

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb

Studijní program: Integrovaná bezpečnost staveb



Diplomová práce

**Analýza okrajových podmínek pro velkorozměrovou
požární zkoušku fasádních systémů aktuálně
vyvíjenou v EU**

Analysis of boundary conditions for large-scale fire testing of façade systems
currently under development in the EU

Bc. Václav Kobilík

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

2024

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kobilík** Jméno: **Václav** Osobní číslo: **486159**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra konstrukcí pozemních staveb**
Studijní program: **Integrální bezpečnost staveb**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Analýza okrajových podmínek pro velkorozměrovou požární zkoušku fasádních systémů aktuálně vyvíjenou v EU

Název diplomové práce anglicky:

Analysis of boundary conditions for large-scale fire testing of façade systems currently under development in the EU

Pokyny pro vypracování:

- 1/ Stav poznání v oblasti požárních zkoušek fasádních systémů
- 2/ Aktuální aktivity v oblasti velkorozměrových zkoušek fasádních systémů v ČR (viz dále zdroj [4])
- 3/ Rešerše současného stavu vývoje jednotné evropské metodiky zkoušení fasád
- 4/ Analýza účinku zpětné radiace tepla od zdroje hoření odraženého od okolních konstrukcí zpět na zkušební vzorek
- 5/ Případová studie – matematický CFD model v programu FDS
- 6/ Doporučení pro navazující výzkum

Seznam doporučené literatury:

- [1] HEJTMÁNEK, P. Disertační práce – Odstupové vzdálenosti požárně otevřených fasád. Praha, 2019. ČVUT.
- [2] RISE | Project “Finalisation of the European approach to assess the fire performance of facades”
- [3] BRINDZOVÁ, A. Diplomová práce – Požární bariéry pro větrané dutiny fasádních systémů. Praha, 2022. ČVUT.
- [4] Požární bezpečnost kontaktních zateplovacích systémů (ETICS). Návrh zkušební metodiky. Informativní podklad k jednání TNK27. 10/2022. UCEEB ČVUT v Praze. Veřejná zakázka České agentury pro standardizaci: Rozborové úkoly k řešení problematických oblastí z hlediska požadavků technických norem.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Marek Pokorný, Ph.D. katedra konstrukcí pozemních staveb FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **22.02.2024**

Termín odevzdání diplomové práce: **20.05.2024**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Marek Pokorný, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Jiří Pazderka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval mému vedoucímu diplomové práce Ing. Marku Pokornému, Ph.D. za odborné rady, konzultace a věnovaný čas při zpracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. arch. Petrovi Hejtmánkovi, Ph.D. a doc. Ing. Vladimírovi Mózerovi, Ph.D. za poskytnutí důležitých podkladů a cenných rad při zpracování matematického modelu. Zároveň bych chtěl poděkovat mé rodině za podporu během celého studia.

V Praze dne 20.5.2024

Bc. Václav Kobilík

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Marka Pokorného, Ph.D. a veškerou literaturu jsem uvedl na konci této práce v seznamu použité literatury. Také souhlasím s použitím tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 20.5.2024

Bc. Václav Kobilík

Abstrakt

Jedním z klíčových témat v oblasti požární ochrany je posuzování fasádních systémů z hlediska požární bezpečnosti. V EU se momentálně vyvíjí nová metodika pro velkorozměrové zkoušení požárních vlastností fasádních systémů. Cílem je sjednotit postup zkoušení v celé EU. Jedna z navrhovaných zkoušek bude vycházet z aktuálně platné britské normy BS 8414 a bude představovat velkorozměrovou požární zkoušku s velkým účinkem požáru. Při provádění požárních zkoušek ve zkušebních halách je klíčové vytvořit takové prostředí, které bude poskytovat spolehlivé a opakovatelné výsledky. Ve vnitřním prostředí může průběh zkoušky ovlivnit například teplota okolí, vlhkost vzduchu nebo přísun a ventilace vzduchu. Zásadní však může být účinek zpětné radiace od okolních odrazivých povrchů zpět na zkušební vzorek. První část teoretické práce je věnována současnému stavu poznání v oblasti požárních zkoušek fasád a aktuálnímu vývoji jednotné evropské metodiky pro velkorozměrové zkoušení fasádních systémů. Další část se věnuje popisu aktuálních aktivit v oblasti velkorozměrového zkoušení v ČR. V následující kapitole je podrobně popsána problematika účinku zpětné radiace odraženého od okolních konstrukcí zpět na zkušební vzorek. Práce se také zabývá popisem skutečného požáru fasády bytového domu ve Valencii. Poslední část je věnována požárním simulacím s využitím matematického CFD modelu. V této případové studii jsou vytvořeny modely v programu FDS, na kterých je zkoumáno, zda mohou okolní povrchy ovlivnit testovaný fasádní systém z hlediska zpětné radiace. Princip numerických modelů je založen na porovnávání dvou modelů, kdy jeden je vytvořen bez okolních odrazivých konstrukcí. Závěr práce je zaměřen na podrobné zkoumání výsledných hodnot z obou modelů a na doporučení pro navazující výzkum.

