměřených hodnot je v Tab. 5.



Obr. 21 Rychlost uvolňování tepla na měřená v TÚPO a porovnána s měřením v FDS – Verze 2

Důležitý je průběh křivky grafu. Oba modely mají podobný průběh křivky jako v reálné zkoušce (viz Obr. 22). V reálné zkoušce kónického kalorimetru dochází k odhořívání od středu směrem do stran a rohů souměrně a stejnou rychlostí. A v prvním vrcholu hoření dochází k degradaci středu desky. Tento předpoklad splňují oba modely. Na Obr. 23 jsou dvě fotografie toho, jak vzorek OSB desky vypadal před zapálením a jak vypadá po ukončení zkoušky. [24]



Obr. 22 Porovnání dvou verzí výpočtu FDS se zkouškou měřenou v TÚPO

Tab. 5 Porovnání naměřených hodnot HRR reálné zkoušky s modely FDS

	<i>První vrchol</i>		<i>Druhý vrchol</i>	
	<i>HRR<sub>MAX</sub></i>	<i>Čas HRR<sub>MAX</sub></i>	<i>HRR<sub>MAX</sub></i>	<i>Čas HRR<sub>MAX</sub></i>
	<i>[kW/m<sup>2</sup>]</i>	<i>[s]</i>	<i>[kW/m<sup>2</sup>]</i>	<i>[s]</i>
<b>1. verze FDS</b>	127,307	54	66,313	858
<b>2. verze FDS</b>	148,603	438	63,452	960
<b>TÚPO</b>	172,576	31	184,965	702



(a)



(b)

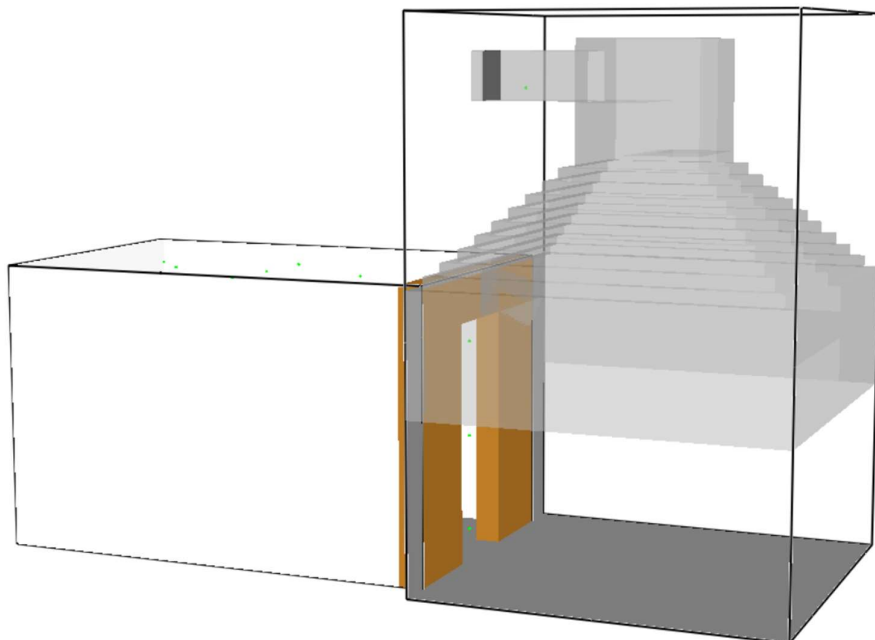
Obr. 23 Deska OSB Superfinish ECO: (a) Vzorek vyfoceny před zkouškou; (b) Vzorek vyfoceny po spálení v kónickém kalorimetru.

Pro určení, který model je vhodnější k modelaci je důležité posoudit více faktorů. Z Obr. 22 vyplývá, že první model má průběh křivky více podobný reálné zkoušce. Křivka je hladší ale nedosahuje stejně vysokých hodnot. Navíc doba výpočtu je 144 hodin. Naopak druhý model má křivku pozvolnější a méně uhlazenou, ale hodnoty HRR jsou bližší skutečnosti. Doba výpočtu je v tohoto modelu je 96 hodin. Poté už záleží jen na uživateli, který musí uvážit co je pro něj důležitější. Pokud chce model spočítat co nejrychleji a klade důležitost spíše na vyšší hodnoty HRR je pro něj vhodnější druhý model. Pokud, ale očekává data přesného průběhu a nezáleží mu na výpočetním čase, je vhodný model první.

## 6 Analýza požární zkoušky Room Corner Test

Druhým cílem této práce bylo namodelovat Room Corner Test (dále RCT) v programu FDS a validovat ho tak, aby výsledky odpovídaly skutečné zkoušce. Dne 14. prosince 2017 se v Univerzitním centru efektivních budov ČVUT v Praze konala požární zkouška Room Corner Test (dále RCT). Tato zkouška byla první velkorozměrovou zkouškou, která se v této zkušební laboratoři konala. Zkušební místnost měla stěny obložené deskami OSB Firestop a strop bez obložení. Druhá požární zkouška RCT s obklady z OSB Superfinish ECO se měla konat o týden později, ale nakonec byla tato zkouška zrušena.

V programu FDS byly vytvořeny 4 modely zkoušky RCT. První zkouška modeluje obklady z OSB Superfinish ECO, který je popsán pomocí HRR naměřeného v horizontální pozici v TÚPO MV ČR. HRR, podle kterého je tato zkouška modelována, je stejné jako to, co bylo použito k porovnání výsledků z měření modelu OSB Superfinish ECO v kónickém kalorimetru v kapitole 5.3.1. Druhá zkouška také modeluje obklad z OSB Superfinish ECO, ale obklad je popsán pouze svými materiálovými vlastnostmi. Materiálové vlastnosti jsou zadány stejně jako u první verze zkoušky kónického kalorimetru desky OSB Superfinish ECO v kapitole 5.3.1. Třetí zkouška modeluje OSB Firestop, kde jsou obklady zadány pomocí HRR naměřeného v horizontální pozici v TÚPO MV ČR. Čtvrtá zkouška modeluje OSB Firestop, kde jsou obklady zadány pomocí HRR naměřeného ve vertikální pozici v TÚPO MV ČR. Model zkušebny RCT je na Obr. 24.



Obr. 24 Zkušební místnost Room Corner Test namodelovaná v FDS

## 6.1 Room Corner Test s obkladem z OSB Firestop

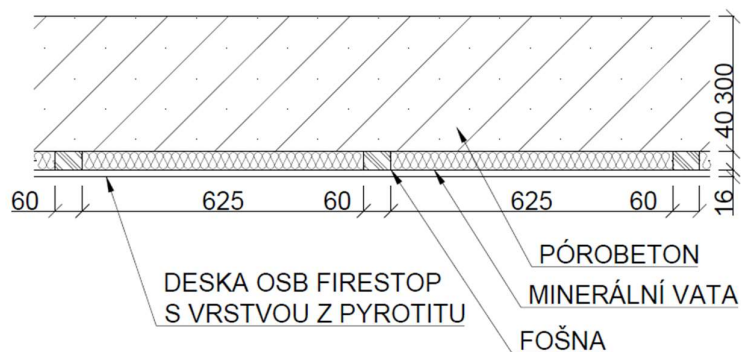
Tato kapitola se zabývá velkorozměrovou požární zkouškou Room Corner Test. V rámci diplomové práce byla provedena reálná zkouška, která proběhla v požární laboratoři v UCEEB, pod vedením Ing. Marka Pokorného, Ph.D. Výsledky získané z této zkoušky budou porovnány s výsledky modelů vytvořených v FDS.

Pro tuto práci byly vytvořeny dva modely RCT s obklady z desek OSB Firestop. Obklady jsou popsány pomocí HRR, které byly naměřeny při zkoušce v kónickém kalorimetru v TÚPO. Měření v kónickém kalorimetru proběhlo ve dvou pozicích umístění vzorku. Nejdříve v horizontální pozici, která je používána ve zkušebnictví nejčastěji, a poté ve vertikální pozici. Bude se zjišťovat, jak dvě zadání HRR ovlivní výsledky modelu, tak aby byly podobny skutečné zkoušce.

### 6.1.1 Průběh reálné zkoušky

Příprava na zkoušku trvaly několik týdnů, protože se požární laboratoř potýkala s řadou problémů. Propanový hořák nereagoval na příkazy a spouštěl se dříve, než mu program určil. Poté přestaly fungovat měřicí zařízení v odtahovém potrubí. A proto se zkouška musela několikrát odložit.

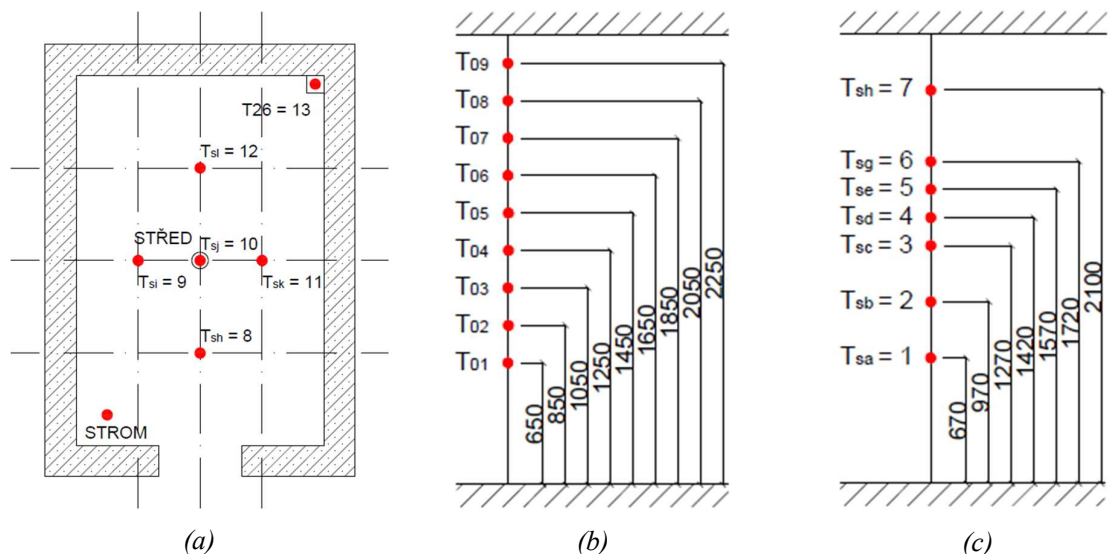
Příprava zkoušky byla následovná. Nejprve byly rozmístěny fošny, které se připevnili svísele k obvodovým stěnám. Mezi každé dvě fošny se vložila izolace z minerální vaty tl. 40 mm. Na fošny byly přišroubovány OSB desky. Konečnou úpravou bylo nanesení dvou vrstev protipožárního akrylového tmelu. Základního „basic“ tmelu, který je po nejméně 24 hodinovém vysychání doplněn i vrchní „finish“ vrstvou. Oba tmely jsou primárně určeny pro zacelení spár, vrchní tmel se navíc dá použít pro úpravy nerovností ploch, případně i pro celoplošné přetmelení. Na Obr. 25 je schematicky zakreslen řez stěnou.



Obr. 25 Schématické zakreslení horizontálního řezu stěnou

Zkouška proběhla dle standardu a požadavků zkušebních norem ISO 9705-1:2016 [10] a ISO 9705-2:2001 [32]. Rozmístění měřicích zařízení (termočlánků a radiometru) odpovídá Obr. 26. Zkouška začala v čase  $t = -145$  s, kdy se spustil odtah spalin. Větrák byl nastaven na 50 % výkon a po uplynutí 35 s v čase  $t = -120$  s bylo zapnuto nahrávání kamery. V čase  $t = 0$  s byl zadán

příkaz ke spuštění hořáku, ale zapálení se zpozdilo o 12 s. Hořák byl na prvních 600 s nastaven na výkon 100kW. Po uplynutí této doby byl programem navýšen na 300 kW, a zároveň se výkon větráku navýšil na 80 %. Takto zkouška pokračovala dalších 600 s. V čase  $t = 1200$  s byl hořák vypnut. Záznam pokračoval dalších 600 s až v čase  $t = 1800$  s byl ukončen.



Obr. 26 Rozmístění termočlánků: (a) na stropě; (b) na stromě uprostřed zkušební místnosti; (c) na stromě v rohu zkušební místnosti

Data naměřená v této zkoušce jsou ovlivněna nedostatečným výkonem hořáku a jeho zpožděním. Ten nedokázal navýšit na 300 kW a jeho výkon kolísal okolo 230 kW. Důvodem pravděpodobně bylo, že tlaková lahev nebyla naplněna čistým propanem, ale propan-butanem. Výsledky proto nedosahují takových hodnot, jakých bylo očekáváno.

Fotografie z montáže obkladů a zkušební místnosti po proběhnutí zkoušky jsou v Příloze 8.

### 6.1.2 Zadání modelů zkoušky Room Corner Test

Model zkušební místnosti je vytvořen tak, aby co nejvíce odpovídal skutečnosti. Rozměry místnosti jsou stejné jako v ISO 9705-1 [10], tedy ( $v \times \text{š} \times d$ )  $2,4 \times 2,4 \times 3,6$  m. Otvor v přední stěně je velikosti  $0,8 \times 2,0$  m. V místnosti nacházející se před zkušební místností je přímo nad dveřním otvorem umístěna, po celé šířce místnosti, odtahová digestoř. Tato digestoř má ve svém středu otvor, kudy budou odcházet produkty hoření při zkoušce. Při skutečné zkoušce má digestoř spuštěný odtahový ventilátor, který spaliny nasává. Model nedokáže vytvořit nasávání, a proto spaliny odcházejí samovolně. Absence ventilátoru způsobuje kumulaci spalin a tepla v místnosti, což ovlivní výsledky.

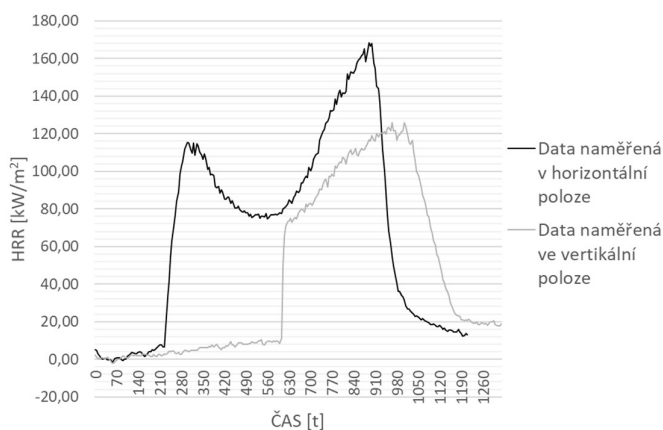
Výpočetní oblast obou modelů se skládá z dvanácti sítí. Jednotlivé sítě se mohou počítat samostatně, proto byl zvolen větší počet sítí, což urychlilo dobu výpočtu. Všechny výpočetní sítě mají stejnou hrubost  $10 \times 10 \times 10$  mm. Celkový počet buněk je 62 388.



Doba výpočtu je nastavena na 1800 s. To je doba, kterou určuje ISO 9705-1 jako standardní dobu zkoušky RCT.

Obvodové stěny zkušební místnosti jsou z pórobetonu. Tři stěny (ty, které jsou obloženy OSB deskami) jsou zadány příkazem VENT. Tento příkaz popisuje specifické vlastnosti roviny nebo v tomto případě hranice výpočetní oblasti. Stěna mezi zkušební místností a místností s digestoří je definována příkazem OBST. Stejným příkazem je definován i kónus digestoře.

Jak již bylo řečeno, obkladům z OSB desek je přiřazeno HRR, které bylo naměřeno v TÚPO. Průběhy obou HRR měřených v kónickém kalorimetru jsou na Obr. 27. Ve zdrojovém souboru je HRR zadáno povrchu OSB desky příkazem HRRPUA, který vytvoří hořící plochu, na které probíhá definovaná reakce. HRRPUA je maximální hodnotou HRR přepočtenou na  $m^2$ . V tomto případě je HRR poděleno plochou desky zkoušené v FDS tedy  $0,1 \times 0,1$  m. Příkaz RAMP\_Q zajistí časovou závislost HRRPUA. Příkaz RAMP popíše křivku průběhu HRR zadáním času T, který je konkrétním bodem, jemuž je přiřazen výkon. Mezi těmito body je výkon propojen přímkou a každá změna v průběhu musí být zapsána na samostatném řádku. Ke každému časovému bodu T je přiřazen poměr F. F je poměr mezi nastavenou a maximální hodnotou výkonu, kterou představuje HRRPUA zapsaná v příkazu SURF. Vytvořené modely se liší pouze zadáním HRRPUA a RAMP. V horizontální pozici je HRRPUA rovno  $16849,2$   $kW/m^2$  a ve vertikální  $12594,4$   $kW/m^2$ . [13]



Obr. 27 HRR naměřené v kónickém kalorimetru v TÚPO ve dvou polohách

HRR je při výpočtu nadřazená materiálovým vlastnostem jednotlivých částí obkladu, protože HRRPUA je přiřazeno povrchu. Proto nebylo nutné podrobně materiály popisovat. Materiál obkladu (MATL) je zadán pouze součinitelem tepelné vodivosti, měrnou tepelnou kapacitou, hustotou a teplotou spalování. Hodnoty jsou v Tab. 6. Měrná tepelná kapacita a součinitel tepelné vodivosti OSB desky jsou zadány jako funkce, stejně jako v kapitole 5.3 v prvním modelu OSB desky.

Reaktivní složkou je u obkladů z OSB desek PYROLYZATE, který je popsán, stejně jako v modelu kónického kalorimetru při první verzi zkoušky OSB Superfinish ECO, poměrem C-H-O a spalin.

Tab. 6 Materiálové vlastnosti jednotlivých částí obkladu

*OSB*

<i>DENSITY</i>	<i>Hustota</i>	600	$\text{kg/m}^3$
<i>SPECIFIC HEAT RAMP</i>	<i>Měrná tepelná kapacita</i>	<i>c ramp</i>	$\text{J/kg}\cdot\text{K}$
<i>CONDUCTIVITY RAMP</i>	<i>Součinitel tepelné vodivosti</i>	<i>k ramp</i>	$\text{W/m}\cdot\text{K}$
<i>HEAT_OF:COMBUSTION</i>	<i>Energie uvolněná na jednotku paliva</i>	14500	$\text{kJ/kg}$

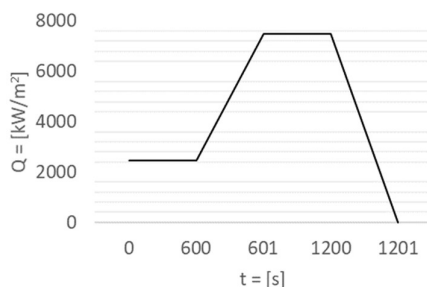
*Lat'*

<i>DENSITY</i>	<i>Hustota</i>	600	$\text{kg/m}^3$
<i>SPECIFIC HEAT</i>	<i>Měrná tepelná kapacita</i>	2,51	$\text{J/kg}\cdot\text{K}$
<i>CONDUCTIVITY</i>	<i>Součinitel tepelné vodivosti</i>	0,22	$\text{W/m}\cdot\text{K}$
<i>HEAT_OF:COMBUSTION</i>	<i>Energie uvolněná na jednotku paliva</i>	14500	$\text{kJ/kg}$

*Izolace*

<i>DENSITY</i>	<i>Hustota</i>	350	$\text{kg/m}^3$
<i>SPECIFIC HEAT</i>	<i>Měrná tepelná kapacita</i>	1,15	$\text{J/kg}\cdot\text{K}$
<i>CONDUCTIVITY</i>	<i>Součinitel tepelné vodivosti</i>	0,22	$\text{W/m}\cdot\text{K}$

Hořáku umístěnému v rohu místnosti je přiřazen výkon RAMP\_Q. HRRPUA hořáku má hodnotu  $7500 \text{ kW/m}^2$ . Průběh výkonu je na Obr. 28.