Klíčová slova

Fasáda; požár; emisivita; požární zkouška; CFD model; HRR; radiace; tepelný tok; FDS

Abstract

One of the key topics in the field of fire protection is the assessment of façade systems in terms of fire safety. A new methodology for large-scale testing of the fire properties of façade systems is currently being developed in the EU. The aim is to unify the testing procedure across the EU. One of the proposed tests will be based on the currently valid British standard BS 8414 and will represent a large-scale fire test using large fire exposure. When conducting fire tests in test halls, it is crucial to create an environment that provides reliable and repeatable results. In an indoor environment, the test can be influenced by factors such as ambient temperature, air humidity, and air supply and ventilation. However, the effect of back radiation from surrounding reflective surfaces back onto the test sample can be critical. The first part of the theoretical work is devoted to the current state of knowledge in the field of façade fire tests and the ongoing development of a unified European methodology for large-scale testing of façade systems. The next part describes current activities in the field of large-scale testing in the Czech Republic. The following chapter provides a detailed description of the issue of back radiation effects reflected from surrounding structures back onto the test sample. The work also describes an actual fire of a residential building façade in Valencia. The last part is dedicated to fire simulations using a mathematical CFD model. In this case study, models are created in the FDS program to examine whether surrounding surfaces can affect the tested façade system in terms of back radiation. The principle of numerical models is based on comparing two models, one of which is created without surrounding reflective structures. The conclusion of the work focuses on a detailed examination of the resulting values from both models and provides recommendations for further research.

Keywords

Façade; fire; emissivity; fire test; CFD model; HRR; radiation; heat flux; FDS

Obsah

Poděkování	5
Prohlášení	6
Abstrakt	7
Abstract	8
Obsah	9
Seznam obrázků	11
Seznam tabulek	13
Seznam použitých symbolů a zkratk	14
1 Úvod	16
1.1 Motivace.....	16
1.2 Stanovení výzkumné otázky	16
1.3 Cíle práce	16
2 Současný stav poznání v oblasti požárních zkoušek fasádních systémů	17
2.1 Požární zkoušky malého rozměru.....	17
2.1.1 Požární zkoušky pro zařazení do tříd reakce na oheň.....	17
2.1.2 Šíření plamene po povrchu stavebních hmot	19
2.2 Požární zkoušky středního rozměru	21
2.3 Požární zkoušky velkého rozměru.....	21
2.3.1 Velkorozměrové požární zkoušky v Evropě.....	21
2.3.2 Velkorozměrové požární zkoušky provedené v ČR	24
2.3.3 Velkorozměrové požární zkoušky v Severní Americe	25
3 Aktuální aktivity v oblasti velkorozměrových zkoušek fasádních systémů v ČR	27
4 Současný vývoj jednotné evropské metodiky pro hodnocení fasádních systémů z pohledu požární bezpečnosti	30
4.1 Základní popis velkorozměrové požární zkoušky s velkým účinkem požáru.....	30
4.1.1 Zkušební zařízení	30
4.1.2 Spalovací komora	31
4.1.3 Zdroj paliva	32
4.1.4 Přístrojové vybavení.....	33
4.1.5 Okolní podmínky prostředí.....	33
4.1.6 Průběh zkoušky.....	34
4.1.7 Hodnotící kritéria.....	34
4.2 Základní popis velkorozměrové požární zkoušky se středním účinkem požáru	35
4.3 Experimentální testování „Round Robin“	36
4.4 Návrh evropského klasifikačního systému fasádních systémů pro EN 13501	37
5 Analýza účinku zpětné radiace tepla při požárních zkouškách	38
5.1 Vliv odrazivých povrchů při vnitřní požární zkoušce.....	38

5.2	Základní teorie sdílení tepla	39
5.3	Fyzikální charakteristiky materiálů a povrchů	40
5.4	Geometrie prostoru.....	42
6	Případová studie fasádního požáru.....	44
7	Analýza zpětné radiace tepla s využitím CFD modelů pro požární zkoušky	48
7.1	Výpočetní program FDS	48
7.2	CFD model velkorozměrové požární zkoušky s velkým účinkem požáru.....	48
7.2.1	Základní geometrie.....	49
7.2.2	Výpočetní síť.....	49
7.2.3	Materiálové charakteristiky.....	51
7.2.4	Zdroj hoření	51
7.2.5	Měřicí zařízení	52
7.2.6	Diskuze získaných výsledků	52
7.3	CFD model středněrozměrové zkoušky	58
7.3.1	Základní geometrie modelu	59
7.3.2	Výpočetní síť.....	59
7.3.3	Materiálové charakteristiky.....	61
7.3.4	Doplňující vstupní údaje.....	61
7.3.5	Měřicí zařízení	61
7.3.6	Diskuze získaných výsledků	62
8	Závěr.....	70
8.1	Závěr k rešeršní části.....	70
8.2	Závěr k numerickým CFD modelům	70
8.3	Doporučení pro navazující výzkum	71
9	Vizuální příloha k CFD modelům.....	72
	Literatura.....	78
	Příloha 1 – Zdrojový kód FDS pro velkorozměrovou požární zkoušku.....	81
	Příloha 2 – Zdrojový kód FDS pro modifikovanou středněrozměrovou zkoušku	86