Obr. 28 Průběh HRR hořáku

Měřicí zařízení (DEVC): termočlánky (THERMOCOUPLE), radiometry (RADIOMETER a RADIATIVE HEAT FLUX GAS), měřiče rychlosti proudění plynu (VELOCITY), viditelnosti (VISIBILITY), objemu  $\text{CO}_2$  (MASS FRACTION) a výšky kouřové vrstvy (LAYER HEIGHT), jsou umístěny ve stejných pozicích jako při skutečné zkoušce. Měření jsou zaznamenána a v programu Smokeview vykreslena díky příkazům BNDF QUANTITY a SLCF QUANTITY, tak jako v případě modelů kónického kalorimetru.

### 6.1.3 Porovnání modelu RCT s reálnou zkouškou

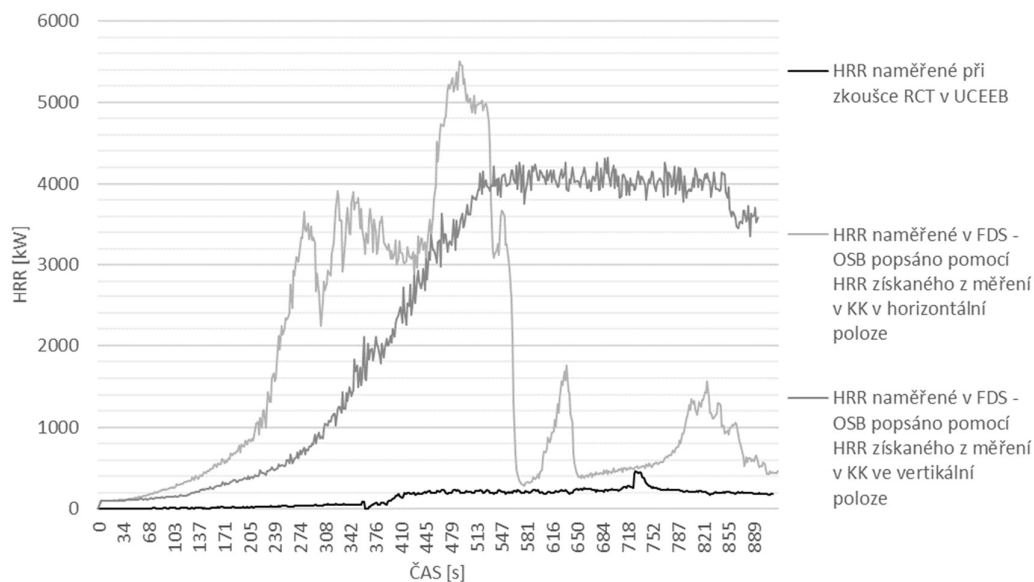
Modely RCT byly upraveny, aby výsledky byly podobny měření v UCEEB. V grafu na Obr. 29 je zakreslen průběh HRR naměřeného v UCEEB. V čase 0 s byl spuštěn hořák v rohu místnosti s výkonem  $100 \text{ kW}$ . Obklady se postupně prohřívají a kouř se začal hromadit pod stropem. až v čase  $t = 300 \text{ s}$  poklesla kouřová vrstva o  $1,5 \text{ m}$ . Po dalších  $80 \text{ s}$  se začali postupně odlupovat

malé kousky nátěru, což vedlo k rozhoření povrchu OSB desky a postupně k odpadávání větších kusů omítky. Jako největší slabinou obkladů se staly spáry mezi jednotlivými deskami, které při svém porušení rychle rozšířily požár po výšce desek a zároveň zapříčinily přístup tepla a plamenů k nosné konstrukci obkladů. Díky tomu začala prudce stoupat teplota v místnosti a postupně se rozhořivali i vzdálenější části místnosti. U skutečné zkoušky maximální naměřená hodnota HRR nastala v 1216 s a byla rovna 458,27 kW.



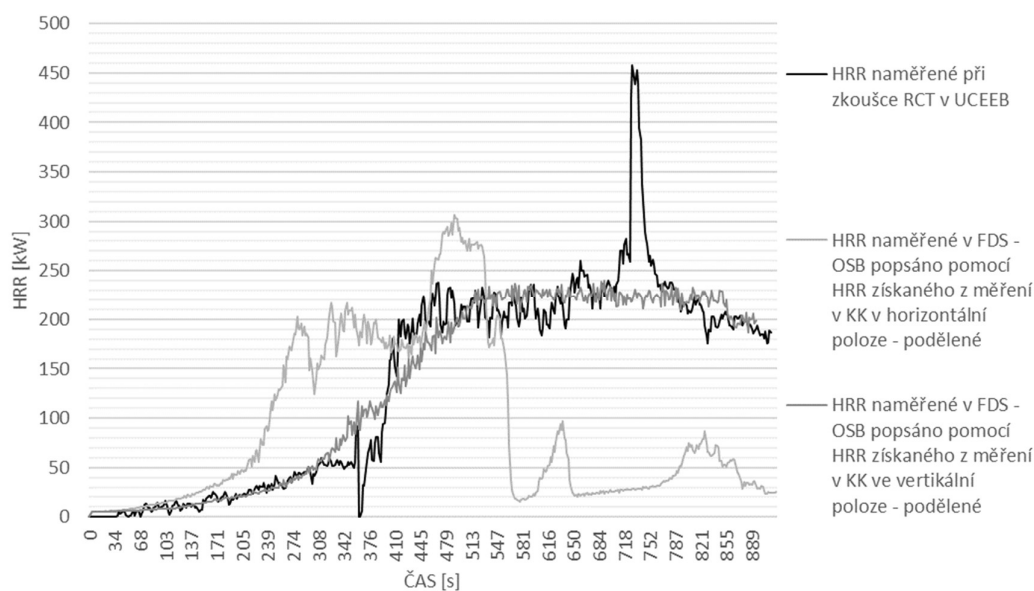
Obr. 29 HRR naměřené v UCEEB

Výsledky FDS modelů jsou oproti skutečné zkoušce mnohonásobně větší a nárůst HRR je i prudší. První model dosahuje maxima v 490 s a HRR je roven 5511 kW. Druhý model dosahuje maxima v 691 s a HRR je rovno 4324 kW. Průběhy modelů s porovnáním se skutečnou zkouškou jsou na Obr. 30. První model, s obkladem popsaným křivkou HRR z horizontálního měření, má prudší nárůst křivky a mnohem rychleji hoří. Po dosažení maximálního HRR navíc dochází k prudkému snížení hodnot, které je v čase 578 s nejnižší s hodnotou 280,109 kW. Podle předpokladů je druhý model, s obkladem popsaným křivkou HRR z vertikálního měření, přesnější. Průběh nárůstu křivky je pozvolnější a tvarem kopíruje skutečnou zkoušku. Po 500 s od zapálení se HRR ustálí na cca 4000 kW. Výpočet obou modelů byl předčasně ukončen, ale dá se předpokládat, že druhý model by i nadále kopíroval křivku reálné zkoušky.[36]



Obr. 30 HRR naměřené ve dvou modelech a porovnané se skutečnou zkouškou měřenou v UCEEB

Pro lepší porovnání průběhu zkoušek jsem podělila hodnoty HRR modelových zkoušek. Po podělení osmnácti se křivka HRR skutečné zkoušky překryla křivkami modelových zkoušek. Z Obr. 31 je patrné, že druhý model mnohem více odpovídá skutečné zkoušce než model první. Liší se pouze vrcholem, který nastal u skutečné zkoušky a byl způsoben odpadnutím části obkladu. FDS model uvažoval obklad jako celiství, proto nemohlo dojít k prohoření spár. Dále je důležité upozornit na to, že průběh modelové zkoušky je o zhruba polovinu rychlejší než u skutečné zkoušky.



Obr. 31 HRR podělené osmnácti naměřených modelů a porovnané s výsledky skutečné zkoušky

V Tab. 1 jsou uvedeny maximální dosažené hodnoty modelů a reálné zkoušky. Také jsou zde uvedeny výsledky modelů podělených osmnácti.

Tab. 7 Porovnání maximálních hodnot HRR reálné zkoušky a modelu RCT

	<i>Skutečné výsledky</i>		<i>Podělené výsledky</i>	
	<i>HRR<sub>MAX</sub></i>	<i>Čas HRR<sub>MAX</sub></i>	<i>HRR<sub>MAX</sub></i>	<i>Čas HRR<sub>MAX</sub></i>
	<i>[kW/m<sup>2</sup>]</i>	<i>[s]</i>	<i>[kW/m<sup>2</sup>]</i>	<i>[s]</i>
<b>1. verze FDS - H</b>	5510,713	490	306,151	490
<b>2. verze FDS - V</b>	4324,011	691	240,223	691
<b>UCEEB</b>	458,27	1216	458,27	1216

## 6.2 Room Corner Test s obkladem z OSB Superfinish ECO

Velkorozměrová požární zkouška RCT s obklady z desek OSB Superfinish ECO nebyla uskutečněna k datu odevzdání této diplomové práce, proto jsou v této kapitole porovnávány pouze dva modely z programu FDS mezi sebou. Výsledné HRR získané z těchto modelů bude srovnáno výsledky z reálné zkoušky měření v kónickém kalorimetru.

První model RCT s obkladem z desek OSB Superfinish ECO, přiřazuje obkladům HRR, která byla naměřena v kónickém kalorimetru v horizontální pozici. Model s nastavením HRR z měření ve vertikální poloze nebyl vytvořen, protože zkouška desky v této pozici neproběhla k datu odevzdání této diplomové práce. Druhý model má obklady z OSB desek popsány pouze materiálovými vlastnostmi.

### 6.2.1 Zadání modelů zkoušky Room Corner Test

Oba modely RCT mají stejné rozměry zkušební místnosti a umístění měřicích zařízení jako v kapitole 6.1. Stejně jsou i výpočtové oblasti, hrubost a počet sítí. Liší se pouze obkladovým materiálem, který je z OSB Superfinish ECO.

První model, který obklady popisuje pomocí HRR, se liší pouze v zadání HRR. Příkaz HRRPUA společně s RAMP\_Q popisuje křivku grafu, která byla naměřena v TÚPO, a která je v kapitole 5.3.1 použita pro srovnání s modelem zkoušky OSB desky v kónickém kalorimetru. HRRPUA je rovna 1725,76 kW/m<sup>2</sup>.

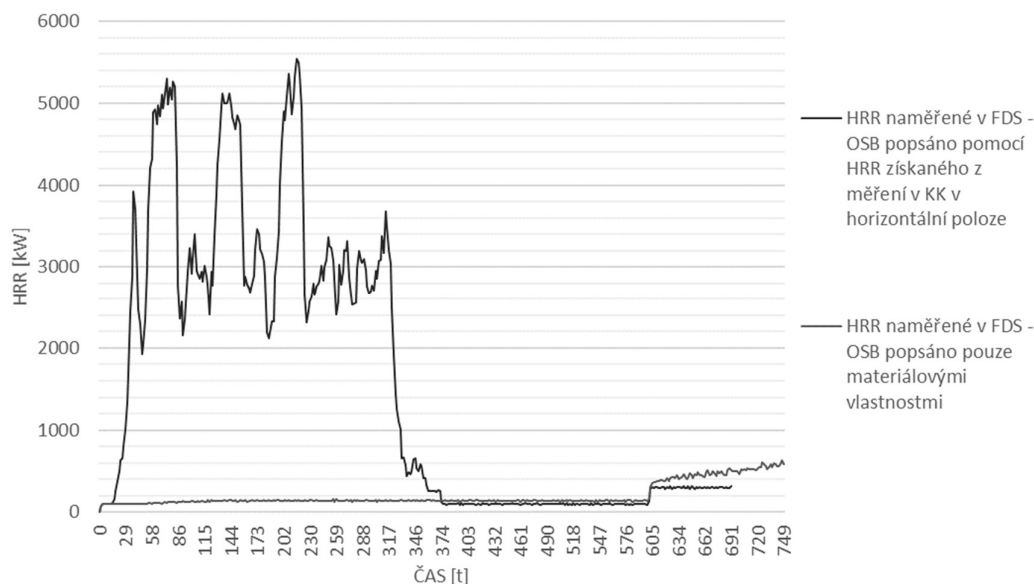
Obklady v druhém modelu jsou popsány stejnými materiálovými vlastnostmi jako v první verzi kónického kalorimetru v kapitole 5.3. Tab. 3. Tento model RCT zohledňuje ve výpočtu HRR všechny materiály, ze kterých se skládá obklad. Proto, je důležité mít popsány materiálové vlastnosti dřevěných latí (Tab. 8) a izolace (Tab. 6).

Tab. 8 Materiálové vlastnosti dřevěných latí

<i>DENSITY</i>	<i>Hustota</i>	600	kg/m <sup>3</sup>
<i>SPECIFIC HEAT</i>	<i>Měrná tepelná kapacita</i>	2,51	J/kg·K
<i>CONDUCTIVITYP</i>	<i>Součinitel tepelné vodivosti</i>	0,22	W/m·K
<i>N_REACTIONS</i>	<i>Počet reakcí probíhajících při hoření</i>	1	-
<i>NU_SPEC(1,1)</i>	<i>Produkce plynu ze vzorku</i>	0,82	-
<i>MATL_ID(2,1:2)</i>	<i>Přirazení materiálových vlastností</i>	'CHAR'	
<i>HEAT_OF_COMBUSTION</i>	<i>Energie uvolněná na jednotku paliva</i>	14500	kJ/kg
<i>HEAT_OF_REACTION</i>	<i>Energie spotřebovaná na jednotku hmotnosti reaktantu</i>	1047	kJ/kg
<i>REFERENCE_TEMPERATURE(1)</i>	<i>Teplota, při které se pevná látka mění na plyn</i>	350	°C
<i>PYROLYSIS_RANGE</i>	<i>Rozsah teplot během pyrolýzy</i>	100	
<i>EMISSIVITY</i>	<i>Emisivita</i>	0,9	

## 6.2.2 Porovnání výsledků HRR naměřených v modelu RCT a kónického kalorimetru

Modely RCT s obkladem z OSB Superfinish ECO se porovnávají pouze mezi sebou. Z grafu je patrné, že první model, který má obklady popsány pomocí HRR dosahuje mnohonásobně vyšších hodnot než druhý model, který má obklady popsány pouze materiálovými vlastnostmi. Výpočty obou dvou modelů byly kvůli nedostatku času ukončeny dříve, ale z dat již získaných se dají vyvozovat závěry. [33]–[35]



Obr. 32 Porovnání hodnot HRR naměřených ve dvou modelech

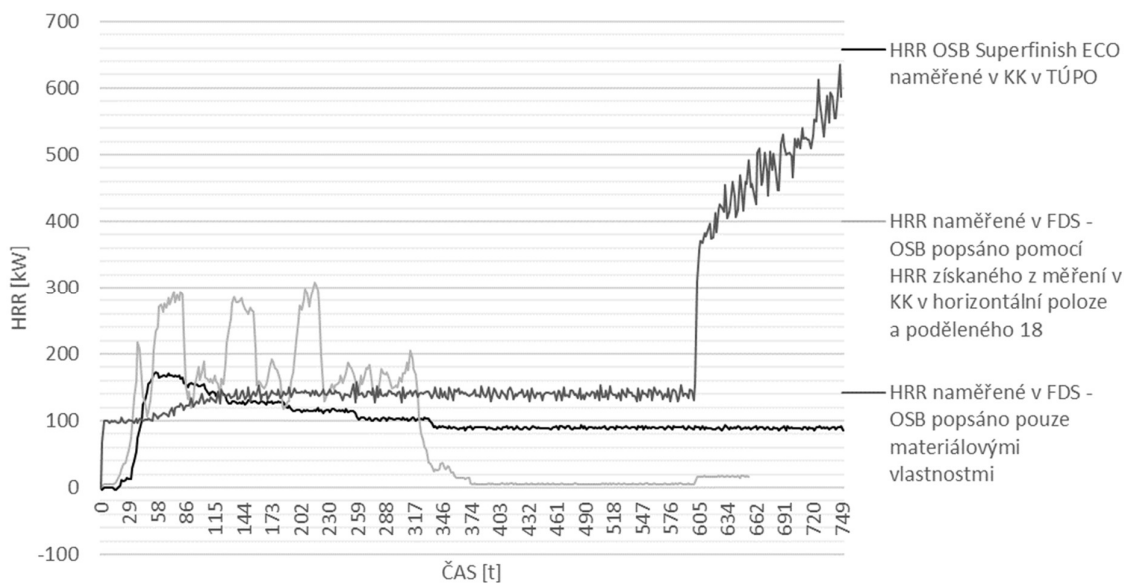
První model má prudký a rychlý nárůst HRR a po 60 s začne hodnota kolísat mezi 2000 a 5000 kW a kolísá do 330 s, kdy nastane prudký pokles hodnot HRR. Maximální naměřená hodnota HRR je rovna 5543 kW nastává v čase 216 s.

Druhý model má také okamžitý nárůst hodnot HRR, ale v menším měřítku než model první. Po zhruba 60 s se HRR ustálí na 150 kW a znovu prudce začne narůstat až v 600 s. Výpočet končí v 750 s. Do této doby je největší HRR zaznamenáno v 747 s hodnotou 636 kW. Dá se předpokládat, že HRR dále narůstá, na chvíli se ustálí a pak dojde k prudkému poklesu hodnot. V Tab. 9 jsou zaznamenány maximální naměřené hodnoty v obou modelech.

Tab. 9 Porovnání maximálních hodnot HRR naměřených ve dvou modelech.

	$HRR_{MAX}$	Čas $HRR_{MAX}$
	$[kW/m^2]$	$[s]$
<b>1. verze FDS</b>	5543,042	216
<b>2. verze FDS</b>	636,746	438

Pro lepší porovnání naměřených hodnot se hodnoty HRR z prvního modelu podělily osmnácti, stejně jako v kapitole 6.1. V grafu na Obr. 33 je vidět, že křivka nárůstu hodnot prvního modelu přibližně v první fázi kopíruje hodnoty, které byly naměřeny v kónickém kalorimetru při zkoušce OSB Superfinish ECO v horizontální poloze.



Obr. 33 Porovnání naměřených hodnot HRR: Prvního modelu popsáného pomocí HRR obkladových desek a poděleného osmnácti. Druhého naměřeného modelu a HRR získaného ze zkoušky v kónickém kalorimetru

### 6.3 Vyhodnocení

Všechny vytvořené modely v programu FDS mají pro tuto diplomovou práci vypovídající hodnotu.

Modely popsané v kapitole 6.1 pro RCT s obklady z OSB Firestop prokázaly, že pro získání vypovídajících hodnot je důležité měřit materiály v kónickém kalorimetru ve dvou polohách. Obklady umístěné svisle mají jiný vývoj tepla a plameny se po nich rychleji šíří než u desek pokládaných vodorovně. Toto je důležité si uvědomit při zadávání vlastností materiálu do výpočetního programu. Prokázalo se, že model zadaný podle HRR měřeného ve vertikální poloze má stejný průběh křivky grafu jako má reálná zkouška. Pouze hodnoty jsou v modelu řádově vyšší.

Modely popsané v kapitole 6.2 prokázaly, že zadáním pouze přesných materiálových vlastností se dají získat data poměrně blízka předpokládanému průběhu zkoušky, a to bez dalších úprav. V prvním modelu je obklad popsán pomocí HRR naměřené v kónickém kalorimetru. V druhém modelu je popsán pouze pomocí materiálových vlastností. Z výsledků měření vyplývá, že dva modely, popisující stejnou zkoušku dvěma způsoby, mají řádově jiné výsledné hodnoty.

Je zajímavé, že výsledné hodnoty modelů s obklady popsanými pomocí HRR jsou přibližně osmnáctinásobně větší než u reálné zkoušky, a to u obou dvou typů obkladů. Tento poměr by měl být dále prozkoumán, zda se nejedná o ojedinělý případ.



## 7 Závěr

Diplomová práce se nejprve zabývala zjišťováním požárně technických charakteristik. Základem práce byla literární rešerše, která se zabývala nástroji k měření PTCH, analýzou materiálu a softwarem určeným pro modelování. V rámci této práce proběhla měření v kónickém kalorimetru, která se uskutečnila v TÚPO MV ČR a velkorozměrová požární zkouška Room Corner Test, která proběhla v UCEEB ČVUT v Praze. Výsledky se použily pro porovnání s modely vytvořenými v programu FDS.

Nejprve byl vytvořen zjednodušený model kónického kalorimetru. Zkouška desky z PMMA byla namodelována s vysokou přesností díky materiálovým vlastnostem získaným z termogravimetrické analýzy. Bylo zjištěno, že tyto materiálové vlastnosti jsou přesnější než materiálové vlastnosti uvedené v FDS User's Guide. Poté byly vytvořeny dva modely desky OSB Superfinish ECO, které se navzájem liší způsobem zadání materiálových vlastností. Prokázalo se, že nejpřesnější způsob zadání materiálu do modelu je zadáním měrné tepelné kapacity a součinitele tepelné vodivosti jako funkci závislosti na teplotě. Tento model je však časově a uživatelsky náročný a výsledné hodnoty HRR jsou oproti skutečnosti sniženy. Naopak druhý model nevytváří přesný průběh křivky HRR, ale maximální hodnoty této veličiny jsou bližší skutečnosti. Navíc je druhý model uživatelsky a časově méně náročný a vkládaná data jsou oproti prvnímu modelu snadno získatelná.

V UCEEB v Praze proběhla dne 14. prosince 2017 velkorozměrová požární zkouška Room Corner Test. Zkoušeny byly obklady z desek OSB Firestop. Jednalo se o vůbec první velkorozměrovou zkoušku, která v této požární laboratoři proběhla. Během zkoušky nastal problém s propanovým hořákem, který nedokázal udržet nastavený výkon, což zkreslilo výsledky měření.

Z porovnání čtyř provedených modelů bylo zjištěno, že požárnětechnické charakteristiky, které se získávají ze zkoušky v kónickém kalorimetru (myšleno HRR) se bez dodatečných úprav hodnot nedají použít jako vstupní data do velkorozměrové požární zkoušky.

Prvním poznatkem je důležitost orientace. V kónickém kalorimetru se prvky testují převážně v horizontální pozici. Pouze nejnovější zařízení umožňují provedení zkoušky ve vertikálním postavení vzorku. Dále je důležité si uvědomit, že v kónickém kalorimetru je prvek testován při konstantním sálavém tepelném toku. Při velkorozměrových zkouškách je prvek vystaven přímé plamenné expozici, která je proměnlivá. Nejdůležitějším rozdílem je velikost testovaného materiálu. V kónickém kalorimetru je testován vzorek o velikosti  $100 \times 100$  mm, který je umístěn v ocelovém držáku. To způsobí, že se vzorek prohřeje rychleji a s větší intenzitou rychlosti uvolňování tepla.

Pro uživatele je důležité si uvědomit, že surové převzetí dat z malorozměrové zkoušky, např. příkazem HRRPUA v programu FDS, může vytvořit zásadní chyby, které mohou vést k zneplatnění celého modelu.

Zajímavostí je, že mezi HRR reálné zkoušky a HRR získaným z modelů, které měly obklady popsány pomocí HRR z kónického kalorimetru, je poměr hodnot modelů přibližně osmnáctinásobný k reálné zkoušce. Tento poměr by měl být dále prozkoumán, zda se nejedná pouze o náhodu.

# Příloha 1 – Zdrojový kód: Zjednodušený kónický kalorimetr – Zkouška PMMA

```

KKPMMA.fds
&HEAD CHID=
'KKPMMA';
TITLE=
'ZJEDNODUŠENY KONICKY KALORIMETR/'
&DUMP RENDER_FILE=
'KKPMMA.ge1'
&DUMP DT_RESTART=
100.0/
&DUMP DT_DEVC=
5.0/
...Vypočetní čas...
&TIME T_END=700.0,
DT=0.01, WALL_INCREMENT=1/
...Vypočetní oblast...
&MESH ID='Mesh', IJK=16,16,51, XB=0.07,0.23,0.07,0.23,-0.11,0.4/
&MESH ID='Mesh01-a',
IJK=16,16,16, XB=0.07,0.23,0.07,0.23,-0.19,-0.11/
&REAC ID='PMMA',
FYI=
'MMA monomer, C_5 H_8 O_2,
'PMMA',
FUEL=
'PMMA',
EPUMO2=
13125,
C=
5,
H=
8,
O=
2,
SOOT_YIELD= 0.022/
&DEVC ID='NA POVRCHU', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.15,0.15,-
0.185, IOR=3/
&DEVC ID='FLUXZARIC', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=0.15,0.15,-0.15/
&DEVC ID='FLUXPRVEK', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=0.15,0.15,-0.15, ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_STRED', QUANTITY='RADIOMETER',
XYZ=0.15,0.15,-0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_X016', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.16,0.15,-0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_X017', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.17,0.15,-0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_X018', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.18,0.15,-0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_X019', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.19,0.15,-0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_Y016', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.15,0.16,-0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_Y017', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.15,0.17,-0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_Y018', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.15,0.18,-0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_Y019', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.15,0.19,-0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY016', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.16,0.16,-0.185,
IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY017', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.17,0.17,-0.185,
IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY018', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.18,0.18,-0.185,
IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY019', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.19,0.19,-0.185,
IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY011', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.11,0.11,-0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY012', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.12,0.12,-0.185,
IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY013', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.13,0.13,-0.185,
IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY014', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.14,0.14,-0.185,
IOR=3/
&DEVC ID='TC_1', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.15,0.15,-0.185/
&DEVC ID='TC_2', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.15,0.15,0.14/
&DEVC ID='TC_20', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.15,0.15,-0.19/
&DEVC ID='BURN_RATE_1', QUANTITY='BURNING RATE', XYZ=0.15,0.15,-0.185
IOR=3/
&DEVC ID='BURN_RATE_19', QUANTITY='BURNING RATE', XYZ=0.15,0.15,-0.19,
IOR=3/
&MATL ID='OCEL',
SPECIFIC_HEAT= 0.46,
CONDUCTIVITY= 50.0,
DENSITY= 7850.0/
&MATL ID=
'OCEL2',
SPECIFIC_HEAT= 0.46,
CONDUCTIVITY= 50.0,
DENSITY= 7850.0/
&MATL ID=
'BLACKPMMA',
SPECIFIC_HEAT= 1.32,
CONDUCTIVITY= 0.19,
DENSITY= 1190.0,
SPEC_ID=
'PMMA',
N_REACTIONS=
1,
NU_SPEC=
1.0,
REFERENCE_TEMPERATURE()=
306.59,
REFERENCE_RATE()=
0.003560667,
HEATING_RATE()=
5.0,
HEAT_OF_COMBUSTION=
25000.0,
HEAT_OF_REACTION=
15000.0,
ABSORPTION_COEFFICIENT=
1000.0/
&SURF ID=
'HLAVICE',
COLOR=
'GRAY',
MATL_ID(1)=
'OCEL',
MATL_MASS_FRACTION(1)=
1.0,

```

```

BACKING = 'EXPOSED'
THICKNESS(1) = 0.01/
&SURF ID = 'ZARIC',
COLOR = 'PURPLE',
MATL_ID(1,1) = 'OCEL2',
MATL_MASS_FRACTION(1,1) = 1.0,
THICKNESS(1) = 0.01/
&SURF ID = 'PMMA',
COLOR = 'BLACK',
BURN_AWAY = .TRUE.,
BACKING = 'INSULATED',
MATL_ID(1,1) = 'BLACKPMMA',
MATL_MASS_FRACTION(1,1) = 1.0,
THICKNESS(1) = 0.005/
&SURF ID = 'FIRE',
EMISSION = 0.7,
TMP_FRONT = 700.0/
...Odvodní potrubí...
&OBST ID = 'horní plocha', XB=0.07,0.23, 0.07,0.08, -0.11,-0.10, SURF_ID='HLAVICE'/
&OBST ID = 'přední plocha', XB=0.07,0.23, 0.07,0.08, 0.20,0.40, SURF_ID='HLAVICE'/
&OBST ID = 'zadní plocha', XB=0.07,0.23, 0.22,0.23, 0.20,0.40, SURF_ID='HLAVICE'/
&OBST ID = 'levá strana', XB=0.07,0.08, 0.07,0.23, 0.20,0.40, SURF_ID='HLAVICE'/
&OBST ID = 'pravá strana', XB=0.22,0.23, 0.07,0.23, 0.20,0.40, SURF_ID='HLAVICE'/
...Zářič...
&OBST ID = 'přední plocha', XB=0.07,0.23, 0.07,0.08, -0.11,-0.10, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID = 'přední plocha', XB=0.08,0.22, 0.08,0.09, -0.10,-0.09, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID = 'přední plocha', XB=0.09,0.21, 0.09,0.10, -0.09,-0.08, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID = 'přední plocha', XB=0.10,0.20, 0.10,0.11, -0.08,-0.07, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID = 'zadní plocha', XB=0.07,0.23, 0.22,0.23, -0.11,-0.10, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID = 'zadní plocha', XB=0.08,0.22, 0.21,0.22, -0.10,-0.09, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID = 'zadní plocha', XB=0.09,0.21, 0.20,0.21, -0.09,-0.08, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID = 'zadní plocha', XB=0.10,0.20, 0.19,0.20, -0.08,-0.07, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID = 'levá strana', XB=0.07,0.08, 0.08,0.22, -0.11,-0.10, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID = 'levá strana', XB=0.08,0.09, 0.09,0.21, -0.10,-0.09, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID = 'levá strana', XB=0.09,0.10, 0.10,0.20, -0.09,-0.08, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID = 'levá strana', XB=0.10,0.11, 0.11,0.19, -0.08,-0.07, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID = 'pravá strana', XB=0.22,0.23, 0.08,0.22, -0.11,-0.10, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID = 'pravá strana', XB=0.21,0.22, 0.09,0.21, -0.10,-0.09, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID = 'pravá strana', XB=0.20,0.21, 0.10,0.20, -0.09,-0.08, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID = 'pravá strana', XB=0.19,0.20, 0.11,0.19, -0.08,-0.07, SURF_ID='ZARIC'/
...Zkoušený vzorek...
&OBST ID = 'Obstruction #1', XB=0.10,0.20, 0.10,0.20, -0.19,-0.185, SURF_ID='PMMA'/
&OBST ID = 'držák_přední', XB=0.10,0.20, 0.10,0.10, -0.19,-0.17, SURF_ID='HLAVICE'/
&OBST ID = 'držák_zadní', XB=0.10,0.20, 0.20,0.20, -0.19,-0.17, SURF_ID='HLAVICE'/
&OBST ID = 'držák_pravý', XB=0.20,0.20, 0.10,0.20, -0.19,-0.17, SURF_ID='HLAVICE'/
&OBST ID = 'držák_levá', XB=0.10,0.10, 0.10,0.20, -0.19,-0.17, SURF_ID='HLAVICE'/
...Přívodní otvory...
&VENT ID = 'spodní plocha', SURF_ID='OPEN', XB=0.07,0.23, 0.07,0.23, -0.19,-0.19/
&VENT ID = 'přední plocha', SURF_ID='OPEN', XB=0.07,0.23, 0.07,0.07, -0.11,0.20/
&VENT ID = 'přední plocha', SURF_ID='OPEN', XB=0.07,0.23, 0.07,0.07, -0.19,-0.11/
&VENT ID = 'zadní plocha', SURF_ID='OPEN', XB=0.07,0.23, 0.23,0.23, -0.11,0.20/
&VENT ID = 'zadní plocha', SURF_ID='OPEN', XB=0.07,0.23, 0.23,0.23, -0.19,-0.11/
&VENT ID = 'levá strana', SURF_ID='OPEN', XB=0.07,0.07, 0.07,0.23, -0.11,0.20/
&VENT ID = 'levá strana', SURF_ID='OPEN', XB=0.07,0.07, 0.07,0.23, -0.19,-0.11/
&VENT ID = 'pravá strana', SURF_ID='OPEN', XB=0.23,0.23, 0.07,0.23, -0.11,0.20/
&VENT ID = 'pravá strana', SURF_ID='OPEN', XB=0.23,0.23, 0.07,0.23, -0.19,-0.11/
...Oheň v zářiči...
&VENT ID = '4L', SURF_ID='FIRE', XB=0.11,0.11, 0.11,0.19, -0.08,-0.07, IOR=1,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID = '4L', SURF_ID='FIRE', XB=0.10,0.11, 0.10,0.20, -0.08,-0.08, IOR=-3,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID = '4P', SURF_ID='FIRE', XB=0.19,0.19, 0.11,0.19, -0.08,-0.07, IOR=-1,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID = '4P', SURF_ID='FIRE', XB=0.19,0.20, 0.10,0.20, -0.08,-0.08, IOR=-3,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID = '4P', SURF_ID='FIRE', XB=0.11,0.19, 0.10,0.11, -0.08,-0.08, IOR=-3,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID = '4Z', SURF_ID='FIRE', XB=0.11,0.19, 0.19,0.19, -0.08,-0.07, IOR=-2,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID = '4Z', SURF_ID='FIRE', XB=0.11,0.19, 0.19,0.20, -0.08,-0.08, IOR=-3,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID = '3L', SURF_ID='FIRE', XB=0.10,0.10, 0.10,0.20, -0.09,-0.08, IOR=1,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID = '3L', SURF_ID='FIRE', XB=0.09,0.10, 0.09,0.21, -0.09,-0.09, IOR=-3,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID = '3P', SURF_ID='FIRE', XB=0.20,0.20, 0.10,0.20, -0.09,-0.08, IOR=-1,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID = '3P', SURF_ID='FIRE', XB=0.20,0.21, 0.09,0.21, -0.09,-0.09, IOR=-3,
COLOR='BLACK'/

```

```

&BNDF QUANTITY='RADIOMETER'/
&BNDF QUANTITY='BURNING RATE'/
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE'; VECTOR=.TRUE., PBX=0.15/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE'; VECTOR=.TRUE., PBX=0.15/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE'; VECTOR=.TRUE., PBZ=0.38/
&DEVC ID='MPUA', XYZ=1.500000E-001,1.500000E-001,-1.850000E-001,
IOR=3, QUANTITY='NORMALIZED MASS'/
&DEVC ID='MLRPUA', XYZ=1.500000E-001,1.500000E-001,-1.850000E-001,
IOR=3, QUANTITY='NORMALIZED MASS LOSS RATE',
SPEC_ID='PMMA'/
&TAIL /

&VENT ID='3P', SURF_ID='FIRE', XB=0.10,0.20, 0.10,0.10, -0.09,-0.08, IOR=2,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID='3P', SURF_ID='FIRE', XB=0.10,0.20, 0.09,0.10, -0.09,-0.09, IOR=-3,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID='3Z', SURF_ID='FIRE', XB=0.10,0.20, 0.20,0.20, -0.09,-0.08,
IOR=-2, COLOR='BLACK'/
&VENT ID='3Z', SURF_ID='FIRE', XB=0.10,0.20, 0.20,0.21, -0.09,-0.09, IOR=-3,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID='2L', SURF_ID='FIRE', XB=0.09,0.09, 0.09,0.21, -0.10,-0.09, IOR=1,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID='2L', SURF_ID='FIRE', XB=0.08,0.09, 0.08,0.22, -0.10,-0.10, IOR=-3,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID='2P', SURF_ID='FIRE', XB=0.21,0.21, 0.09,0.21, -0.10,-0.09, IOR=-1,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID='2P', SURF_ID='FIRE', XB=0.21,0.22, 0.08,0.22, -0.10,-0.10, IOR=-3,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID='2P', SURF_ID='FIRE', XB=0.09,0.21, 0.09,0.09, -0.10,-0.09, IOR=2,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID='2P', SURF_ID='FIRE', XB=0.09,0.21, 0.08,0.09, -0.10,-0.10, IOR=-3,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID='2Z', SURF_ID='FIRE', XB=0.09,0.21, 0.21,0.21, -0.10,-0.09, IOR=-2,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID='2Z', SURF_ID='FIRE', XB=0.09,0.21, 0.21,0.22, -0.10,-0.10, IOR=-3,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID='1L', SURF_ID='FIRE', XB=0.08,0.08, 0.08,0.22, -0.11,-0.10, IOR=1,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID='1L', SURF_ID='FIRE', XB=0.07,0.08, 0.07,0.23, -0.11,-0.11, IOR=-3,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID='1P', SURF_ID='FIRE', XB=0.22,0.22, 0.08,0.22, -0.11,-0.10, IOR=-1,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID='1P', SURF_ID='FIRE', XB=0.22,0.23, 0.07,0.23, -0.11,-0.11, IOR=-3,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID='1P', SURF_ID='FIRE', XB=0.08,0.22, 0.08,0.08, -0.11,-0.10, IOR=2,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID='1P', SURF_ID='FIRE', XB=0.08,0.22, 0.07,0.08, -0.11,-0.11, IOR=-3,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID='1Z', SURF_ID='FIRE', XB=0.08,0.22, 0.22,0.22, -0.11,-0.10, IOR=-2,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID='1Z', SURF_ID='FIRE', XB=0.08,0.22, 0.22,0.23, -0.11,-0.11, IOR=-3.0,
COLOR='BLACK'/

```

## Příloha 2 – Zdrojový kód: Zjednodušený kónický kalorimetr – Zkouška OSB – 1. verze

```

&HEAD CHID='KOSB2', TITLE='ZJEDNODUSENY KONICKY KALORIMETR'/
...Vypočetní čas...
&TIME T_END=6000.0 /
...Vypočetní oblast...
&MESH ID='Mesh1', IJK=16,16,10, XB=0.07,0.23,0.07,0.23,-0.10,0.0 / 2560
&MESH ID='Mesh2', IJK=16,16,18, XB=0.07,0.23,0.07,0.23,-0.19,-0.10 / 4608
...Reakce...
&REAC ID='PYROLYZATE',
C=1,
H=1.7,
O=0.83
SOOT_YIELD = 0.0053 /
...Měřící zařízení...
&DEVC ID='NA POVRCHU', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.15,0.15,-
0.185, IOR=3/
&DEVC ID='FLUXZARIC', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=0.15,0.15,-0.15/
&DEVC ID='FLUXPRVEK', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=0.15,0.15,-0.15, ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_STRED', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.15,0.15,-
0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_X016', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.16,0.15,-
0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_X017', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.17,0.15,-
0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_X018', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.18,0.15,-
0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_X019', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.19,0.15,-
0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_Y016', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.15,0.16,-
0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_Y017', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.15,0.17,-
0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_Y018', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.15,0.18,-
0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_Y019', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.15,0.19,-
0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY016', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.16,0.16,-
0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY017', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.17,0.17,-
0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY018', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.18,0.18,-
0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY019', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.19,0.19,-
0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY012', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.12,0.12,-
0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY013', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.13,0.13,-
0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY014', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.14,0.14,-
0.185, IOR=3/
&DEVC ID='TC_1', QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=0.15,0.15,-0.185/
&DEVC ID='TC_2', QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=0.15,0.15,0.14/
&DEVC ID='TC_20', QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=0.15,0.15,-0.19/
&DEVC ID='BURN_RATE_1', QUANTITY='BURNING RATE', XYZ=0.15,0.15,-0.185,
IOR=3/
&DEVC ID='BURN_RATE_19', QUANTITY='BURNING RATE', XYZ=0.15,0.15,-
0.19, IOR=3/
...Materiály...
&MATL ID='OCEL',
SPECIFIC_HEAT= 0.46,
CONDUCTIVITY= 50.0,
DENSITY= 7850.0/
&MATL ID='OCEL2',
SPECIFIC_HEAT= 0.46,
CONDUCTIVITY= 50.0,
DENSITY= 7850.0/
&SPEC ID='OXYGEN', MASS_FRACTION_0=0.23/
&SPEC ID='WATER VAPOR/'
&SPEC ID='CARBON DIOXIDE/'
&MATL ID='OSB',
SPECIFIC_HEAT_RAMP = 'c_ramp'
CONDUCTIVITY_RAMP = 'k_ramp'
DENSITY= 600.0,
SPEC_ID(1,1)= 'PYROLYZATE',
N_REACTIONS= 1,
NU_SPEC(1,1)= 0.75,