Seznam obrázků

Obrázek 2-1 Zařízení pro zkoušení reakce na oheň dle požárních zkoušek malého rozměru.....	19
Obrázek 2-2 Index šíření plamene po povrchu dle ČSN 73 0863.....	20
Obrázek 2-3 Ukázka ze středněrozměrové požární zkoušky dle ČSN ISO 13785-1 [15]	21
Obrázek 2-4 Ukázka z velkorozměrových požárních zkoušek fasádních systémů	24
Obrázek 2-5 Průběh velkorozměrové požární zkoušky dle ISO 13785-2 [25]	24
Obrázek 2-6 Velkorozměrové zkoušky fasádního systému v Severní Americe.....	26
Obrázek 3-1 Rozmístění termočlánků pro velkorozměrovou zkoušku [31].....	28
Obrázek 3-2 Průběh velkorozměrové požární zkoušky s EPS.....	29
Obrázek 4-1 Velkorozměrová požární zkouška s velkým účinkem požáru (převzato z [16])	31
Obrázek 4-2 Geometrie spalovací komory velkorozměrové požární zkoušky (převzato z [16])	31
Obrázek 4-3 Zkouška dřevěné hranice pro velkorozměrovou požární zkoušku [16]	32
Obrázek 4-4 Rozmístění termočlánků na zkušebním zařízení (převzato z [16])	33
Obrázek 4-5 Velkorozměrová zkouška se středním účinkem požáru [16].....	36
Obrázek 5-1 Fotografie z požární zkoušky fasádního systému (zdroj: ČVUT).....	38
Obrázek 5-2 Schematické znázornění rozdělení dopadajícího záření na povrch materiálu [37]	41
Obrázek 6-1 Bytový dům ve Valencii [42].....	44
Obrázek 6-2 Průběh požáru bytového domu ve Valencii – první fáze [43]	45
Obrázek 6-3 Průběh požáru bytového domu ve Valencii – druhá fáze [43]	46
Obrázek 6-4 Budova obytného komplexu ve Valencii po požáru [44].....	46
Obrázek 7-1 Základní geometrie modelu	49
Obrázek 7-2 Vizualizace obou modelů velkorozměrové zkoušky	50
Obrázek 7-3 Rychlost uvolňování tepla (HRR) pro definovanou hořící dřevěnou hranici.....	51
Obrázek 7-4 Umístění termočlánků a radiometrů.....	52
Obrázek 7-5 Průběh teplot – termočlánky ve svislé linii	53
Obrázek 7-6 Průběh teplot – měřicí zařízení teploty ve svislé linii.....	54
Obrázek 7-7 Průběh teplot ve výšce 4500 mm nad horním okrajem spalovací komory.....	54
Obrázek 7-8 Průběh teplot ve výšce 500 mm nad horním okrajem spalovací komory.....	55
Obrázek 7-9 Průběh hustoty tepelného toku.....	56
Obrázek 7-10 Teplotní rozdělení na povrchu konstrukce v čase 900 s	56
Obrázek 7-11 Požární laboratoř na UCEEB ČVUT (zdroj: ČVUT).....	58
Obrázek 7-12 Základní geometrie modifikované středněrozměrové zkoušky.....	59
Obrázek 7-13 Vizualizace obou modelů modifikované středněrozměrové zkoušky	60
Obrázek 7-14 Poloha termočlánků.....	62
Obrázek 7-15 Průběh teploty – termočlánek č. 01 a č. 16.....	63
Obrázek 7-16 Průběh teploty – termočlánek č. 04	63
Obrázek 7-17 Průběh teploty – termočlánek č. 19	64
Obrázek 7-18 Teplota povrchu konstrukce – měřicí bod č. 01 a č. 16.....	64
Obrázek 7-19 Teplota povrchu konstrukce – měřicí bod č. 04	65
Obrázek 7-20 Teplota povrchu konstrukce – měřicí bod č. 19	65

Obrázek 7-21 Průběh teploty – termočlánek č. 21	66
Obrázek 7-22 Teplota povrchu konstrukce – měřicí bod č. 21	66
Obrázek 7-23 Průběh hustoty tepelného toku – radiometr č. 04.....	67
Obrázek 7-24 Průběh hustoty tepelného toku – radiometr č. 19.....	67
Obrázek 7-25 Teplotní rozdělení na povrchu konstrukce v čase 1800 s.....	68
Obrázek 7-26 Citlivostní analýza – měřicí bod teploty č. 04.....	69
Obrázek 7-27 Citlivostní analýza – měřicí bod teploty č. 19.....	69
Obrázek 9-1 Teplota na povrchu konstrukce v čase 0 s – velkorozměrová zkouška	72
Obrázek 9-2 Teplota na povrchu konstrukce v čase 300 s – velkorozměrová zkouška.....	72
Obrázek 9-3 Teplota na povrchu konstrukce v čase 600 s – velkorozměrová zkouška.....	73
Obrázek 9-4 Teplota na povrchu konstrukce v čase 900 s – velkorozměrová zkouška.....	73
Obrázek 9-5 Teplota na povrchu konstrukce v čase 0 s – středněrozměrová zkouška.....	74
Obrázek 9-6 Teplota na povrchu konstrukce v čase 300 s – středněrozměrová zkouška	74
Obrázek 9-7 Teplota na povrchu konstrukce v čase 600 s – středněrozměrová zkouška	75
Obrázek 9-8 Teplota na povrchu konstrukce v čase 900 s – středněrozměrová zkouška	75
Obrázek 9-9 Teplota na povrchu konstrukce v čase 1200 s – středněrozměrová zkouška.....	76
Obrázek 9-10 Teplota na povrchu konstrukce v čase 1500 s – středněrozměrová zkouška.....	76
Obrázek 9-11 Teplota na povrchu konstrukce v čase 1800 s – středněrozměrová zkouška.....	77