```

```

MATERIAL_ID(1)= 'CHAR',
NU_MATERIAL(1)= 0.25
HEAT_OF_COMBUSTION= 14500.0,
HEAT_OF_REACTION= 1047.0,
A=
E=
&RAMP ID= 'c_ramp', T= 20.,
&RAMP ID= 'c_ramp', T= 75.,
&RAMP ID= 'c_ramp', T= 105.,
&RAMP ID= 'c_ramp', T= 149.,
&RAMP ID= 'k_ramp', T= 20.,
&RAMP ID= 'k_ramp', T= 75.,
&RAMP ID= 'k_ramp', T= 105.,
&RAMP ID= 'k_ramp', T= 149.,
&MATERIAL ID= 'CHAR',
DENSITY= 129.0,
CONDUCTIVITY= 0.2,
SPECIFIC_HEAT= 2.5/
&SURF ID= 'HLAVICE',
COLOR=
MATERIAL_ID(1)=
MATERIAL_MASS_FRACTION(1,1)=
BACKING=
THICKNESS(1)=
&SURF ID= 'ZARIC',
COLOR=
MATERIAL_ID(1)=
MATERIAL_MASS_FRACTION(1,1)=
THICKNESS(1)=
&SURF ID= 'OSB',
COLOR=
BURN_AWAY=
BACKING=
MATERIAL_ID(1)=
MATERIAL_MASS_FRACTION(1,1)=
THICKNESS(1)=
&SURF ID= 'FIRE',
EMISSION= 0.7,
TMP_FRONT= 1050.0/

...Odvodní potrubí...
&OBST ID= 'horní plocha', XB=0.07,0.23, 0.07,0.23, 0.39,0.40, SURE_ID='HLAVICE'/
&OBST ID= 'přední plocha', XB=0.07,0.23, 0.07,0.08, 0.20,0.40, SURE_ID='HLAVICE'/
&OBST ID= 'zadní plocha', XB=0.07,0.23, 0.22,0.23, 0.20,0.40, SURE_ID='HLAVICE'/
&OBST ID= 'levá strana', XB=0.07,0.08, 0.07,0.23, 0.20,0.40, SURE_ID='HLAVICE'/
&OBST ID= 'pravá strana', XB=0.22,0.23, 0.07,0.23, 0.20,0.40, SURE_ID='HLAVICE'/

...Zářič...
&OBST ID= 'přední plocha', XB=0.07,0.23, 0.07,0.08, -0.11,-0.10, SURE_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'přední plocha', XB=0.08,0.22, 0.08,0.09, -0.10,-0.09, SURE_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'přední plocha', XB=0.09,0.21, 0.09,0.10, -0.09,-0.08, SURE_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'přední plocha', XB=0.10,0.20, 0.10,0.11, -0.08,-0.07, SURE_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'zadní plocha', XB=0.07,0.23, 0.22,0.23, -0.11,-0.10, SURE_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'zadní plocha', XB=0.08,0.22, 0.21,0.22, -0.10,-0.09, SURE_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'zadní plocha', XB=0.09,0.21, 0.20,0.21, -0.09,-0.08, SURE_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'zadní plocha', XB=0.10,0.20, 0.19,0.20, -0.08,-0.07, SURE_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'levá strana', XB=0.07,0.08, 0.08,0.22, -0.11,-0.10, SURE_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'levá strana', XB=0.08,0.09, 0.09,0.21, -0.10,-0.09, SURE_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'levá strana', XB=0.09,0.10, 0.10,0.20, -0.09,-0.08, SURE_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'levá strana', XB=0.10,0.11, 0.11,0.19, -0.08,-0.07, SURE_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'pravá strana', XB=0.22,0.23, 0.08,0.22, -0.11,-0.10, SURE_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'pravá strana', XB=0.21,0.22, 0.09,0.21, -0.10,-0.09, SURE_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'pravá strana', XB=0.20,0.21, 0.10,0.20, -0.09,-0.08, SURE_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'pravá strana', XB=0.19,0.20, 0.11,0.19, -0.08,-0.07, SURE_ID='ZARIC'/

...Zkoušený vzorek...
&OBST ID= 'Obstruction #1', XB=0.10,0.20, 0.10,0.20, -0.19,-0.185, SURF_ID='OSB'/
&OBST ID= 'drzak_předni', XB=0.10,0.20, 0.10,0.10, -0.19,-0.17, SURE_ID='HLAVICE'/
&OBST ID= 'drzak_zadni', XB=0.10,0.20, 0.20,0.20, -0.19,-0.17, SURE_ID='HLAVICE'/
&OBST ID= 'drzak_pravy', XB=0.20,0.20, 0.10,0.20, -0.19,-0.17, SURE_ID='HLAVICE'/
&OBST ID= 'drzak_leva', XB=0.10,0.10, 0.10,0.20, -0.19,-0.17, SURE_ID='HLAVICE'/

...Přívodní otvory...
&VENT ID= 'spodní plocha', SURF_ID='OPEN', XB=0.07,0.23, 0.07,0.23, -0.19,-0.19/
&VENT ID= 'horní plocha', SURF_ID='OPEN', XB=0.07,0.23, 0.07,0.23, 0.0,0.0/
&VENT ID= 'přední plocha', SURF_ID='OPEN', XB=0.07,0.23, 0.07,0.07, -0.11,0.20/
&VENT ID= 'přední plocha', SURF_ID='OPEN', XB=0.07,0.23, 0.07,0.07, -0.19,-0.11/
&VENT ID= 'zadní plocha', SURF_ID='OPEN', XB=0.07,0.23, 0.23,0.23, -0.11,0.20/
&VENT ID= 'zadní plocha', SURF_ID='OPEN', XB=0.07,0.23, 0.23,0.23, -0.19,-0.11/
&VENT ID= 'levá strana', SURF_ID='OPEN', XB=0.07,0.07, 0.07,0.23, -0.11,0.20/
&VENT ID= 'levá strana', SURF_ID='OPEN', XB=0.07,0.07, 0.07,0.23, -0.19,-0.11/
&VENT ID= 'pravá strana', SURF_ID='OPEN', XB=0.23,0.23, 0.07,0.23, -0.11,0.20/
&VENT ID= 'pravá strana', SURF_ID='OPEN', XB=0.23,0.23, 0.07,0.23, -0.19,-0.11/

```

...Oheň v zářiči...  
&VENT ID='4L', SURF\_ID='FIRE', XB=0.11,0.11, 0.11,0.19, -0.08,-0.07,  
IOR=1, COLOR='BLACK'/  
&VENT ID='4L', SURF\_ID='FIRE', XB=0.10,0.11, 0.10,0.20, -0.08,-0.08,  
IOR=-3, COLOR='BLACK'/  
&VENT ID='4P', SURF\_ID='FIRE', XB=0.19,0.19, 0.11,0.19, -0.08,-0.07,  
IOR=-1, COLOR='BLACK'/  
&VENT ID='4P', SURF\_ID='FIRE', XB=0.19,0.20, 0.10,0.20, -0.08,-0.08,  
IOR=-3, COLOR='BLACK'/  
&VENT ID='4P', SURF\_ID='FIRE', XB=0.11,0.19, 0.10,0.11, -0.08,-0.08,  
IOR=-3, COLOR='BLACK'/  
&VENT ID='4P', SURF\_ID='FIRE', XB=0.11,0.19, 0.11,0.11, -0.08,-0.07, IOR=2,  
COLOR='BLACK'/  
&VENT ID='4Z', SURF\_ID='FIRE', XB=0.11,0.19, 0.19,0.19, -0.08,-0.07,  
IOR=-2, COLOR='BLACK'/  
&VENT ID='4Z', SURF\_ID='FIRE', XB=0.11,0.19, 0.19,0.20, -0.08,-0.08,  
IOR=-3, COLOR='BLACK'/  
&VENT ID='3L', SURF\_ID='FIRE', XB=0.10,0.10, 0.10,0.20, -0.09,-0.08,  
IOR=1, COLOR='BLACK'/  
&VENT ID='3L', SURF\_ID='FIRE', XB=0.09,0.10, 0.09,0.21, -0.09,-0.09,  
IOR=-3, COLOR='BLACK'/  
&VENT ID='3P', SURF\_ID='FIRE', XB=0.20,0.20, 0.10,0.20, -0.09,-0.08, IOR=-1,  
COLOR='BLACK'/  
&VENT ID='3P', SURF\_ID='FIRE', XB=0.20,0.21, 0.09,0.21, -0.09,-0.09,  
IOR=-3, COLOR='BLACK'/  
&VENT ID='3P', SURF\_ID='FIRE', XB=0.10,0.20, 0.10,0.10, -0.09,-0.08,  
IOR=2, COLOR='BLACK'/  
&VENT ID='3P', SURF\_ID='FIRE', XB=0.10,0.20, 0.09,0.10, -0.09,-0.09,  
IOR=-3, COLOR='BLACK'/  
&VENT ID='3Z', SURF\_ID='FIRE', XB=0.10,0.20, 0.20,0.20, -0.09,-0.08,  
IOR=-2, COLOR='BLACK'/  
&VENT ID='3Z', SURF\_ID='FIRE', XB=0.10,0.20, 0.20,0.21, -0.09,-0.09,  
IOR=-3, COLOR='BLACK'/  
&VENT ID='2L', SURF\_ID='FIRE', XB=0.09,0.09, 0.09,0.21, -0.10,-0.09,  
IOR=1, COLOR='BLACK'/  
&VENT ID='2L', SURF\_ID='FIRE', XB=0.08,0.09, 0.08,0.22, -0.10,-0.10,  
IOR=-3, COLOR='BLACK'/  
&VENT ID='2P', SURF\_ID='FIRE', XB=0.21,0.21, 0.09,0.21, -0.10,-0.09,  
IOR=-1, COLOR='BLACK'/  
&VENT ID='2P', SURF\_ID='FIRE', XB=0.21,0.22, 0.08,0.22, -0.10,-0.10,  
IOR=-3, COLOR='BLACK'/



## Příloha 3 – Zdrojový kód: Zjednodušený kónický kalorimetr – Zkouška OSB – 2. verze

```

&HEAD CHID='KKOSB',
TITLE='ZJEDNODUŠENÝ KONICKÝ KALORIMETR'/
&DUMP RENDER FILE='KKOSB.get'/
&DUMP DT_RESTART=
...Vypočetní čas...
&TIME T_END=6000.0 /
...Vypočetní oblast...
&MESH ID='Mesh', IJK=16,16,51, XB=0.07,0.23,0.07,0.23,-0.10,0.4/
&MESH ID='Mesh01-a', IJK=16,16,18, XB=0.07,0.23,0.07,0.23,-0.19,-0.10/
&REAC ID='PYROLYZATE',
C=1,
H=1.7,
O=0.83/
&DEVC ID='NA POVRCHU', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=0.15,0.15,-
0.185, IOR=3/
&DEVC ID='FLUXZARIC', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=0.15,0.15,-0.15/
&DEVC ID='FLUXPRVEK', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=0.15,0.15,-0.15, ORIENTATION=0.0,0.1,0/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_STRED', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.15,0.15,-0.185,
IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_X016', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.16,0.15,-0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_X017', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.17,0.15,-0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_X018', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.18,0.15,-0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_X019', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.19,0.15,-0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_Y016', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.15,0.16,-0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_Y017', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.15,0.17,-0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_Y018', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.15,0.18,-0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_Y019', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.15,0.19,-0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY016', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.16,0.16,-0.185,
IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY017', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.17,0.17,-0.185,
IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY018', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.18,0.18,-0.185,
IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY019', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.19,0.19,-0.185,
IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY011', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.11,0.11,-0.185, IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY012', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.12,0.12,-0.185,
IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY013', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.13,0.13,-0.185,
IOR=3/
&DEVC ID='PRVEK-RAD_XY014', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=0.14,0.14,-0.185,
IOR=3/
&DEVC ID='TC_1', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.15,0.15,-0.185/
&DEVC ID='TC_2', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.15,0.15,0.14/
&DEVC ID='TC_20', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.15,0.15,-0.19/
&DEVC ID='BURN_RATE_1', QUANTITY='BURNING RATE', XYZ=0.15,0.15,-0.185, IOR=3/
&DEVC ID='BURN_RATE_19', QUANTITY='BURNING RATE', XYZ=0.15,0.15,-0.19, IOR=3/
&MATL ID='OCEL',
SPECIFIC_HEAT= 0.46,
CONDUCTIVITY= 50.0,
DENSITY= 7850.0/
&MATL ID='OCEL2',
SPECIFIC_HEAT= 0.46,
CONDUCTIVITY= 50.0,
DENSITY= 7850.0/
&SPEC ID='PYROLYZATE', FORMULA='CH1.7O0.83' /
&SPEC ID='OXYGEN' /
&SPEC ID='NITROGEN' /
&SPEC ID='WATER VAPOR' /
&SPEC ID='CARBON DIOXIDE' /
&SPEC ID='CARBON MONOXIDE' /
&SPEC ID='SOOT' /
&SPEC ID='PRODUCTS',
SPEC_ID(1)='CARBON DIOXIDE', VOLUME_FRACTION(1)=0.89,
SPEC_ID(2)='CARBON MONOXIDE', VOLUME_FRACTION(2)=0.01,
SPEC_ID(3)='WATER VAPOR', VOLUME_FRACTION(3)=0.85,
SPEC_ID(4)='NITROGEN', VOLUME_FRACTION(4)=3.4148019,
SPEC_ID(5)='SOOT', VOLUME_FRACTION(5)=0.1 /
&MATL ID='OSB',
SPECIFIC_HEAT= 1.22,
CONDUCTIVITY= 0.98,
DENSITY= 600.0,
SPEC_ID(1,1)='PYROLYZATE',
N_REACTIONS= 1,
NU_SPEC(1,1)= 0.82,
MATL_ID(1,1)='CHAR',
NU_MATL(1,1)= 0.18,
HEAT_OF_COMBUSTION= 14500.0,
HEAT_OF_REACTION= 1047.0,

```

```

EMISSIVITY= 0.9,
REFERENCE_TEMPERATURE = 350.
PYROLYSIS_RANGE = 1
00. /
&MATL ID= 'CHAR',
DENSITY= 200.0,
CONDUCTIVITY= 1.0,
SPECIFIC_HEAT= 1.6/
&MATL ID= 'VODA',
EMISSIVITY= 1.0,
DENSITY= 1000.0,
CONDUCTIVITY= 0.2,
SPECIFIC_HEAT= 4.184/
&SURF ID= 'HLAVICE',
COLOR= 'GRAY',
MATL_ID(1,1)= 'OCEL',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)= 1.0,
BACKING = 'EXPOSED',
THICKNESS(1)= 0.01/
&SURF ID= 'ZARIC',
COLOR= 'PURPLE',
MATL_ID(1,1)= 'OCEL2',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)= 1.0,
THICKNESS(1)= 0.01/
&SURF ID= 'OSB',
COLOR= 'GREEN',
BURN_AWAY= .TRUE.,
BACKING= 'INSULATED',
HEAT_TRANSFER_COEFFICIENT= 1000.,
MATL_ID(1,1,2)= 'OSB','VODA',
MATL_MASS_FRACTION(1,1,2)= 0.9/0.1,
THICKNESS= 0.015/
&SURF ID= 'FIRE',
EMISSIVITY= 0.7,
TMP_FRONT= 700.0/
...Odvodní potrubí...
&OBST ID= 'horní plocha', XB=0.07,0.23, 0.07,0.23, 0.39,0.40, SURF_ID=HLAVICE/
&OBST ID= 'přední plocha', XB=0.07,0.23, 0.07,0.08, 0.20,0.40, SURF_ID=HLAVICE/
&OBST ID= 'zadní plocha', XB=0.07,0.23, 0.22,0.23, 0.20,0.40, SURF_ID=HLAVICE/
&OBST ID= 'levá strana', XB=0.07,0.08, 0.07,0.23, 0.20,0.40, SURF_ID=HLAVICE/
&OBST ID= 'pravá strana', XB=0.22,0.23, 0.07,0.23, 0.20,0.40, SURF_ID=HLAVICE/
...Zářič...
&OBST ID= 'přední plocha', XB=0.07,0.23, 0.07,0.08, -0.11,-0.10, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'přední plocha', XB=0.08,0.22, 0.08,0.09, -0.10,-0.09, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'přední plocha', XB=0.09,0.21, 0.09,0.10, -0.09,-0.08, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'přední plocha', XB=0.10,0.20, 0.10,0.11, -0.08,-0.07, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'zadní plocha', XB=0.07,0.23, 0.22,0.23, -0.11,-0.10, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'zadní plocha', XB=0.08,0.22, 0.21,0.22, -0.10,-0.09, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'zadní plocha', XB=0.09,0.21, 0.20,0.21, -0.09,-0.08, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'zadní plocha', XB=0.10,0.20, 0.19,0.20, -0.08,-0.07, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'levá strana', XB=0.07,0.08, 0.08,0.22, -0.11,-0.10, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'levá strana', XB=0.08,0.09, 0.09,0.21, -0.10,-0.09, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'levá strana', XB=0.09,0.10, 0.10,0.20, -0.09,-0.08, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'levá strana', XB=0.10,0.11, 0.11,0.19, -0.08,-0.07, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'pravá strana', XB=0.22,0.23, 0.08,0.22, -0.11,-0.10, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'pravá strana', XB=0.21,0.22, 0.09,0.21, -0.10,-0.09, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'pravá strana', XB=0.20,0.21, 0.10,0.20, -0.09,-0.08, SURF_ID='ZARIC'/
&OBST ID= 'pravá strana', XB=0.19,0.20, 0.11,0.19, -0.08,-0.07, SURF_ID='ZARIC'/
...Zkoušený vzorek...
&OBST ID= 'Obstruction #1', XB=0.10,0.20, 0.10,0.20, -0.19,-0.185, SURF_ID='OSB'/
&OBST ID= 'drzak_předni', XB=0.10,0.20, 0.10,0.10, -0.19,-0.17, SURF_ID='HLAVICE'/
&OBST ID= 'drzak_zadni', XB=0.10,0.20, 0.20,0.20, -0.19,-0.17, SURF_ID='HLAVICE'/
&OBST ID= 'drzak_pravy', XB=0.20,0.20, 0.10,0.20, -0.19,-0.17, SURF_ID='HLAVICE'/
&OBST ID= 'drzak_leva', XB=0.10,0.10, 0.10,0.20, -0.19,-0.17, SURF_ID='HLAVICE'/
...Přívodní otvory...
&VENT ID= 'spodní plocha', SURF_ID='OPEN', XB=0.07,0.23, 0.07,0.23, -0.19,-0.19/
&VENT ID= 'přední plocha', SURF_ID='OPEN', XB=0.07,0.23, 0.07,0.07, -0.11,0.20/
&VENT ID= 'přední plocha', SURF_ID='OPEN', XB=0.07,0.23, 0.07,0.07, -0.19,-0.11/
&VENT ID= 'zadní plocha', SURF_ID='OPEN', XB=0.07,0.23, 0.23,0.23, -0.11,0.20/
&VENT ID= 'zadní plocha', SURF_ID='OPEN', XB=0.07,0.23, 0.23,0.23, -0.19,-0.11/
&VENT ID= 'levá strana', SURF_ID='OPEN', XB=0.07,0.07, 0.07,0.23, -0.11,0.20/
&VENT ID= 'levá strana', SURF_ID='OPEN', XB=0.07,0.07, 0.07,0.23, -0.19,-0.11/
&VENT ID= 'pravá strana', SURF_ID='OPEN', XB=0.23,0.23, 0.07,0.23, -0.11,0.20/
&VENT ID= 'pravá strana', SURF_ID='OPEN', XB=0.23,0.23, 0.07,0.23, -0.19,-0.11/
...Oheň v zářiči...
&VENT ID= '4L', SURF_ID='FIRE', XB=0.11,0.11, 0.11,0.19, -0.08,-0.07, IOR=1,
COLOR='BLACK'/
&VENT ID= '4L', SURF_ID='FIRE', XB=0.10,0.11, 0.10,0.20, -0.08,-0.08,
IOR=-3, COLOR='BLACK'/
&VENT ID= '4P', SURF_ID='FIRE', XB=0.19,0.19, 0.11,0.19, -0.08,-0.07,
IOR=-1, COLOR='BLACK'/

```

```

&VENT ID=4P', SURF_ID='FIRE',
  IOR=-3, COLOR='BLACK'/
&VENT ID=4P', SURF_ID='FIRE',
  IOR=-3, COLOR='BLACK'/
&VENT ID=4P', SURF_ID='FIRE', XB=0.11,0.19, 0.10,0.11, -0.08,-0.07,   IOR=2,
  COLOR='BLACK'/
&VENT ID=4Z', SURF_ID='FIRE',
  IOR=-2, COLOR='BLACK'/
&VENT ID=4Z', SURF_ID='FIRE',
  IOR=-3, COLOR='BLACK'/
&VENT ID=3L', SURF_ID='FIRE',
  IOR=1,   COLOR='BLACK'/
&VENT ID=3L', SURF_ID='FIRE',
  XB=0.09,0.10, 0.09,0.21, -0.09,-0.09,
  IOR=-3, COLOR='BLACK'/
&VENT ID=3P', SURF_ID='FIRE',
  IOR=-3, COLOR='BLACK'/
&VENT ID=3P', SURF_ID='FIRE',
  IOR=-1, COLOR='BLACK'/
&VENT ID=3P', SURF_ID='FIRE',
  XB=0.20,0.20, 0.10,0.20, -0.09,-0.08,
  IOR=-2, COLOR='BLACK'/
&VENT ID=3Z', SURF_ID='FIRE',
  IOR=-2, COLOR='BLACK'/
&VENT ID=3Z', SURF_ID='FIRE',
  XB=0.10,0.20, 0.20,0.20, -0.09,-0.08,
  IOR=-3, COLOR='BLACK'/
&VENT ID=3Z', SURF_ID='FIRE',
  XB=0.10,0.20, 0.20,0.21, -0.09,-0.09,
  IOR=-3, COLOR='BLACK'/
&VENT ID=2L', SURF_ID='FIRE',
  IOR=1,   COLOR='BLACK'/
&VENT ID=2L', SURF_ID='FIRE',
  IOR=-3, COLOR='BLACK'/
&VENT ID=2P', SURF_ID='FIRE',
  IOR=-1, COLOR='BLACK'/
&VENT ID=2P', SURF_ID='FIRE',
  IOR=-3,   COLOR='BLACK'/
&VENT ID=2P', SURF_ID='FIRE',
  XB=0.09,0.21, 0.09,0.09, -0.10,-0.09,
  IOR=2,   COLOR='BLACK'/
&VENT ID=2P', SURF_ID='FIRE',
  IOR=-3, COLOR='BLACK'/
&VENT ID=2Z', SURF_ID='FIRE',
  IOR=-2, COLOR='BLACK'/
  XB=0.19,0.20, 0.10,0.20, -0.08,-0.08,
  XB=0.11,0.19, 0.10,0.11, -0.08,-0.08,
  XB=0.11,0.19, 0.11,0.11, -0.08,-0.07,   IOR=2,
  XB=0.11,0.19, 0.19,0.19, -0.08,-0.07,
  XB=0.11,0.19, 0.19,0.20, -0.08,-0.08,
  XB=0.10,0.10, 0.10,0.20, -0.09,-0.08,
  XB=0.09,0.10, 0.09,0.21, -0.09,-0.09,
  XB=0.20,0.20, 0.10,0.20, -0.09,-0.08,
  XB=0.20,0.21, 0.09,0.21, -0.09,-0.09,
  XB=0.10,0.20, 0.10,0.10, -0.09,-0.08,
  XB=0.10,0.20, 0.09,0.10, -0.09,-0.09,
  XB=0.10,0.20, 0.20,0.20, -0.09,-0.08,
  XB=0.10,0.20, 0.20,0.21, -0.09,-0.09,
  XB=0.09,0.09, 0.09,0.21, -0.10,-0.09,
  XB=0.08,0.09, 0.08,0.22, -0.10,-0.10,
  XB=0.21,0.21, 0.09,0.21, -0.10,-0.09,
  XB=0.21,0.22, 0.08,0.22, -0.10,-0.10,
  XB=0.09,0.21, 0.09,0.09, -0.10,-0.09,
  XB=0.09,0.21, 0.08,0.09, -0.10,-0.10,
  XB=0.09,0.21, 0.21,0.21, -0.10,-0.09,
  &VENT ID='ZZ', SURF_ID='FIRE',
  IOR=-3, COLOR='BLACK'/
  XB=0.09,0.21, 0.21,0.22, -0.10,-0.10,
  &VENT ID='1L', SURF_ID='FIRE',
  IOR=1,   COLOR='BLACK'/
  XB=0.08,0.08, 0.08,0.22, -0.11,-0.10,
  &VENT ID='1L', SURF_ID='FIRE',
  IOR=-3, COLOR='BLACK'/
  XB=0.07,0.08, 0.07,0.23, -0.11,-0.11,
  &VENT ID='1P', SURF_ID='FIRE',
  IOR=-1, COLOR='BLACK'/
  XB=0.22,0.22, 0.08,0.22, -0.11,-0.10,
  &VENT ID='1P', SURF_ID='FIRE',
  IOR=-3,   COLOR='BLACK'/
  XB=0.22,0.23, 0.07,0.23, -0.11,-0.11,
  &VENT ID='1P', SURF_ID='FIRE',
  IOR=2,   COLOR='BLACK'/
  XB=0.08,0.22, 0.08,0.08, -0.11,-0.10,
  &VENT ID='1P', SURF_ID='FIRE',
  IOR=-3, COLOR='BLACK'/
  XB=0.08,0.22, 0.07,0.08, -0.11,-0.11,
  &VENT ID='1Z', SURF_ID='FIRE',
  IOR=-3, COLOR='BLACK'/
  XB=0.08,0.22, 0.22,0.22, -0.11,-0.10,
  &VENT ID='1Z', SURF_ID='FIRE',
  IOR=-2, COLOR='BLACK'/
  XB=0.08,0.22, 0.22,0.23, -0.11,-0.11,
  &BNDF QUANTITY='RADIOMETER'/
  &BNDF QUANTITY='BURNING RATE'/
  &BNDF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=0.15/
  &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=0.15/
  &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=0.38/
  &DEVC ID='MPUA', XYZ=0.150,0.150, -0.185, IOR=3, QUANTITY='NORMALIZED MASS'/
  &DEVC ID='MLRPUA', XYZ=0.150,0.150, -0.185, IOR=3, QUANTITY='NORMALIZED MASS
  LOSS RATE', SPEC_ID='PYROLYZATE'/
  &TAIL /

```

# Příloha 4 – Zdrojový kód: Room Corner Test – Zkouška OSB – Verze 1

OSB deska je popsána pomocí HRR. Data byla získána ze zkoušky v kónickém kalorimetru v horizontální poloze vzorku. Zkouška proběhla v TÚPO.

```

&HEAD CHID=RCTOSB',
TITLE=Room corner test - oklad z OSB - FireLAB - UCCEB CVUT/
&DUMP RENDER_FILE='room_ref.ge1/'
&DUMP DT_RESTART=30.0/
...Výpočetní čas...
&TIME T_END=1800.0/
...Výpočetní oblast...
&MESH ID='mesh_2-a',           XB=3.8.5.3, -0.3.1.2, 0.0.2.0/
&MESH ID='mesh_2-b',           XB=3.8.5.3, 1.2.2.7, 0.0.2.0/
&MESH ID='mesh_2-c',           XB=3.8.5.3, -0.3.1.2, 2.0.4.5/
&MESH ID='mesh_2-d',           XB=3.8.5.3, 1.2.2.7, 2.0.4.5/
&MESH ID='mesh_2-e',           XB=5.3.6.8, -0.3.1.2, 0.0.2.0/
&MESH ID='mesh_2-f',           XB=5.3.6.8, 1.2.2.7, 0.0.2.0/
&MESH ID='mesh_2-g',           XB=5.3.6.8, -0.3.1.2, 2.0.4.5/
&MESH ID='mesh_2-h',           XB=5.3.6.8, 1.2.2.7, 2.0.4.5/
&MESH ID='mesh_1-a',           XB=0.0.1.9, 0.0.1.2, 0.0.2.4/
&MESH ID='mesh_1-b',           XB=1.9.3.8, 0.0.1.2, 0.0.2.4/
&MESH ID='mesh_1-c',           XB=0.0.1.9, 1.2.2.4, 0.0.2.4/
&MESH ID='mesh_1-d',           XB=1.9.3.8, 1.2.2.4, 0.0.2.4/ Celkem
62 388 buněk
&PART ID= 'SMOKE',
MASSLESS= .TRUE.,
MONODISPERSE= .TRUE.,
COLOR= 'BLACK',
SAMPLING_FACTOR= 10/
&REAC ID= 'PYROLYZATE',
C= 1,
H= 1.7,
O= 0.83,
SOOT_YIELD= 0.0053/
...Měřicí zařízení...
...Termočlánky...
&DEVC ID='T_strom_2.2m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.1,2.3,2.2,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/T26
&DEVC ID='T_stred_2.2m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.8,1.2,2.2,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/T09
&DEVC ID='T_stred_2.0m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.8,1.2,2.0,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/T08
&DEVC ID='T_stred_1.8m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.8,1.2,1.8,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/T07
&DEVC ID='T_stred_1.6m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.8,1.2,1.6,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/T06
&DEVC ID='T_stred_1.4m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.8,1.2,1.4,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/T05
&DEVC ID='T_stred_1.2m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.8,1.2,1.2,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/T04
&DEVC ID='T_stred_1.0m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.8,1.2,1.0,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/T03
&DEVC ID='T_stred_0.8m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.8,1.2,0.8,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/T02
&DEVC ID='T_stred_0.6m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.8,1.2,0.6,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/T01
&DEVC ID='T_strop_sj', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.8,1.2,2.3,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/T5j
&DEVC ID='T_strop_si', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.8,0.6,2.3,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/T5j
&DEVC ID='T_strop_sk', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.8,1.8,2.3,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/T5j
&DEVC ID='T_strop_sh', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=2.7,1.2,2.3,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/T5j
&DEVC ID='T_strop_sl', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.9,1.2,2.3,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/T5j
&DEVC ID='T_strom_2.1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=3.5,0.3,2.1,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/Tg
&DEVC ID='T_strom_1.7', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=3.5,0.3,1.7,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/Tf
&DEVC ID='T_strom_1.6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=3.5,0.3,1.6,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/Te
&DEVC ID='T_strom_1.4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=3.5,0.3,1.4,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/Td
&DEVC ID='T_strom_1.3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=3.5,0.3,1.3,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/Tc
&DEVC ID='T_strom_1.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=3.5,0.3,1.0,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/Tb

```

```

&DEVC ID=T_strom_0,7, QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=3.5,0.3,0.7,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/Ta
&DEVC ID=T_odvod', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=4.2,1.2,3.9,
ORIENTATION=0.0,0.0,-1.0/
...Radiometry...
&DEVC ID=RHFG_strop', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=1.8,1.2,2.3/
&DEVC ID=RHFG_podlaha', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=1.8,1.2,0.01, ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/
&DEVC ID=R_strop', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=1.8,1.2,2.3, IOR=-3/
&DEVC ID=R_podlaha', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=1.8,1.2,0.01, IOR=-3/
...Rychlost proudění...
&DEVC ID=A_dvere_1,8m', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=3.7,1.2,1.8,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID=A_dvere_1,0m', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=3.7,1.2,1.0,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID=A_dvere_0,2m', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=3.7,1.2,0.2,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
...Viditelnost...
&DEVC ID=V_2,0m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=2.6,1.2,2.0,
ORIENTATION=0.0,0.0,-1.0/
&DEVC ID=V_0,4 m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=2.6,1.2,0.4,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/
...Hmotnostní podíl CO2...
&DEVC ID=CO2_2,0m', QUANTITY='MASS FRACTION', SPEC_ID='CARBON
DIOXIDE', XYZ=1.0,1.2,2.0, ORIENTATION=0.0,0.0,-1.0/
&DEVC ID=CO2_0,4m', QUANTITY='MASS FRACTION', SPEC_ID='CARBON
DIOXIDE', XYZ=1.0,1.2,0.2/
&DEVC ID=CO2_odvod', QUANTITY='MASS FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE',
XYZ=4.2,1.2,3.9, ORIENTATION=0.0,0.0,-1.0/
...Kouř...
&DEVC ID=LAYER HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=1.8,1.8, 1.2,1.2,
0.0,2.4/výška vrstvy
&DEVC ID=OPT_odvod', QUANTITY='OPTICAL DENSITY', XYZ=4.2,1.2,3.9,
ORIENTATION=0.0,0.0,-1.0/ optická hustota
...Zkušební místnost...
...Materiály...
&SPEC ID='OXYGEN', MASS_FRACTION_0=0.23/
&SPEC ID='WATER VAPOR'/
&SPEC ID='CARBON DIOXIDE'/
&MATL ID='IZOLACE',
SPECIFIC_HEAT= 1.15,
CONDUCTIVITY= 0.054,
DENSITY= 350.0/
&MATL ID='CHAR',
DENSITY= 129.0,
CONDUCTIVITY= 0.2,
SPECIFIC_HEAT= 2.5/
&MATL ID='LAT',
SPECIFIC_HEAT= 2.51,
CONDUCTIVITY= 0.22,
DENSITY= 600.0,
HEAT_OF_COMBUSTION= 14500.0/
&MATL ID='OSB',
SPECIFIC_HEAT_RAMP= 'c_ramp',
CONDUCTIVITY_RAMP= 'k_ramp',
DENSITY= 600.0,
HEAT_OF_COMBUSTION=1
&RAMP ID='c_ramp', T= 20.0, F=1.66 /
&RAMP ID='c_ramp', T= 75.0, F=2.07 /
&RAMP ID='c_ramp', T=105.0, F=2.25 /
&RAMP ID='c_ramp', T=149.0, F=2.74 /
&RAMP ID='k_ramp', T= 20.0, F=0.164 /
&RAMP ID='k_ramp', T= 75.0, F=0.186 /
&RAMP ID='k_ramp', T=105.0, F=0.191 /
&RAMP ID='k_ramp', T=149.0, F=0.184 /
&MATL ID='OCEL',
SPECIFIC_HEAT= 0.46,
CONDUCTIVITY= 50.0,
DENSITY= 7850.0/
&MATL ID='POROBETON',
SPECIFIC_HEAT= 1.0,
CONDUCTIVITY= 0.12,
DENSITY= 500.0/
&SURF ID='OSB',
COLOR='WHITE',
BURN_AWAY=.TRUE.,
MATL_ID(1:1)='OSB',
MATL_ID(2:1:2)='LAT','IZOLACE',
MATL_MASS_FRACTION(2:1:2)= 0.1,0.9,
THICKNESS= 0.015,0.04,

```











```

&OBST XB=4.7,5.3, 0.6,0.6, 3.2,3.3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0.5,
RGB=150,150,150,, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150./ Zvon9H
&OBST XB=4.7,5.3, 1.8,1.8, 3.2,3.3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0.5,
RGB=150,150,150,, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150./ Zvon9H
&OBST XB=4.7,4.7, 0.6,1.8, 3.2,3.3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0.5,
RGB=150,150,150,, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150./ Zvon9H
&OBST XB=5.3,5.9, 0.6,0.6, 3.2,3.3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0.5,
RGB=150,150,150,, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150./ Zvon9H
&OBST XB=5.3,5.9, 1.8,1.8, 3.2,3.3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0.5,
RGB=150,150,150,, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150./ Zvon9H
&OBST XB=5.9,5.9, 0.6,1.8, 3.2,3.3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0.5,
RGB=150,150,150,, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150./ Zvon9H
&OBST XB=4.7,5.3, 0.6,0.7, 3.3,3.3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0.5,
RGB=150,150,150,, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150./ Zvon9H
&OBST XB=4.7,5.3, 1.7,1.8, 3.3,3.3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0.5,
RGB=150,150,150,, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150./ Zvon9H
&OBST XB=5.3,5.9, 0.6,0.7, 3.3,3.3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0.5,
RGB=150,150,150,, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150./ Zvon9H
&OBST XB=5.3,5.9, 1.7,1.8, 3.3,3.3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0.5,
RGB=150,150,150,, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150./ Zvon9H
&OBST XB=5.8,5.9, 0.7,1.7, 3.3,3.3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0.5,
RGB=150,150,150,, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150./ Zvon9H
..Otvory...
&HOLE XB=3.6,3.9, 0.8,1.6, 0.0,2.0/ dvere
&HOLE XB=4.7,4.9, 1.0,1.4, 3.8,4.2/ Hole
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=3.8,6.8, -0.3,-0.3, 0.0,4.5/ exterior_bok1
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=3.8,6.8, 2.7,2.7, 0.0,4.5/ exterior_bok2
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=3.8,3.8, -0.3,2.7, 2.4,4.5/ exterior_nad_dvermi
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=6.8,6.8, -0.3,2.7, 0.0,4.5/ exterior_predek
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=3.8,6.8, -0.3,2.7, 4.5,4.5/ exterior_horni_cast
&VENT SURF_ID='STENA', XB=0.0,3.6, 0.0,2.4, 2.4,2.4, COLOR='SEPIA'/
strop_bez_obkladu
&VENT SURF_ID='BURNER', XB=0.1,0.3, 2.1,2.3, 0.2,0.2/ horak
&VENT SURF_ID='Ventilator', XB=3.9,3.9, 1.0,1.4, 3.8,4.2, COLOR='BLACK'/ Ventilator

```

```

...Vysledky...
&BNDF QUANTITY='GAUGE HEAT FLUX'/
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/
&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE=5500/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=0.1/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=1.8/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=1.2/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=0.1/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=1.9/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=1.2/
&SLCF QUANTITY='OPTICAL DENSITY', PBX=1.2/
&SLCF QUANTITY='HRRPUV', PBX=1.2/
&SLCF QUANTITY='HRRPUV', PBZ=0.1/
&TAIL /