Seznam tabulek

Tabulka 2-1 Základní rozdělení tříd reakce na oheň s příklady výrobků [1]	17
Tabulka 2-2 Parametry jednotlivých velkorozměrových požárních zkoušek v Evropě [18], [19]	22
Tabulka 2-3 Hodnotící kritéria jednotlivých velkorozměrových požárních zkoušek v Evropě [18], [19], [21]	23
Tabulka 3-1 Velkorozměrové zkoušky v rámci RÚ prováděné v PAVUS.....	28
Tabulka 4-1 Zdroj paliva pro velkorozměrové požární zkoušky s velkým účinkem požáru (převzato z [16]).....	32
Tabulka 4-2 Experimentální testování fasád „Round Robin“ [16]	37
Tabulka 4-3 Klasifikační třídy fasádních systémů.....	37
Tabulka 5-1 Hodnoty fyzikálních veličin jednotlivých stavebních materiálů [39] [37].....	42
Tabulka 7-1 Materiálové charakteristiky [51] [52] [48].....	51
Tabulka 7-2 Materiálové charakteristiky středněrozměrové zkoušky [51] [52] [54] [48].....	61

Seznam použitých symbolů a zkratk

Latinské symboly

Značka	Název	Jednotka
t	čas	s
d	tloušťka	m
HRR	rychlost uvolňování tepla	kW
\dot{h}_{net}	tepelný tok	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$

Řecké symboly

Značka	Název	Jednotka
λ	součinitel tepelné vodivosti	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
ρ	objemová hmotnost	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
c	měrná tepelná kapacita	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
ε	emisivita	-
θ	teplota	K

Zkratky

CFD	Computational Fluid Dynamics
ETICS	Vnější kontaktní zateplovací systém (External thermal insulation composite system)
ČSN	Česká technická norma
ISO	Mezinárodní organizace pro standardizaci
EN	Evropská norma
HRR	Rychlost uvolňování tepla (Heat release rate)
EU	Evropská unie
ČR	Česká republika
FDS	Fire Dynamics Simulator

RISE	Research Institutes of Sweden
EPS	Expandovaný polystyren
RÚ	Rozborový úkol
THCP	Termočlánek (Thermocouple)
RM	Radiometr

1 Úvod

1.1 Motivace

Nedílnou součástí každé projektové dokumentace je požárně bezpečnostní řešení (PBŘ). Součástí PBŘ je například rozdělení objektů do požárních úseků, posouzení staveních konstrukcí z hlediska požární odolnosti nebo řešení únikových cest z objektu. I přes všechna navržená opatření přesto dochází k požárům, které mají tragické následky. Neslavně proslulým je požár bytového domu Grenfell v Londýně, při kterém přišlo o život 72 lidí. Z poslední doby je také nutno připomenout požár bytového komplexu ve Valencii, kde zemřelo 10 lidí. Spojujícím prvkem obou tragédií je vadný návrh a realizace fasády.

Konstrukce fasády je však jednou z nejzranitelnějších částí stavby z hlediska požární bezpečnosti. Na fasádě se mohou vyskytovat různé druhy hořlavých materiálů a jejich kombinace. Každý výrobek musí být požárně odzkoušen a následně zatříděn podle toho, jak přispívá k rozvoji a intenzitě vznikajícího požáru. Rozlišujeme 3 druhy požárních zkoušek fasádních systémů – malorozměrové, středněrozměrové a velkorozměrové. Pro velkorozměrové požární zkoušky dnes ovšem neexistuje jednotná evropská zkušební metodika a jednotlivé členské státy EU využívají rozdílných postupů při provádění velkorozměrových požárních zkoušek.

Aktuálně probíhá evropský projekt, jenž si klade za cíl sjednotit zkušební metodiku pro velkorozměrové zkoušení požárních vlastností v celé EU. Velkorozměrové požární zkoušky se provádějí zejména ve vnitřním prostředí (zkušební haly), tudíž je zde nutné zohlednit různé aspekty, které by mohly ovlivnit průběh samotné zkoušky. Jedná se například o teplotu okolí, přístup a ventilace vzduchu nebo vliv okolních blízkých konstrukcí z hlediska účinku zpětné radiace.

Motivací této práce je analyzovat aktuální stav vývoje evropské zkušební metodiky pro velkorozměrové požární zkoušky a zhodnotit okrajové podmínky při provádění těchto požárních zkoušek.

1.2 Stanovení výzkumné otázky

Při provádění velkorozměrových požárních zkoušek je klíčové zohlednění okrajových podmínek, které ve zkušebních halách simulují reálné prostředí. Hlavní výzkumnou otázkou je, zda může účinek zpětné radiace od okolních povrchů ovlivnit testovaný fasádní systém při požární zkoušce.

1.3 Cíle práce

Primárním cílem této práce je vyhodnocení vlivu okrajových podmínek při provádění velkorozměrových požárních zkoušek. Dílčími podcíli v diplomové práci jsou:

1. Analýza požárních zkoušek fasádních systémů a nově vyvíjené metodiky pro velkorozměrové zkoušení
2. Rozbor aktuálních aktivit v oblasti velkorozměrového zkoušení v ČR
3. Zkoumání účinku zpětné radiace při požárních zkouškách
4. Analýza požárů fasádních systémů v Evropě
5. Vytvoření numerických modelů s cílem posoudit účinek zpětné radiace
6. Vyhodnocení výsledků numerických modelů

2 Současný stav poznání v oblasti požárních zkoušek fasádních systémů

Pro zkoušení stavebních výrobků použitých ve fasádách se v dnešní době používá vícero typů požárních zkoušek, které se dělí dle tepelného výkonu zdroje a dle rozměrů zkoušeného prvku. Tyto zkoušky se dají rozdělit na malorozměrové, středněrozměrové a velkorozměrové požární zkoušky. Zkoušky malého rozměru jsou využity pro zařazení výrobků do tříd reakce na oheň. Jedná se nicméně o menší zkoušené vzorky, které nejsou schopny reálně pokrýt různé konstrukční detaily ve fasádních systémech. Středněrozměrová zkouška je schopna zhodnotit šíření požáru po povrchu fasádního systému včetně různých aplikačních detailů. Avšak velkorozměrové zkoušky dokážou nejlépe zhodnotit chování fasádního systému při požáru, jelikož je zde vyvinut dostatečný tepelný výkon, který simuluje reálné prostředí. Níže jsou popsány jednotlivé požární zkoušky, které se používají při hodnocení fasád z hlediska požární bezpečnosti.

2.1 Požární zkoušky malého rozměru

2.1.1 Požární zkoušky pro zařazení do tříd reakce na oheň

Jak již bylo zmíněno, zkoušky malého rozměru rozdělují stavební výrobky do tříd reakce na oheň. Třída reakce na oheň je jednou ze základních požárních klasifikací, které určují, jak výrobky přispívají k rozvoji a intenzitě požáru svou hořlavostí. Těchto tříd je celkem 7, které nesou označení A1, A2, B, C, D, E nebo F. Toto rozdělení popisuje výrobky od třídy A1, které vůbec nepřispívají k požáru, až po třídu F, jež se výrazně podílejí na rozvoji a intenzitě požáru. V tab. 2-1 jsou uvedeny jednotlivé příklady stavebních výrobků dle různých tříd reakce na oheň.

Tabulka 2-1 Základní rozdělení tříd reakce na oheň s příklady výrobků [1]

Třída reakce na oheň		Příklad
A1	Nehořlavé výrobky	Beton, zdivo, sklo, pěnové sklo, izolační deska z minerálních vláken
A2		Sádrokartonová deska, sádrovláknitá deska
B	Hořlavé výrobky	Odzkoušený zateplovací systém s fasádním EPS
C		Desky z fenolické pěny
D		Dřevo, desky na bázi dřeva
E		Izolační desky z expandovaného polystyrenu
F		Výrobky, u kterých nebyla třída stanovena

U stavebních výrobků bývá také společně s třídou reakce na oheň A2 až E uváděna tzv. doplňková klasifikace vyjadřující intenzitu vývoje kouře (s1, s2 nebo s3; „s“ jako smoke) a plamenně hořících kapek (d0, d1 nebo d2 „d“ jako droplet). Vyšší číslo u doplňkové klasifikace indikuje vyšší úroveň generace vedlejších produktů hoření [1].

Zařazení do jednotlivých tříd reakce na oheň včetně doplňkové klasifikace vychází ze 4 zkušebních metod v souladu s ČSN EN 13501-1 [2]:

- Zkouška nehořlavosti (ČSN EN ISO 1182) [3]
- Stanovení spalného tepla (ČSN EN ISO 1716) [4]
- Zkouška jednotlivým hořícím předmětem (ČSN EN 13823) [5]
- Zkouška zápalnosti (ČSN EN ISO 11925-2) [6]

Stavební výrobek se nezkouší podle všech 4 zkoušek, ale předem se uvede, do jaké třídy reakce na oheň se s posuzovaným výrobkem cílí a podle toho se výrobek odzkouší dle potřebných malorozměrových zkoušek v souladu s ČSN EN 13501-1. Jednotlivé požární zkoušky včetně sledovaných kritérií a tříd reakce na oheň, pro které jsou dílčí zkoušky nutné provést, jsou popsány níže.