```

# Příloha 5 – Zdrojový kód: Room Corner Test – Zkouška OSB – Verze 2

Hoření je v této verzi popsáno pouze pomocí hodnot  
materiálových vlastností OSB desky.

```

RCTOSB.fds
&HEAD CHID=RCTOSB;
TITLE=Room corner test - oklad z OSB - FireLAB - UCEEB CVUT/
&DUMP RENDER FILE='room_ref.gel'/
&DUMP DT_RESTART=30.0/
...Výpočetní čas...
&TIME T_END=1800.0/
...Výpočetní oblast...
&MESH ID='mesh_2-a';
&MESH ID='mesh_2-b';
&MESH ID='mesh_2-c';
&MESH ID='mesh_2-d';
&MESH ID='mesh_2-e';
&MESH ID='mesh_2-f';
&MESH ID='mesh_2-g';
&MESH ID='mesh_2-h';
&MESH ID='mesh_1-a';
&MESH ID='mesh_1-b';
&MESH ID='mesh_1-c';
&MESH ID='mesh_1-d';
buněk
&PART ID='SMOKE';
MASSLESS= .TRUE.;
MONODISPERSE= .TRUE.;
COLOR= 'BLACK';
SAMPLING_FACTOR= 10/
&REAC ID='PYROLYZATE';
C=1;
H=1.7;
O=0.83;
SOOT_YIELD=0.0053/

...Měřicí zařízení...
...Termočlánky...
&DEVC ID= T_horak_2,2m', QUANTITY= 'TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/T26
&DEVC ID= T_stred_2,2m', QUANTITY= 'TEMPERATURE';
ORIENTATION=0.0.0.1.0/T09
&DEVC ID= T_stred_2,0m', QUANTITY= 'TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/T08
&DEVC ID= T_stred_1,8m', QUANTITY= 'TEMPERATURE';
ORIENTATION=0.0.0.1.0/T07
&DEVC ID= T_stred_1,6m', QUANTITY= 'TEMPERATURE';
ORIENTATION=0.0.0.1.0/T06
&DEVC ID= T_stred_1,4m', QUANTITY= 'TEMPERATURE';
ORIENTATION=0.0.0.1.0/T05
&DEVC ID= T_stred_1,2m', QUANTITY= 'TEMPERATURE';
ORIENTATION=0.0.0.1.0/T04
&DEVC ID= T_stred_1,0m', QUANTITY= 'TEMPERATURE';
ORIENTATION=0.0.0.1.0/T03
&DEVC ID= T_stred_0,8m', QUANTITY= 'TEMPERATURE';
ORIENTATION=0.0.0.1.0/T02
&DEVC ID= T_stred_0,6m', QUANTITY= 'TEMPERATURE';
ORIENTATION=0.0.0.1.0/T01
&DEVC ID= T_strop_sl', QUANTITY= 'TEMPERATURE';
ORIENTATION=0.0.0.1.0/Tsj
&DEVC ID= T_strop_sl', QUANTITY= 'TEMPERATURE';
ORIENTATION=0.0.0.1.0/Tsj
&DEVC ID= T_strop_sk', QUANTITY= 'TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/Tsj
&DEVC ID= T_strop_sh', QUANTITY= 'TEMPERATURE';
ORIENTATION=0.0.0.1.0/Tsj
&DEVC ID= T_strop_sl', QUANTITY= 'TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/Tsj
&DEVC ID= T_strom_2', QUANTITY= 'TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/Tg
&DEVC ID= T_strom_1,7', QUANTITY= 'TEMPERATURE';
ORIENTATION=0.0.0.1.0/Tf
&DEVC ID= T_strom_1,6', QUANTITY= 'TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/Te
&DEVC ID= T_strom_1,4', QUANTITY= 'TEMPERATURE';
ORIENTATION=0.0.0.1.0/Td
IJK=15,15,20, XB=3.8,5.3, -0.3,1.2, 0.0,2.0/
IJK=15,15,20, XB=3.8,5.3, 1.2,2.7, 0.0,2.0/
IJK=15,15,25, XB=3.8,5.3, -0.3,1.2, 2.0,4.5/
IJK=15,15,25, XB=3.8,5.3, 1.2,2.7, 2.0,4.5/
IJK=15,15,20, XB=5.3,6.8, -0.3,1.2, 0.0,2.0/
IJK=15,15,20, XB=5.3,6.8, 1.2,2.7, 0.0,2.0/
IJK=15,15,25, XB=5.3,6.8, -0.3,1.2, 2.0,4.5/
IJK=15,15,25, XB=5.3,6.8, 1.2,2.7, 2.0,4.5/
IJK=19,12,24, XB=0.0,1.9, 0.0,1.2, 0.0,2.4/
IJK=19,12,24, XB=1.9,3.8, 0.0,1.2, 0.0,2.4/
IJK=19,12,24, XB=0.0,1.9, 1.2,2.4, 0.0,2.4/
IJK=19,12,24, XB=1.9,3.8, 1.2,2.4, 0.0,2.4/ Celkem 62 388

```

```

&DEVC ID='T_odvod', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=4,2,1,2,3,9,
ORIENTATION=0,0,0,0,-1,0/termoúánek
&DEVC ID='T_strom_1,3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=3,5,0,3,1,3,
ORIENTATION=0,0,0,0,1,0/Tc
&DEVC ID='T_strom_1,0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=3,5,0,3,1,0,
ORIENTATION=0,0,0,0,1,0/Tb
&DEVC ID='T_strom_0,7', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=3,5,0,3,0,7,
ORIENTATION=0,0,0,0,1,0/Ta
...Radiometry...
&DEVC ID='RHFG_strop', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=1,8,1,2,2,3/
&DEVC ID='RHFG_podlaha', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=1,8,1,2,0,0,1,
ORIENTATION=0,0,0,0,1,0/
&DEVC ID='R_strop', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=1,8,1,2,2,3, IOR=-3/
&DEVC ID='R_podlaha', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=1,8,1,2,0,0,1, IOR=3/
...Rychlost proudění...
&DEVC ID='A_dvere_1,8m', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=3,7,1,2,1,8,
ORIENTATION=-1,0,0,0,0,0/
&DEVC ID='A_dvere_1,0m', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=3,7,1,2,1,0,
ORIENTATION=-1,0,0,0,0,0/
&DEVC ID='A_dvere_0,2m', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=3,7,1,2,0,2,
ORIENTATION=-1,0,0,0,0,0/
...Viditelnost...
&DEVC ID='V_2,0m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=2,6,1,2,2,0,
ORIENTATION=0,0,0,0,-1,0/
&DEVC ID='V_0,4 m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=2,6,1,2,0,4,
ORIENTATION=0,0,0,0,1,0/
...Podíl CO2...
&DEVC ID='CO2_2,0m', QUANTITY='MASS FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=1,0,1,2,2,0, ORIENTATION=0,0,0,0,-1,0/
&DEVC ID='CO2_0,4m', QUANTITY='MASS FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=1,0,1,2,0,2/
&DEVC ID='CO2_odvod', QUANTITY='MASS FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=4,2,1,2,3,9, ORIENTATION=0,0,0,0,-1,0/
...Kouř...
&DEVC ID='LAYER HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=1,8,1,8, 1,2,1,2, 0,0,2,4/
&DEVC ID='OPT_odvod', QUANTITY='OPTICAL DENSITY', XYZ=4,2,1,2,3,9, ORIENTATION=0,0,0,0,-1,0/
...Zkušební místnost...
.Materiály...
&SPEC ID=' OXYGEN', MASS_FRACTION_0=0.23/
&SPEC ID=' WATER VAPOR'/
&SPEC ID=' CARBON DIOXIDE'/
&MATL ID='IZOLACE',
SPECIFIC_HEAT=1,15,
CONDUCTIVITY=0,054,
DENSITY=350,0/
&MATL ID='CHAR',
DENSITY=129,0,
CONDUCTIVITY=0,2,
SPECIFIC_HEAT=2,5/
&MATL ID='LAT',
SPECIFIC_HEAT=2,51,
CONDUCTIVITY=0,22,
DENSITY=600,0,
SPEC_ID(1,1)=PYROLYZATE,
N_REACTIONS=1,
NU_SPEC(1,1)=0,82,
MATL_ID(2,12)='CHAR',
HEAT_OF_COMBUSTION=14500,0,
HEAT_OF_REACTION=1047,0,
EMISSION=0,9,
REFERENCE_TEMPERATURE = 350,
PYROLYSIS_RANGE = 100. /
&MATL ID='OSB',
SPECIFIC_HEAT_RAMP='c_ramp',
CONDUCTIVITY_RAMP='k_ramp',
DENSITY=600,0,
SPEC_ID(1,1)=PYROLYZATE',
N_REACTIONS=1,
NU_SPEC(1,1)=0,75,
MATL_ID(1,1)='CHAR',
NU_MATL(1,1)=0,25,
HEAT_OF_COMBUSTION=14500,0,
HEAT_OF_REACTION=1047,0,
A=2,38E06,
E=1,05E05 /
&RAMP ID='c_ramp', T= 20., F=1,66 /
&RAMP ID='c_ramp', T= 75., F=2,07 /
&RAMP ID='c_ramp', T=105., F=2,25 /
&RAMP ID='c_ramp', T=149., F=2,74 /

```

```

&RAMP ID='k_ramp', T= 20, F=0.164 /
&RAMP ID='k_ramp', T= 75, F=0.186 /
&RAMP ID='k_ramp', T=105, F=0.191 /
&RAMP ID='k_ramp', T=149, F=0.184 /
&MATL ID='OCEL',
  SPECIFIC_HEAT=0.46,
  CONDUCTIVITY=50.0,
  DENSITY=7850.0/
&MATL ID= 'POROBETON',
  SPECIFIC_HEAT=
    1.0,
  CONDUCTIVITY=
    0.12,
  DENSITY=
    500.0/
&SURF ID='OSB',
  COLOR='WHITE',
  BURN_AWAY=.TRUE.,
  BACKING='INSULATED',
  MATL_ID(1:1)='OSB',
  MATL_ID(2:1:2)='LAT',IZOLACE',
  MATL_MASS_FRACTION(2,1:2)=0.1,0.9,
  THICKNESS=0.015:0.04/
&SURF ID='STENA',
  COLOR='GRAY',
  DEFAULT=.TRUE.,
  BACKING='VOID',
  MATL_ID(1:1)='POROBETON',
  MATL_MASS_FRACTION(1:1)=1.0,
  THICKNESS=0.3/
&SURF ID='OCEL',
  COLOR='GRAY',
  MATL_ID(1:1)='OCEL',
  MATL_MASS_FRACTION(1:1)=1.0,
  BACKING = 'EXPOSED'
  THICKNESS(1)=0.01/
...Hořák...
&SURF ID='BURNER',
  COLOR='RED',
  TEXTURE_MAP='psm_fire.jpg',
  HRRPUA=7500.0,
  RAMP_Q='BURNER_RAMP_Q',
  PART_ID='SMOKE/'

&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=0.0, F=0.33/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=600.0, F=0.33/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=601.0, F=1.0/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1200.0, F=1.0/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1201.0, F=0.0/
...Ventilátor...
&SURF ID='Ventilator',
  COLOR='BLACK',
  VOLUME_FLOW=3.5/
...Geometrie konstrukci...
&VENT XB=0.0,0.0, 0.0,2.4, 0.0,2.4, COLOR='BRICK', SURF_ID='STENA' / zadní stena PB
&OBST XB=3.6,3.8, 0.0,2.4, 0.0,2.4, COLOR='BRICK', SURF_ID='STENA' / přední stena PB
&VENT XB=0.0,3.6, 0.0,0.0, 0.0,2.4, COLOR='BRICK', SURF_ID='STENA' / levá stena PB
&VENT XB=0.0,3.6, 2.4,2.4, 0.0,2.4, COLOR='BRICK', SURF_ID='STENA' / pravá stena PB
&OBST XB=0.0,0.1, 0.0,2.4, 0.0,2.4, COLOR='WHITE', SURF_ID='OSB' / zadní stena
&OBST XB=0.1,3.6, 0.0,1, 0.0,2.4, COLOR='WHITE', SURF_ID='OSB' / levá stena
&OBST XB=0.1,3.6, 2.3,2.4, 0.0,2.4, COLOR='WHITE', SURF_ID='OSB' / pravá stěna
&OBST XB=0.1,0.3, 2.1,2.3, 0.0,0.2, COLOR='BLACK', SURF_ID='STENA' / horak
&OBST XB=4.8,5.8, 0.7,1.7, 4.3,4.3, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='OCEL',
  TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150/
Zvon_lryt
&OBST XB=3.8,4.8, 1.0,1.0, 3.8,4.2, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='OCEL',
  TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150/
odvodi
&OBST XB=3.8,4.8, 1.4,1.4, 3.8,4.2, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='OCEL',
  TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150/
odvodz
&OBST XB=3.8,4.8, 1.0,1.4, 3.8,3.8, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='OCEL',
  TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150/
odvod3
&OBST XB=3.8,4.8, 1.0,1.4, 4.2,4.2, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='OCEL',
  TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150/
odvod4
&OBST XB=3.8,3.9, 1.0,1.4, 3.8,4.2, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0.5,
  RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150/ odvod
&OBST XB=4.8,5.3, 0.7,1.7, 3.8,3.8, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='OCEL',
  TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150/
zvon_bariera
&OBST XB=5.2,5.8, 0.7,1.7, 3.4,3.4, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0.5,
  RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150/ zvon_bariera2

```









```

&OBST XB=5,9,5,9, 0,6,1,8, 3,2,3,3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0,5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0,5, RGB=150,150,150/ Zvon9H
&OBST XB=4,7,4,8, 0,7,1,7, 3,3,3,3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0,5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0,5, RGB=150,150,150/ Zvon9H
&OBST XB=4,7,5,3, 0,6,0,7, 3,3,3,3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0,5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0,5, RGB=150,150,150/ Zvon9H
&OBST XB=4,7,5,3, 1,7,1,8, 3,3,3,3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0,5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0,5, RGB=150,150,150/ Zvon9H
&OBST XB=5,3,5,9, 0,6,0,7, 3,3,3,3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0,5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0,5, RGB=150,150,150/ Zvon9H
&OBST XB=5,3,5,9, 1,7,1,8, 3,3,3,3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0,5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0,5, RGB=150,150,150/ Zvon9H
&OBST XB=5,8,5,9, 0,7,1,7, 3,3,3,3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0,5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0,5, RGB=150,150,150/ Zvon9H
...Otvory...
&HOLE XB=3,6,3,9, 0,8,1,6, 0,0,2,0/ dveře
&HOLE XB=4,7,4,9, 1,0,1,4, 3,8,4,2/ Hole
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=3,8,6,8, -0,3,-0,3, 0,0,4,5/ exterior_bok1
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=3,8,6,8, 2,7,2,7, 0,0,4,5/ exterior_bok2
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=3,8,3,8, -0,3,2,7, 2,4,4,5/ exterior_nad_dvermi
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=6,8,6,8, -0,3,2,7, 0,0,4,5/ exterior_predek
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=3,8,6,8, -0,3,2,7, 4,5,4,5/ exterior_horni_cast
&VENT SURF_ID='STENA', XB=0,0,3,6, 0,0,2,4, 2,4,2,4, COLOR='SEPIA/
strop_bez_obkladu
&VENT SURF_ID='BURNER', XB=0,1,0,3, 2,1,2,3, 0,2,0,2/ horak
&VENT SURF_ID='Ventilator', XB=3,9,3,9, 1,0,1,4, 3,8,4,2, COLOR='BLACK/ Ventilator
...Výsledky...
&BNDF QUANTITY='GAUGE HEAT FLUX/
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE/
&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE=550,0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=0,1/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=1,8/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=1,2/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=2,3/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=0,1/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=1,9/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBY=1,2/
&SLCF QUANTITY='OPTICAL DENSITY', PBY=1,2/
&SLCF QUANTITY='HRRPUV', PBY=1,2/
&SLCF QUANTITY='HRRPUV', PBZ=0,1/
&TAIL /

```

# Příloha 6 – Zdrojový kód: Room Corner Test – Zkouška OSB Firestop – Verze 1

```

HRR z horizontálního měření v kónickém kalorimetru.
RCTOSBH.fds
&HEAD CHID= 'RCTOSBH',
TITLE= 'Room corner test - oklad z OSB - FireLAB - UCEEB CVUT/'
&DUMP RENDER_FILE= 'room_ref.get/'
&DUMP DT_RESTART= 30.0/
...Výpočetní čas...
&TIME T_END= 1800.0/
...Výpočetní oblast...
&MESH ID= 'mesh_2-a',
&MESH ID= 'mesh_2-b',
&MESH ID= 'mesh_2-c',
&MESH ID= 'mesh_2-d',
&MESH ID= 'mesh_2-e',
&MESH ID= 'mesh_2-f',
&MESH ID= 'mesh_2-g',
&MESH ID= 'mesh_2-h',
&MESH ID= 'mesh_1-a',
&MESH ID= 'mesh_1-b',
&MESH ID= 'mesh_1-c',
&MESH ID= 'mesh_1-d',
buněk
&PART ID= 'SMOKE',
MASSLESS= .TRUE.,
MONODISPERSE= .TRUE.,
COLOR= 'BLACK',
SAMPLING_FACTOR= 10/
&REAC ID= 'PYROLYZATE',
C=1,
H=17,
O=0.83,
SOOT_YIELD=0.0053/
...Měřicí zařízení...
...Termočlánky...
&DEVC ID= 'T_strom_2.2m', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ=0.1,2.3,2.2,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/T26
&DEVC ID= 'T_stred_2.2m', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ=1.8,1.2,2.2,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/T09
&DEVC ID= 'T_stred_2.0m', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ=1.8,1.2,2.0,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/T08
&DEVC ID= 'T_stred_1.8m', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ=1.8,1.2,1.8,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/T07
&DEVC ID= 'T_stred_1.6m', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ=1.8,1.2,1.6,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/T06
&DEVC ID= 'T_stred_1.4m', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ=1.8,1.2,1.4,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/T05
&DEVC ID= 'T_stred_1.2m', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ=1.8,1.2,1.2,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/T04
&DEVC ID= 'T_stred_1.0m', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ=1.8,1.2,1.0,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/T03
&DEVC ID= 'T_stred_0.8m', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ=1.8,1.2,0.8,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/T02
&DEVC ID= 'T_stred_0.6m', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ=1.8,1.2,0.6,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/T01
&DEVC ID= 'T_strop_sj', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ=1.8,1.2,2.3,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/Tsj
&DEVC ID= 'T_strop_si', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ=1.8,0.6,2.3,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/Tsj
&DEVC ID= 'T_strop_sk', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ=1.8,1.8,2.3,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/Tsj
&DEVC ID= 'T_strop_sh', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ=2.7,1.2,2.3,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/Tsj
&DEVC ID= 'T_strop_sl', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ=0.9,1.2,2.3,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/Tsj
&DEVC ID= 'T_strom_2.1', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ=3.5,0.3,2.1,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/Tg
&DEVC ID= 'T_strom_1.7', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ=3.5,0.3,1.7,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/Tf
&DEVC ID= 'T_strom_1.6', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ=3.5,0.3,1.6,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/Te
&DEVC ID= 'T_strom_1.4', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ=3.5,0.3,1.4,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/Td
&DEVC ID= 'T_strom_1.3', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ=3.5,0.3,1.3,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/Tc
&DEVC ID= 'T_strom_1.0', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ=3.5,0.3,1.0,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/Tb
&DEVC ID= 'T_strom_0.7', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ=3.5,0.3,0.7,
ORIENTATION=0.0,0.1,0/Ta

```

```

&DEVC ID='T_odvod', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=4,2,1,2,3,9,
ORIENTATION=0,0,0,0,-1,0/
...Radiometry...
&DEVC ID='RHFG_strop', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=1,8,1,2,2,3/
&DEVC ID='RHFG_podlaha', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=1,8,1,2,0,0,1,
ORIENTATION=0,0,0,0,1,0/
&DEVC ID='R_strop', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=1,8,1,2,2,3, IOR=-3/
&DEVC ID='R_podlaha', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=1,8,1,2,0,0,1, IOR=3/
...Rychlost proudění...
&DEVC ID='A_dvere_1,8m', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=3,7,1,2,1,8,
ORIENTATION=-1,0,0,0,0,0/
&DEVC ID='A_dvere_1,0m', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=3,7,1,2,1,0,
ORIENTATION=-1,0,0,0,0,0/
&DEVC ID='A_dvere_0,2m', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=3,7,1,2,0,2,
ORIENTATION=-1,0,0,0,0,0/
...Viditelnost...
&DEVC ID='V_2,0m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=2,6,1,2,2,0,
ORIENTATION=0,0,0,0,-1,0/
&DEVC ID='V_0,4 m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=2,6,1,2,0,4,
ORIENTATION=0,0,0,0,1,0/
...Podíl CO2...
&DEVC ID='CO2_2,0m', QUANTITY='MASS FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE',
XYZ=1,0,1,2,2,0, ORIENTATION=0,0,0,0,-1,0/
&DEVC ID='CO2_0,4m', QUANTITY='MASS FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE',
XYZ=1,0,1,2,0,2/
&DEVC ID='CO2_odvod', QUANTITY='MASS FRACTION', SPEC_ID='CARBON
DIOXIDE', XYZ=4,2,1,2,3,9, ORIENTATION=0,0,0,0,-1,0/
...Kouř...
&DEVC ID='LAYER HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=1,8,1,8, 1,2,1,2, 0,0,2,4/
&DEVC ID='OPT_odvod', QUANTITY='OPTICAL DENSITY', XYZ=4,2,1,2,3,9,
ORIENTATION=0,0,0,0,-1,0/
...Kúšební místnost...
...Materiály...
&SPEC ID='OXYGEN', MASS_FRACTION_0=0.23/
&SPEC ID='WATER VAPOR/'
&SPEC ID='CARBON DIOXIDE/'
&MATL ID='IZOLACE',
SPECIFIC_HEAT=1,15,
CONDUCTIVITY=0,054,
DENSITY=350,0/
&MATL ID='CHAR',
DENSITY=129,0,
CONDUCTIVITY=0,2,
SPECIFIC_HEAT=2,5/
&MATL ID='LAT',
SPECIFIC_HEAT=2,51,
CONDUCTIVITY=0,22,
DENSITY=600,0,
HEAT_OF_COMBUSTION=14500,0/
&MATL ID='OSB',
SPECIFIC_HEAT_RAMP='c_ramp',
CONDUCTIVITY_RAMP='k_ramp',
DENSITY=600,0,
HEAT_OF_COMBUSTION=14500,0/
&RAMP ID='c_ramp', T=20, F=1,66 /
&RAMP ID='c_ramp', T=75, F=2,07 /
&RAMP ID='c_ramp', T=105, F=2,25 /
&RAMP ID='c_ramp', T=149, F=2,74 /
&RAMP ID='k_ramp', T=20, F=0,164 /
&RAMP ID='k_ramp', T=75, F=0,186 /
&RAMP ID='k_ramp', T=105, F=0,191 /
&RAMP ID='k_ramp', T=149, F=0,184 /
&MATL ID='OCEL',
SPECIFIC_HEAT=0,46,
CONDUCTIVITY=50,0,
DENSITY=7850,0/
&MATL ID='POROBETON',
SPECIFIC_HEAT=1,0,
CONDUCTIVITY=0,12,
DENSITY=5000/
&SURF ID='OSB',
COLOR='WHITE',
BURN_AWAY=TRUE,
MATL_ID(1:1)='OSB',
MATL_ID(2,1:2)='LAT', IZOLACE,
MATL_MASS_FRACTION(2,1:2)=0,10,9,
THICKNESS=0,015,0,04,
HRRPUA=16849,2,
RAMP_Q='OBKLAD_RAMP_Q',
IGNITION_TEMPERATURE=260,0/