Zkouška nehořlavosti – ČSN EN ISO 1182

Jedná se o jednu ze zkoušek malého rozměru, která se využívá pro stanovení třídy reakce na oheň A1 nebo A2. Zkouška se provádí ve válcové svislé ISO peci (obr. 2-1a) a je určena pouze pro stejnorodé výrobky a podstatné složky nesterorodých výrobků. Jedná se o zkoušku, která zkoumá chování stavebního výrobku při plně rozvinutém požáru. Zkušební pec se přehřeje na 750 °C a poté se zkouší válcové vzorky o průměru 45 mm a výšce 50 mm. Celkem se provede 5 paralelních zkoušek. Doba zkoušky je stanovena na maximálně 60 minut. Klasifikačními kritérii při této zkoušce jsou [3]:

- Úbytek hmotnosti vzorku [%]
- Výskyt plamenného hoření [s]
- Teploty v peci a ve vzorku před, v průběhu a na konci testu [°C]

Stanovení spalného tepla – ČSN EN ISO 1716

Zkouška stanovení spalného tepla je vyžadována při klasifikaci třídy reakce na oheň A1 nebo A2. Přístroj, pomocí kterého se zkouší, je obecně znám jako bombový kalorimetr (obr. 2-1b). Reprezentativní vzorek o minimální hmotnosti 50 g se odebírá z náhodných míst homogenního výrobku. 10 gramů se odebírá z nepodstatné složky nesterorodého materiálu. Vybraný vzorek se poté nadrtí a smíchá se s kyselinou benzoovou a následně se zapálí. Celkem jsou provedeny 3 paralelní testy. Finálním výstupem této zkoušky je spalné teplo, ze kterého se dále dle stanovených kritérií určí výsledná třída reakce na oheň [4].

Zkouška jednotlivým hořícím předmětem – ČSN EN 13823

Zkouška, známá také jako tzv. SBI (z angl. Single Burning Item) test (obr. 2-1c), se používá při klasifikaci zejména tříd reakce na oheň A2 až D. Zkušební vzorek v tl. 200 mm musí dosahovat výšky 1 500 mm s délkou kratšího křídla 495 mm a délkou delšího křídla 1 000 mm. Zdrojem hoření je plynový hořák o výkonu cca 30 kW. V průběhu zkoušky je posuzovaný vzorek vystaven plamenům z hořáku, jenž je umístěn na spodku v rohu zkušebního zařízení. Test trvá 20 minut a zkouší se alespoň 3 stejné vzorky. Sledovanými kritérii jsou [5]:

- Tepelný výkon
- Produkce kouře
- Horizontální šíření plamene
- Výskyt plamenně hořících kapek/částice

Zkouška zápalnosti – ČSN EN ISO 11925-2

Pro zařazení do tříd reakce na oheň B až F se používá tato zkouška zápalnosti. Zařízení, na kterém se zkouška provádí, je zobrazeno na obr. 2-1d. Touto zkouškou se zjišťuje vznětlivost a zápalnost vertikálně orientovaného zkušební vzorku, je-li vystaven malému plameni. Rozměry zkoušeného vzorku dosahují 250 mm × 90 mm s maximální tloušťkou 60 mm. Zdrojem hoření je plynový hořák.

Doba vystavení plamene je 15 s nebo 30 s pro různé třídy reakce na oheň. Dle ČSN EN ISO 11952-2 se při zkoušce zaznamenává [6]:

- Zda dojde k zapálení.
- Zda špička plamene překročí 150 mm nad místem působení a čas, kdy se to stane.
- Přítomnost plamenně hořících kapek/částic, které způsobí zapálení filtračního papíru.
- Pozorování chování zkoušeného tělesa



a) Zkouška nehořlavosti [7]



b) Stanovení spalného tepla [8]



c) SBI test [9]



d) Zkouška zápalnosti [10]

Obrázek 2-1 Zařízení pro zkoušení reakce na oheň dle požárních zkoušek malého rozměru

2.1.2 Šíření plamene po povrchu stavebních hmot

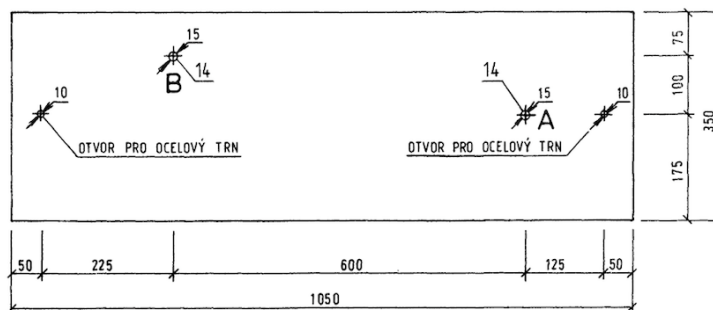
Požárně technickou charakteristikou, se kterou se lze setkat např. při hodnocení fasád, povrchových úprav interiérových stěn nebo podhledů stropů z hlediska požární bezpečnosti, je tzv. index šíření plamene po povrchu stavebních hmot. Značí se jako „i_s“ a pro různé povrchy bývá hodnota tohoto indexu uváděna v mm·min⁻¹. Normou ČSN 73 0863 [11] je index šíření plamene definován jako: „*Relativní hodnota, kterou je vyjádřena schopnost stavebních hmot se vznítit a šířit*

po svém povrchu plamen. Vyjadřuje se podílem délkové jednotky a časem, v němž plamen dosáhne určitý bod.“