```

```

&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=20.0, F=0.002/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=120.0, F=0.022/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=185.0, F=0.031/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=205.0, F=0.041/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=230.0, F=0.103/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=240.0, F=0.250/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=260.0, F=0.456/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=275.0, F=0.585/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=300.0, F=0.685/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=340.0, F=0.656/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=385.0, F=0.579/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=420.0, F=0.506/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=560.0, F=0.442/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=670.0, F=0.557/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=735.0, F=0.709/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=790.0, F=0.840/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=795.0, F=0.774/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=860.0, F=0.949/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=890.0, F=1.000/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=925.0, F=0.807/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=955.0, F=0.406/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=995.0, F=0.203/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=1070.0, F=0.123/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=1125.0, F=0.101/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=1200.0, F=0.075/
&SURF ID='STENA',
COLOR='GRAY',
DEFAULT=.TRUE.,
BACKING='VOID',
MATL_ID(1)=POROBETON',
MATL_MASS_FRACTION(1)=1.0,
THICKNESS=0.3/
&SURF ID='OCEL',
COLOR='GRAY',
MATL_ID(1)=OCEL',
MATL_MASS_FRACTION(1)=1.0,
BACKING = 'EXPOSED'
THICKNESS(1)=0.01/
...Hořák...
&SURF ID='BURNER',
COLOR='RED',
TEXTURE_MAP='psm_fire.jpg',
HRRPUA=7500.0,
RAMP_Q='BURNER_RAMP_Q',
PART_ID='SMOKE/'
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=0.0, F=0.33/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=600.0, F=0.33/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=601.0, F=1.0/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1200.0, F=1.0/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1201.0, F=0.0/
...Ventilátor...
&SURF ID='Ventilator',
COLOR='BLACK',
VOLUME_FLOW=3.5/
...Geometrie konstrukci...
&VENT XB=0.0,0.0, 0.0,2.4, 0.0,2.4, COLOR='BRICK', SURF_ID='STENA'/ zadní stena PB
&OBST XB=3.6,3.8, 0.0,2.4, 0.0,2.4, COLOR='BRICK', SURF_ID='STENA'/ přední stena PB
&VENT XB=0.0,3.6, 0.0,0.0, 0.0,2.4, COLOR='BRICK', SURF_ID='STENA'/ levá stena PB
&VENT XB=0.0,3.6, 2.4,2.4, 0.0,2.4, COLOR='BRICK', SURF_ID='STENA'/ pravá stena PB
&OBST XB=0.0,0.1, 0.0,2.4, 0.0,2.4, COLOR='WHITE', SURF_ID='OSB'/ zadní stena
&OBST XB=0.1,3.6, 0.0,0.1, 0.0,2.4, COLOR='WHITE', SURF_ID='OSB'/ levá stena
&OBST XB=0.1,3.6, 2.3,2.4, 0.0,2.4, COLOR='WHITE', SURF_ID='OSB'/ pravá stěna
&OBST XB=0.1,0.3, 2.1,2.3, 0.0,0.2, COLOR='BLACK', SURF_ID='STENA'/ horak
&OBST XB=4.8,5.8, 0.7,1.7, 4.3,4.3, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='OCEL',
TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150/
Zvon_lryt
&OBST XB=3.8,4.8, 1.0,1.0, 3.8,4.2, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='OCEL',
TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150/
odvod1
&OBST XB=3.8,4.8, 1.4,1.4, 3.8,4.2, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='OCEL',
TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150/
odvod2
&OBST XB=3.8,4.8, 1.0,1.4, 3.8,3.8, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='OCEL',
TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150/
odvod3
&OBST XB=3.8,4.8, 1.0,1.4, 4.2,4.2, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='OCEL',
TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150/
odvod4

```







```

&OBST XB=5,3,5,9, 0,6,0,6, 3,2,3,3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0,5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0,5, RGB=150,150,150,/ Zvon9V
&OBST XB=5,3,5,9, 1,8,1,8, 3,2,3,3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0,5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0,5, RGB=150,150,150,/ Zvon9V
&OBST XB=5,9,5,9, 0,6,1,8, 3,2,3,3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0,5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0,5, RGB=150,150,150,/ Zvon9V
&OBST XB=4,7,4,8, 0,7,1,7, 3,3,3,3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0,5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0,5, RGB=150,150,150,/ Zvon9H
&OBST XB=4,7,5,3, 0,6,0,7, 3,3,3,3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0,5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0,5, RGB=150,150,150,/ Zvon9H
&OBST XB=4,7,5,3, 1,7,1,8, 3,3,3,3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0,5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0,5, RGB=150,150,150,/ Zvon9H
&OBST XB=5,3,5,9, 0,6,0,7, 3,3,3,3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0,5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0,5, RGB=150,150,150,/ Zvon9H
&OBST XB=5,3,5,9, 1,7,1,8, 3,3,3,3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0,5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0,5, RGB=150,150,150,/ Zvon9H
&OBST XB=5,8,5,9, 0,7,1,7, 3,3,3,3, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0,5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0,5, RGB=150,150,150,/ Zvon9H
...Otvory...
&HOLE XB=3,6,3,9, 0,8,1,6, 0,0,2,0/ dvere
&HOLE XB=4,7,4,9, 1,0,1,4, 3,8,4,2/ Hole
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=3,8,6,8, -0,3,-0,3, 0,0,4,5/ exterior_bok1
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=3,8,6,8, 2,7,2,7, 0,0,4,5/ exterior_bok2
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=3,8,3,8, -0,3,2,7, 2,4,4,5/ exterior_nad_dvermi
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=6,8,6,8, -0,3,2,7, 0,0,4,5/ exterior_predek
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=3,8,6,8, -0,3,2,7, 4,5,4,5/ exterior_horni_cast
&VENT SURF_ID='STENA', XB=0,0,3,6, 0,0,2,4, 2,4,2,4, COLOR='SEPIA/
strop_bez_obkladu
&VENT SURF_ID='BURNER', XB=0,10,3, 2,1,2,3, 0,2,0,2/ horak
&VENT SURF_ID='Ventilator', XB=3,9,3,9, 1,0,1,4, 3,8,4,2, COLOR='BLACK'/ Ventilator
...Výsledky...
&BNDF QUANTITY='GAUGE HEAT FLUX'/
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/
&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE=550,0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=0,1/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=1,8/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=1,2/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=2,3/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=0,1/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=1,9/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBY=1,2/
&SLCF QUANTITY='OPTICAL DENSITY',
&SLCF QUANTITY='HRRPUV',
&SLCF QUANTITY='HRRPUV',
&SLCF QUANTITY='HRRPUV',
&TAIL /
PBY=1,2/
PBZ=0,1/
PBZ=0,1/

```



# Příloha 7 – Zdrojový kód: Room Corner Test – Zkouška OSB Firestop

```

HRR z vertikálního měření v kónickém kalorimetru.
RCTOSBV.fds
&HEAD CHID='RCTOSBV',
TITLE='Room corner test - oklad z OSB - FireLAB - UCEEB CVUT/'
&DUMP RENDER_FILE='room_ref.gel/'
&DUMP DT_RESTART=30.0/
...Výpočetní čas...
&TIME T_END=1800.0/
...Výpočetní oblast...
&MESH ID='mesh_2-a',
&MESH ID='mesh_2-b',
&MESH ID='mesh_2-c',
&MESH ID='mesh_2-d',
&MESH ID='mesh_2-e',
&MESH ID='mesh_2-f',
&MESH ID='mesh_2-g',
&MESH ID='mesh_2-h',
&MESH ID='mesh_1-a',
&MESH ID='mesh_1-b',
&MESH ID='mesh_1-c',
&MESH ID='mesh_1-d',
buněk
&PART ID='SMOKE',
MASSLESS=.TRUE.,
MONODISPERSE=.TRUE.,
COLOR='BLACK',
SAMPLING_FACTOR=10/
&REAC ID='PYROLYZATE',
C=1,
H=17,
O=0.83,
SOOT_YIELD=0.0053/
...Měřicí zařízení...
...Termočlánky...
&DEVC ID='T_horak_2.2m', QUANTITY='TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/T26
&DEVC ID='T_stred_2.2m', QUANTITY='TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/T09
&DEVC ID='T_stred_2.0m', QUANTITY='TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/T08
&DEVC ID='T_stred_1.8m', QUANTITY='TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/T07
&DEVC ID='T_stred_1.6m', QUANTITY='TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/T06
&DEVC ID='T_stred_1.4m', QUANTITY='TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/T05
&DEVC ID='T_stred_1.2m', QUANTITY='TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/T04
&DEVC ID='T_stred_1.0m', QUANTITY='TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/T03
&DEVC ID='T_stred_0.8m', QUANTITY='TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/T02
&DEVC ID='T_stred_0.6m', QUANTITY='TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/T01
&DEVC ID='T_strop_sj', QUANTITY='TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/Tsj
&DEVC ID='T_strop_si', QUANTITY='TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/Tsj
&DEVC ID='T_strop_sk', QUANTITY='TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/Tsj
&DEVC ID='T_strop_sh', QUANTITY='TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/Tsj
&DEVC ID='T_strop_sl', QUANTITY='TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/Tsj
&DEVC ID='T_strom_2t', QUANTITY='TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/Tg
&DEVC ID='T_strom_1t', QUANTITY='TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/Tf
&DEVC ID='T_strom_1.6', QUANTITY='TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/Te
&DEVC ID='T_strom_1.4', QUANTITY='TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/Td
&DEVC ID='T_strom_1.3', QUANTITY='TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/Tc
&DEVC ID='T_strom_1.0', QUANTITY='TEMPERATURE',
ORIENTATION=0.0.0.1.0/Tb
&DEVC ID='T_strom_0.7', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=3.5.0.3.0.7, ORIENTATION=0.0.0.0.1.0/Ta
XYZ=1.8.1.2.2.0,
XYZ=1.8.1.2.1.8,
XYZ=1.8.1.2.1.6,
XYZ=1.8.1.2.1.4,
XYZ=1.8.1.2.1.2,
XYZ=1.8.1.2.1.0,
XYZ=1.8.1.2.0.8,
XYZ=1.8.1.2.0.6,
XYZ=1.8.1.2.2.3,
XYZ=1.8.0.6.2.3,
XYZ=1.8.1.8.2.3,
XYZ=2.7.1.2.2.3,
XYZ=0.9.1.2.2.3,
XYZ=3.5.0.3.2.1,
XYZ=3.5.0.3.1.7,
XYZ=3.5.0.3.1.6,
XYZ=3.5.0.3.1.4,
XYZ=3.5.0.3.1.3,
XYZ=3.5.0.3.1.0,
ORIENTATION=0.0.0.0.1.0/Tb
&DEVC ID='T_strom_0.7', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=3.5.0.3.0.7, ORIENTATION=0.0.0.0.1.0/Ta

```

```

&DEVC ID='T_odvod', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=4.2,1.2,3.9,
ORIENTATION=0.0,0.0,-1.0/
...Radiometry...
&DEVC ID='RHFG_strop', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=1.8,1.2,2.3/
&DEVC ID='RHFG_podlaha', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=1.8,1.2,0.01,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/
&DEVC ID='R_strop', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=1.8,1.2,2.3, IOR=-3/
&DEVC ID='R_podlaha', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=1.8,1.2,0.01, IOR=3/
...Rychlost proudění...
&DEVC ID='A_dvere_1,8m', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=3.7,1.2,1.8,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='A_dvere_1,0m', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=3.7,1.2,1.0,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='A_dvere_0,2m', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=3.7,1.2,0.2,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/rych
...Viditelnost...
&DEVC ID='V_2,0m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=2.6,1.2,2.0,
ORIENTATION=0.0,0.0,-1.0/
&DEVC ID='V_0,4 m', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=2.6,1.2,0.4,
ORIENTATION=0.0,0.0,1.0/
...Podíl CO2...
&DEVC ID='CO2_2,0m', QUANTITY='MASS FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE',
XYZ=1.0,1.2,2.0, ORIENTATION=0.0,0.0,-1.0/
&DEVC ID='CO2_0,4m', QUANTITY='MASS FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE',
XYZ=1.0,1.2,0.2/
&DEVC ID='CO2_odvod', QUANTITY='MASS FRACTION', SPEC_ID='CARBON
DIOXIDE', XYZ=4.2,1.2,3.9, ORIENTATION=0.0,0.0,-1.0/hmotnostni podil
...Kouř...
&DEVC ID='LAYER HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=1.8,1.8, 1.2,1.2, 0.0,2.4/
&DEVC ID='OPT_odvod', QUANTITY='OPTICAL DENSITY', XYZ=4.2,1.2,3.9,
ORIENTATION=0.0,0.0,-1.0/
...Zkušební místnost...
...Materiály...
&SPEC ID='OXYGEN', MASS_FRACTION_0=0.23/
&SPEC ID='WATER VAPOR'/
&SPEC ID='CARBON DIOXIDE'/
&MATL ID='IZOLACE',
SPECIFIC_HEAT=1.15,
CONDUCTIVITY=0.054,
DENSITY=350.0/
&MATL ID='CHAR',
DENSITY=129.0,
CONDUCTIVITY=0.2,
SPECIFIC_HEAT=2.5/
&MATL ID='LAT',
SPECIFIC_HEAT=2.51,
CONDUCTIVITY=0.22,
DENSITY=600.0,
HEAT_OF_COMBUSTION=14500.0,/
&MATL ID='OSB',
SPECIFIC_HEAT_RAMP='c_ramp',
CONDUCTIVITY_RAMP='k_ramp',
DENSITY=600.0,
HEAT_OF_COMBUSTION=14500.0,/
&RAMP ID='c_ramp', T=20, F=1.66 /
&RAMP ID='c_ramp', T=75, F=2.07 /
&RAMP ID='c_ramp', T=105, F=2.25 /
&RAMP ID='k_ramp', T=149, F=2.74 /
&RAMP ID='k_ramp', T=20, F=0.164 /
&RAMP ID='k_ramp', T=75, F=0.186 /
&RAMP ID='k_ramp', T=105, F=0.191 /
&RAMP ID='k_ramp', T=149, F=0.184 /
&MATL ID='OCEL',
SPECIFIC_HEAT=0.46,
CONDUCTIVITY=50.0,
DENSITY=7850.0/
&MATL ID='POROBETON',
SPECIFIC_HEAT=1.0,
CONDUCTIVITY=0.12,
DENSITY=5000/
&SURF ID='OSB',
COLOR='WHITE',
BURN_AWAY=TRUE,
MATL_ID(1:1)='OSB',
MATL_ID(2,1:2)='LAT',IZOLACE',
MATL_MASS_FRACTION(2,1:2)=0.10,9,
THICKNESS=0.015,0.04,
HRRPUA=12594.4,
RAMP_Q='OBKLAD_RAMP_Q',
IGNITION_TEMPERATURE=260.0/

```

```

&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=100.0, F=0.007/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=120.0, F=0.017/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=290.0, F=0.037/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=340.0, F=0.048/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=445.0, F=0.061/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=510.0, F=0.074/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=605.0, F=0.089/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=610.0, F=0.389/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=625.0, F=0.581/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=685.0, F=0.657/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=745.0, F=0.753/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=805.0, F=0.853/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=895.0, F=0.922/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=965.0, F=1.000/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=1005.0, F=1.000/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=1035.0, F=0.873/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=1065.0, F=0.693/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=1120.0, F=0.407/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=1165.0, F=0.204/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=1200.0, F=0.163/
&RAMP ID='OBKLAD_RAMP_Q', T=1320.0, F=0.150/
&SURF ID='STENA',
COLOR='GRAY',
DEFAULT=.TRUE.,
BACKING='VOID',
MATL_ID(1:1)='POROBETON',
MATL_MASS_FRACTION(1:1)=1.0,
THICKNESS=0.3/
&SURF ID='OCEL',
COLOR='GRAY',
MATL_ID(1:1)='OCEL',
MATL_MASS_FRACTION(1:1)=1.0,
BACKING = 'EXPOSED'
THICKNESS(1)=0.01/
...Hofák...
&SURF ID='BURNER',
COLOR='RED',
TEXTURE_MAP='psm_fire.jpg',
HRRPUA=7500.0,
RAMP_Q='BURNER_RAMP_Q',
PART_ID='SMOKE'/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=0.0, F=0.33/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=600.0, F=0.33/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=601.0, F=1.0/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1200.0, F=1.0/
&RAMP ID='BURNER_RAMP_Q', T=1201.0, F=0.0/
...Ventilátor...
&SURF ID='Ventilator',
COLOR='BLACK',
VOLUME_FLOW=3.5/
...Geometrie konstrukcí...
&VENT XB=0.0,0.0, 0.0,2.4, 0.0,2.4, COLOR='BRICK', SURF_ID='STENA'/ zadní stena PB
&OBST XB=3.6,3.8, 0.0,2.4, 0.0,2.4, COLOR='BRICK', SURF_ID='STENA'/ přední stena PB
&VENT XB=0.0,3.6, 0.0,0.0, 0.0,2.4, COLOR='BRICK', SURF_ID='STENA'/ levá stena PB
&VENT XB=0.0,3.6, 2.4,2.4, 0.0,2.4, COLOR='BRICK', SURF_ID='STENA'/ pravá stena PB
&OBST XB=0.0,0.1, 0.0,2.4, 0.0,2.4, COLOR='WHITE', SURF_ID='OSB'/ zadní stena
&OBST XB=0.1,3.6, 0.0,1, 0.0,2.4, COLOR='WHITE', SURF_ID='OSB'/ levá stena
&OBST XB=0.1,3.6, 2.3,2.4, 0.0,2.4, COLOR='WHITE', SURF_ID='OSB'/ pravá stěna
&OBST XB=0.1,0.3, 2.1,2.3, 0.0,0.2, COLOR='BLACK', SURF_ID='STENA'/ horak
&OBST XB=4.8,5.8, 0.7,1.7, 4.3,4.3, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='OCEL',
TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150/
Zvon_lryt
&OBST XB=3.8,4.8, 1.0,1.4, 3.8,4.2, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='OCEL',
TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150/
odvod1
&OBST XB=3.8,4.8, 1.4,1.4, 3.8,4.2, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='OCEL',
TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150/
odvod2
&OBST XB=3.8,4.8, 1.0,1.4, 3.8,3.8, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='OCEL',
TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150/
odvod3
&OBST XB=3.8,4.8, 1.0,1.4, 4.2,4.2, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='OCEL',
TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150/
odvod4
&OBST XB=3.8,3.9, 1.0,1.4, 3.8,4.2, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0.5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150/ odvod
&OBST XB=4.8,5.3, 0.7,1.7, 3.8,3.8, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='OCEL',
TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150/
zvon_bariera
&OBST XB=5.2,5.8, 0.7,1.7, 3.4,3.4, SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0.5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0.5, RGB=150,150,150/ zvon_bariera2

```







```

&OBST XB=4,7,4,8, 0,7,1,7, 3,3,3,3,    SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0,5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0,5, RGB=150,150,150/ Zvon9H
&OBST XB=4,7,5,3, 0,6,0,7, 3,3,3,3,    SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0,5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0,5, RGB=150,150,150/ Zvon9H
&OBST XB=4,7,5,3, 1,7,1,8, 3,3,3,3,    SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0,5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0,5, RGB=150,150,150/ Zvon9H
&OBST XB=5,3,5,9, 0,6,0,7, 3,3,3,3,    SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0,5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0,5, RGB=150,150,150/ Zvon9H
&OBST XB=5,3,5,9, 1,7,1,8, 3,3,3,3,    SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0,5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0,5, RGB=150,150,150/ Zvon9H
&OBST XB=5,8,5,9, 0,7,1,7, 3,3,3,3,    SURF_ID='OCEL', TRANSPARENCY=0,5,
RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0,5, RGB=150,150,150/ Zvon9H
...Otvory...
&HOLE XB=3,6,3,9, 0,8,1,6, 0,0,2,0/ dvere
&HOLE XB=4,7,4,9, 1,0,1,4, 3,8,4,2/ Hole
&VENT SURF_ID='OPEN',    XB=3,8,6,8, -0,3,-0,3, 0,0,4,5/ exterior_bok1
&VENT SURF_ID='OPEN',    XB=3,8,6,8, 2,7,2,7, 0,0,4,5/ exterior_bok2
&VENT SURF_ID='OPEN',    XB=3,8,3,8, -0,3,2,7, 2,4,4,5/ exterior_nad_dvermi
&VENT SURF_ID='OPEN',    XB=6,8,6,8, -0,3,2,7, 0,0,4,5/ exterior_predek
&VENT SURF_ID='OPEN',    XB=3,8,6,8, -0,3,2,7, 4,5,4,5/ exterior_horni_cast
&VENT SURF_ID='STENA',   XB=0,0,3,6, 0,0,2,4, 2,4,2,4, COLOR='SEPIA'
strop_bez_obkladu
&VENT SURF_ID='BURNER',   XB=0,1,0,3, 2,1,2,3, 0,2,0,2/ horak
&VENT SURF_ID='Ventilator', XB=3,9,3,9, 1,0,1,4, 3,8,4,2, COLOR='BLACK'/ Ventilator
...Vysledky...
&BNDF QUANTITY='GAUGE HEAT FLUX'/
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/
&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE=550,0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=0,1/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=1,8/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=1,2/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=2,3/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=0,1/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=1,9/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=1,2/
&SLCF QUANTITY='OPTICAL DENSITY',          PBX=1,2/
&SLCF QUANTITY='HRRPUV',                   PBX=1,2/
&SLCF QUANTITY='HRRPUV',                   PBZ=0,1/
&TAIL /

```

## Příloha 8 – Fotografie ze zkoušky Room Corner Testu

Dne 7.12 2017 proběhla v Univerzitním centru efektivních budov požární zkouška Room Corner Test. Zkoušen byl obklad z desek OSB Firestop. Následující fotografie byly pořízeny během této zkoušky.

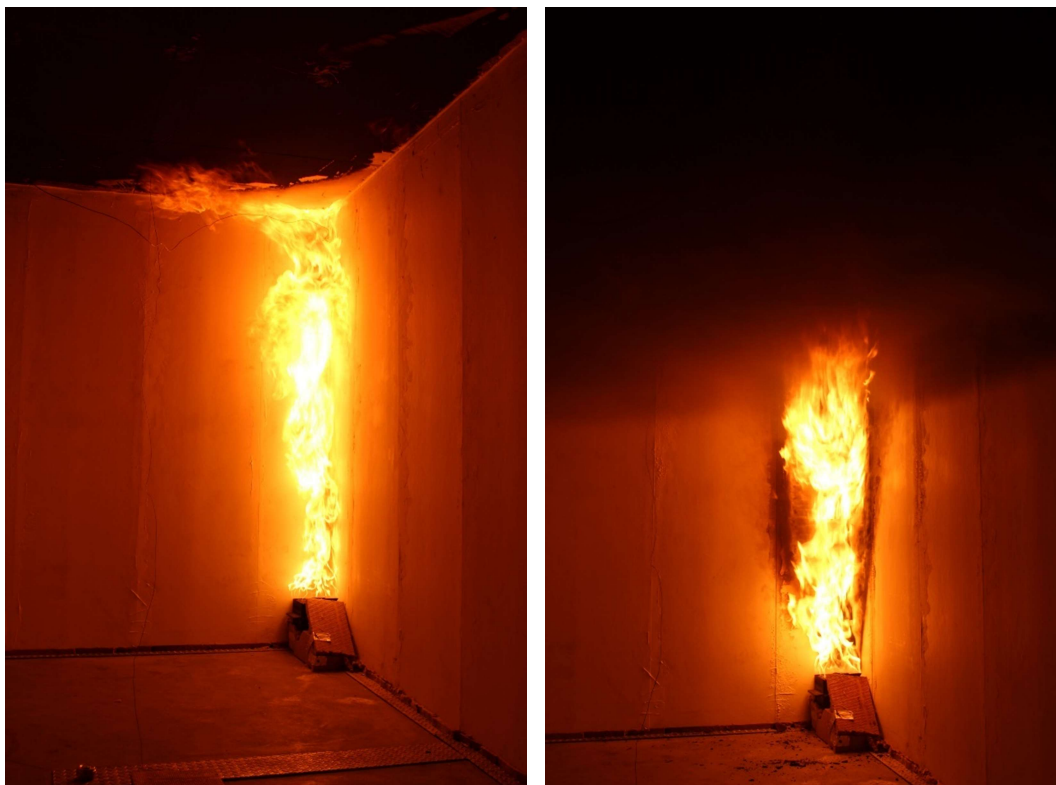


*Detail rohu místnosti. Při montáži a po zkoušce.*



*Propanový hořák zakrytý izolantem z minerální vaty.*

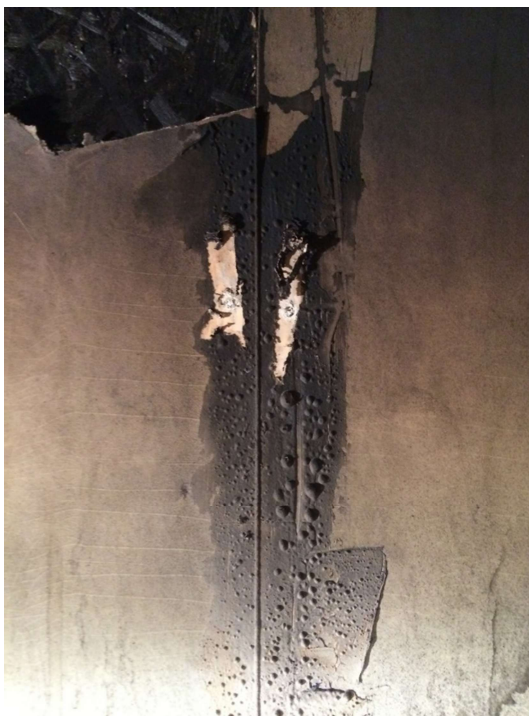




*Hořá: po zapálení a při poklesu kouřové vrstvy o 1,5 m*



*Šíření požáru spárami*



*Detail spáry, kterou se rozšířil požár.*



*Detail odpadnuté svrchní vrstvy z Pirotitu.*

## Seznam obrázků

Obr. 1 Teplota spalování pro různá paliva (Převzato z [4]).....	6
Obr. 2 Schématické zobrazení kónického kalorimetru (Převzato a přeloženo z [4]).....	9
Obr. 3 - Setchkinova pec (Převzato z [7]).....	13
Obr. 4 Room corner test (Převzato a přeloženo z [10]).....	14
Obr. 5 Propanový pískový hořák: (1) písek; (2) ocelové sítko; (3) štěrk; (4) ocelové sítko; (5) podlaha zkušební; (6) přívod plynu.....	15
Obr. 6 Digestoř a odvodní potrubí: (1) vodící lopatky; (2) Pitotova trubice; (3) vodící lopatky; (4) čistič odpadních plynů; (5) lampa, světelná clona; (6) analyzátor plynu; (7) spalinové potrubí; (8) otvory 3000×3000 mm; (9) rám z ocelového profilu 50×100×3,2 mm; (10) ocelové plechy 1000×3000 mm; (11) ocelové desky 2×500×900 mm; (12) digestoř z ocelových desek tl. 2 mm; (13) průřez spalinovým potrubím ze 4 ocelových desek.....	16
Obr. 7 Intermediate-scale calorimeter (Převzato z [2]) .....	19
Obr. 8 Příklad umístění sítě v souřadnicovém systému.....	25
Obr. 9 Pravidla pro napojení více sítí: (a) ideální napojení; (b) Vhodný způsob napojení dvou sítí s rozdílnou hustotou – hranice buněk k sobě přiléhají; (c) Možný způsob, ale ne nejvhodnější; (d) Nemožný způsob napojení. Převzato a přeloženo z [22]. .....	26
Obr. 10 Schéma zařazení materiálu dle jeho vlastností do kategorie (Převzato a přeloženo z [12]).....	32
Obr. 11 Schéma výběru vhodného modelu pro modelování a analýzu dat.....	33
Obr. 12 Zjednodušený model kónického kalorimetru v FDS .....	38
Obr. 13 Schéma rozměru kónického kalorimetru.....	39
Obr. 14 Porovnání opakování výpočtu HRR desky PMMA v FDS pro ověření výsledků .....	42
Obr. 15 Rychlost uvolňování tepla naměřena v TÚPO a porovnaná s měřením v FDS .....	43
Obr. 16 Rychlost úbytku hmotnosti naměřená v TÚPO a porovnaná s výsledky FDS.....	44
Obr. 17 Postupné odhořívání PMMA desky v FDS (a) 0s; (b) 50s; (c) 100s; (d) 150s; (e) 200s; (f) 282s; (g) 284s; (h) 288s; (i) 293s; (j) 309s; (k) 318s; (l) 329s; (m) 346s; (n) 352s; (o) 382s; (p) 429s; (q) Teplotní stupnice .....	45
Obr. 18 Měrná tepelná kapacita.....	49
Obr. 19 Součinitel tepelné vodivosti.....	49
Obr. 20 Rychlost uvolňování tepla na měřená v TÚPO a porovnaná s měřením v FDS – Verze 1.....	50
Obr. 21 Rychlost uvolňování tepla na měřená v TÚPO a porovnaná s měřením v FDS – Verze 2.....	51
Obr. 22 Porovnání dvou verzí výpočtu FDS se zkouškou měřenou v TÚPO.....	51

Obr. 23 Deska OSB Superfinish ECO: (a) Vzorek vyfoceny před zkouškou; (b) Vzorek vyfoceny po spálení v kónickém kalorimetru.....	52
Obr. 24 Zkušební místnost Room Corner Test namodelovaná v FDS .....	53
Obr. 25 Schématické zakreslení horizontálního řezu stěnou .....	54
Obr. 26 Rozmístění termočlánků: (a) na stropě; (b) na stromě uprostřed zkušební místnosti; (c) na stromě v rohu zkušební místnosti.....	55
Obr. 27 HRR naměřené v kónickém kalorimetru v TÚPO ve dvou polohách.....	56
Obr. 28 Průběh HRR hořáku .....	57
Obr. 29 HRR naměřené v UCEEB .....	58
Obr. 30 HRR naměřené ve dvou modelech a porovnané se skutečnou zkouškou měřenou v UCEEB .....	59
Obr. 31 HRR podělené osmnácti naměřených modelů a porovnané s výsledky skutečné zkoušky .....	59
Obr. 32 Porovnání hodnot HRR naměřených ve dvou modelech .....	61
Obr. 33 Porovnání naměřených hodnot HRR: Prvního modelu popsaného pomocí HRR obkladových desek a poděleného osmnácti. Druhého naměřeného modelu a HRR získaného ze zkoušky v kónickém kalorimetru .....	62

## Seznam tabulek

Tab. 1 Materiálové vlastnosti PMMA získané z [25].....	40
Tab. 2 Porovnání hodnot naměřených při reálné zkoušce s modelem v FDS.....	44
Tab. 3 Materiálové vlastnosti desky OSB Superfinish ECO – zadání 1. verze .....	48
Tab. 4 Materiálové vlastnosti desky OSB Superfinish ECO – zadání 2. verze .....	48
Tab. 5 Porovnání naměřených hodnot HRR reálné zkoušky s modely FDS .....	52
Tab. 6 Materiálové vlastnosti jednotlivých částí obkladu.....	57
Tab. 7 Porovnání maximálních hodnot HRR reálné zkoušky a modelu RCT .....	60
Tab. 8 Materiálové vlastnosti dřevěných latí .....	61
Tab. 9 Porovnání maximálních hodnot HRR naměřených ve dvou modelech. ....	62

---

## Literatura

- [1] O. Dvořák, „Požární charakteristiky pro pokročilé modelování požáru“, *TZB Info*, roč. 2016, led. 2016.
- [2] R. E. Lyon, *Fire Calorimetry*. Federal Aviation Administration Technical Center Atlantic City International Airport, 1995.
- [3] V. Babraukas, *Ten Years of Heat Release Research with the Cone Calorimeter*, Heat Release and Fire Hazard. Tsukuba, Japan: Building Research Institute, 1993.
- [4] J. Lindholm, A. Brink, a M. Hupa, „Cone Calorimeter – A Tool for Measuring Heat Release Rate“, *IFRF – Finn. Flame Res. Comm.*, roč. 2009, lis. 2014.
- [5] W. J. Parker, „Calculations of the Heat Release Rate by Oxygen Consumption for Various Applications“, *US Dep. Commer.*, bře. 1982.
- [6] P. Hejtmánek a H. Najmanová, „Rychlost uvolňování tepla jako parametr pro hodnocení chování materiálů při požáru“, *Materiály Stavbu*, č. 4/2015, dub. 2015.
- [7] N. P. Setchkin, „A Method and Apparatus for Determining the Ignition Characteristics of Plastics“. US Department of Commerce National Bureau of Standards, 1949.
- [8] A. T. Johnson, A. D. Schlosser, G. D. Kirk, a G. L. Long, „Automatic Determination of Ignition Temperature“, *Agric. Eng. Dep. Univ. Md.*
- [9] „ČSN 64 0149 - Stanovení vznětlivosti materiálů“. Český normalizační institut, 10-1977.
- [10] „ISO 9705-1:2016 - Reaction to fire test - Room corner test for wall and ceiling lining products - Part 1: Test method for a small room“. International Organization for Standardization, úno-2016.
- [11] A. R. Parkes, „The Impact of Size and Location of Pool Fires on Compartment Fire Behaviour“. University of Canterbury, 2009.
- [12] M. Esther Kim a N. Dembsey, *Engineering Guide for Estimating Material Pyrolysis Properties for Fire Modeling*. Worcester Polytechnic Institute, 2012.
- [13] F. Wald *et al.*, *Modelování dynamiky požáru v budovách*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2017.
- [14] „ASTM E1591 - 13, Standard Guide for Obtaining Data for Fire Growth Models“. ASTM International, West Conshohocken, 2013.
- [15] P. Smardz, „Validation of Fire Dynamics Simulator (FDS) for forced and natural convection flows“. University of Ulster, 2006.
- [16] B. Karlsson a J. G. Quintiere, *Enclosure Fire Dynamics*. United States of America: CRC Press LLC, 2000.
- [17] P. J. DiNenno *et al.*, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, roč. III. Quincy, Massachusetts: e National Fire Protection Association.
- [18] J. Bulisová a a kol., *Ottov všeobecná encyklopedie*. Ottovo nakladatelství, s.r.o., 2003.
- [19] K. McGrattan, S. Hostikka, R. McDermott, J. Floyd, C. Weinschenk, a K. Overholt, *Fire Dynamics Simulator, Technical Reference Guide, Volume 3: Validation*, 6. vyd. National Institute of Standards and Technology, US Department of Commerce.

- [20] „ASTM E1355, Standard Guide for Evaluating the Predictive Capability of Deterministic Fire Models". ASTM International, West Conshohocken, 2012.
- [21] K. McGrattan, S. Hostikka, R. McDermott, J. Floyd, C. Weinschenk, a K. Overholt, *Fire Dynamics Simulator, Technical Reference Guide, Volume 1: Mathematical Model*, 6. vyd. National Institute of Standards and Technology, US Department of Commerce.
- [22] K. McGrattan, S. Hostikka, R. McDermott, J. Floyd, C. Weinschenk, a K. Overholt, *Fire Dynamics Simulator User's Guide*, 6. vyd. National Institute of Standards and Technology, US Department of Commerce.
- [23] G. T. Linteris, L. Gewuerz, K. McGrattan, a G. Forney, *Modeling Solid Sample Burning with FDS*. National Institute of Standards and Technology, US Department of Commerce, 2004.
- [24] J. Mandínek, „Požárně technické charakteristiky dřeva v CFD modelech". České Vysoké Učení Technické v Praze, led-2016.
- [25] M. Pokorný, „Instalační šachty z požárního hlediska". České Vysoké Učení Technické v Praze, 2012.
- [26] Q. Xu, A. Majlingova, M. Zachar, C. Jin, a Y. Jiang, „Correlation analysis of cone calorimetry test data assessment of the procedure with tests of different polymers", *J. Therm. Anal. Calorim.*, roč. 110, č. 1, s. 65–70, říj. 2012.
- [27] W. R. Zeng, S. F. Li, a W. K. Chow, „Review on Chemical Reactions of Burning Poly(methyl methacrylate) PMMA", *J. FIRE Sci.*, č. vol. 20, zář. 2002.
- [28] *EN 300:2006 – Oriented strand boards (OSB) – Definitions, classification and specifications*. British Standards Institution, 2006.
- [29] „Kronobuild - katalog výrobků Kronospan". Kronospan, 2015.
- [30] A. Sinha, J. A. Nairn, a R. Gupta, *Thermal degradation of bending strength of plywood and oriented strand board: a kinetics approach*. Department of Wood Science and Engineering, 2009.
- [31] L. Beda a A. Szabó, „Determination of thermal decomposition reaction characteristics (A, E) of wood samples for Fire Dynamics Simulation". Institute of Disaster Management and Fire Protection Engineering, Szent István University, 2013.
- [32] „ISO 9705-2:2001 - Reaction-to-fire tests - Full-scale room tests for surface products - Part 2: Technical background and guidance". International Organization for Standardization, kvě-2001.
- [33] B. Karlsson, „A mathematical model for calculating heat release rate in the room corner test", *Fire Saf. J.*, roč. 20, č. 2, s. 93–113, led. 1993.
- [34] Z. Wang, X. Hu, F. Jia, a E. R. Galea, „A two-step method for predicting time to flashover in room corner test fires using cone calorimeter data", *Fire Mater.*, roč. 37, č. 6, s. 457–473, říj. 2013.
- [35] D. O. Tobeck, M. J. Spearpoint, a C. M. Fleischmann, „Data Structures for Fire Test Information Exchange Using XML", *Fire Technol.*, roč. 49, č. 1, s. 135–153, led. 2013.
- [36] A. Poulsen, A. Bwalya, a G. Jomaas, „Evaluation of the Onset of Flashover in Room Fire Experiments", *Fire Technol.*, roč. 49, č. 4, s. 891–905, říj. 2013.