Stanovení šíření plamene po povrchu stavebních hmot – ČSN 73 0863

Zkouší se ve zkušební komoře ve tvaru „L“, která má spalovací a zkušební prostor o celkových největších rozměrech cca 1130 mm × 600 mm. Ve zkušebním prostoru se připraví zkušební vzorek o rozměrech 350 mm × 1050 mm s reálnou tloušťkou dané hmoty do maximální tloušťky 50 mm. Zdrojem požáru je plynový hořák s výkonem větším než 600 W, který vytápí spalovací místnost tak, aby ve spalovacím prostoru narůstala teplota podle normové teplotní křivky. Také se ve zkušebním prostoru umístí přídatný plynový hořák.

V průběhu zkoušky se zaznamenává teplota a čas, při kterém dojde v definovaném bodě A ke vznícení hmoty a čas ve kterém plamen dosáhne definovaného bodu B (obr. 2-2). Pokud se do 30. minuty zkoušený vzorek nevnící v bodě A, nebo do 60. minuty nedosáhne plamen bodu B, tak se zkouška ukončí a tento vzorek se považuje za hmotu, která nešíří plamen. V ostatních případech se zaznamená čas, ve kterém plamen dosáhl bodu B a poté se výsledné i_s určí pomocí normového vzorce. Celkem se provádí tři nezávislé zkoušky, kdy se výsledná hodnota indexu i_s stanovuje pomocí aritmetického průměru [11].



a) Fotografie po zkoušce
pěnového materiálu pro
obklad stěn (zdroj: fotoarchiv
ČVUT)

b) Pohled na zkušební vzorek ze strany tepelného namáhání
(převzato z [11])

Obrázek 2-2 Index šíření plamene po povrchu dle ČSN 73 0863

Požadavky na index šíření plamene po povrchu fasádních systémů vycházejí zejména z ČSN 73 0810 [12], kdy ucelené sestavy vnějšího zateplení ETICS musí u naprosté většiny objektů vykazovat $i_s = 0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Stavební výrobky, které jsou hodnoceny třídou reakce na oheň A1 nebo A2 se automaticky dle normy ČSN 73 0863 považují za výrobky, které nešíří plamen po povrchu ($i_s = 0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$). Normu ČSN 73 0863 doplňuje také hodnotová norma ČSN 73 0822 [13], kde jsou uvedeny hodnoty i_s pro určité tradiční stavební hmoty.

2.2 Požární zkoušky středního rozměru

Zkouška středního rozměru – ČSN ISO 13785-1

Hlavním účelem středněrozměrové zkoušky dle ČSN ISO 13785-1 [14] je vyloučení fasádních systémů, u kterých už nemá význam jejich další velkorozměrové zkoušení dle ISO 13785-2. Dle ČSN 73 0810 [12] je možné využít zmíněnou středněrozměrovou zkoušku jako alternativní řešení např. při řešení ucelené soustavy vnějšího zateplení v budovách s požární výškou 12 až 22,5 m.



Obrázek 2-3 Ukázka ze středněrozměrové požární zkoušky dle ČSN ISO 13785-1 [15]

Samotná požární zkouška se provádí na zkušebním vzorku ve tvaru „L“ (obr. 2-3). Hlavní rameno musí mít délku 1,2 m a vedlejší rameno 0,6 m, přičemž výška obou ramen činí 2,4 m. Zdrojem hoření je plynový hořák umístěný pod hlavním ramenem o rozměrech 1,2 m × 0,1 m × 0,15 m (délka × šířka × hloubka). Tepelný výkon hořáku, jenž je zásobovaný propanem, musí být 100 ± 5 kW. Během zkoušky, která trvá 30 minut, se sledují následující parametry [14]:

- Vznícení zkušebního tělesa
- Teplota na povrchu fasády ve výšce 0,5 m; 1,0 m; 1,5 m; 2,0 m; 2,4 m od dolního okraje zkušebního vzorku
- Teplota ve vzduchové dutině i uvnitř tepelného izolantu ve výšce 1,2 m a 2,3 m od dolního okraje zkušebního vzorku
- Tepelný tok měřený na vrchu zkušebního vzorku
- Jakékoliv neobvyklé chování (např. poškození vzorku)

Dle české národní přílohy ČSN ISO 13785-1 je jediným kritériem pro úspěšně vykonanou zkoušku nepřekročení teploty 350 °C, která se určí jako průměrná teplota ze tří termočlánků umístěných 0,5 m nad dolním okrajem zkušebního vzorku [14].

2.3 Požární zkoušky velkého rozměru

2.3.1 Velkorozměrové požární zkoušky v Evropě

Jedná se o požární zkoušky, které dokáží nejlépe simulovat reálnou situaci při požáru. Obvykle je zdrojem požáru dřevěná hranice, jejíž tepelný výkon je mnohonásobně vyšší než u zkoušek

malého i středního rozměru a je schopna imitovat reálný stav např. při požáru obývacího pokoje, kdy plameny prostupují skrz okno na fasádu. Často se provádí zkouška na vzorku ve tvaru „L“, jenž má charakterizovat nejzranitelnější místo na fasádě. Objevují se zde také další otvory, které reprezentují nejčastěji okenní otvory v budovách. Vzhledem k větším rozměrům zkušební vzorku i zdroje hoření se ovšem jedná o mnohem finančně náročnější zkoušky.

V jednotlivých zemích Evropy jsou používány následující velkorozměrové požární zkoušky [16]:

- Německo, Švýcarsko – DIN 4102-20
- Velká Británie, Irsko – BS 8414
- Francie – LEPiR 2
- Švédsko, Norsko, Dánsko – SP Fire 105
- Evropa – ISO 13785-2
- Maďarsko – MSZ 14800-6
- Rakousko, Švýcarsko – ÖNORM B 3800-5
- Švýcarsko, Lichtenštejnsko – Prüfbestimmung für Aussenwandbekleidungssysteme
- Polsko – PN-B-02867
- Finsko – Tekniikka opastaa 16

Popis jednotlivých velkorozměrových požárních zkoušek byl již proveden v závěrečné práci [17], na kterou tato diplomová práce dále navazuje, proto jsou níže shrnuty parametry vybraných velkorozměrových zkoušek v tab. 2-2.

Tabulka 2-2 Parametry jednotlivých velkorozměrových požárních zkoušek v Evropě [18], [19]

Zkušební norma	BS 8414	DIN 4102-20	ISO 13785-2	LEPIR 2		SP FIRE 105	
Obrázek	2-4a	2-4c	2-5	2-4b		2-4d	
Dispozice	Rohová	Rohová	Rohová	Rovná stěna		Rovná stěna	
Rozměry hlavního křídla	š ≥ 2,6 m v ≥ 8,0 m	š ≥ 2,5 m v ≥ 5,5 m	š ≥ 3,0 m v ≥ 5,7 m	š = 5,0 m v = 7,0 m		š = 4,0 m v = 6,0 m	
Rozměry vedlejšího křídla	š ≥ 1,5 m v ≥ 8,0 m	š ≥ 1,5 m v ≥ 5,5 m	š ≥ 1,2 m v ≥ 5,7 m	-		-	
Otvor spalovací komory	š = 2,0 m v = 2,0 m	š = 1,0 m v = 1,0 m	š = 2,0 m v = 1,2 m	2x	š = 1,0 m v = 1,5 m	š = 3,0 m v = 0,7 m	
Sekundární otvor	-	-	-	2x	š = ± 1,0 m v = ± 1,5 m	2x	š = 1,5 m v = 1,2 m
Zdroj hoření	a) dřevěná hranice b) plynový hořák	a) dřevěná hranice b) plynový hořák	a) plynový hořák b) dřevěná hranice c) jiné palivo (např. heptan)	2x dřevěná hranice		Heptan	
Množství paliva	a) celkový tepelný výkon ± 4500 MJ (30 minut) b) ekvivalentní hodnota výkonu	a) 30 kg b) propan	a) propan b) ± 400 kg c) ± 60 l	2x 300 kg		60 l	
Doba trvání zkoušky	30-60 min	a) 20 min b) 30 min	23–27 min	Min. 30 min		15-20 min	

Z tab. 2-2 je zřejmé, že jednotlivé požární zkoušky se liší ve zkoušené dispozici, geometrii zkoušeného tělesa a použitém zdroji požáru. Nejčastěji používaným zdrojem hoření je dřevěná hranice, avšak v několika případech lze tento zdroj nahradit plynovým hořákem či hořlavou kapalinou. Každá zkušební metoda má také svá hodnotící kritéria s výjimkou ISO 13785-2 [20]. Obvykle se hodnotí zejména růst teploty, odpadávání hořících částí fasády, šíření plamene nebo množství dopadajícího tepelného toku. Podrobnější popis klasifikačních kritérií je uveden v tab. 2-3.

Tabulka 2-3 Hodnotící kritéria jednotlivých velkorozměrových požárních zkoušek v Evropě [18], [19], [21]

Zkušební norma	Hodnotící kritéria
BS 8414	Růst teploty v dutině/ hořlavé vrstvě/ vzduchu ve výšce 5000 mm nesmí překročit 600 °C za 30 s.
DIN 4102-20	Nad výškou 3500 mm se nesmí vyskytnout stálý plamen, teploty vyšší než 500 °C a výskyt spálení. Plamen se nesmí dostat na vrchol vzorku. Odpadávání hořících částí a horizontální šíření plamene musí být kratší než 90 s.
ISO 13785-2	Norma přímo nedefinuje klasifikační kritéria.
LEPIR 2	Nesmí dojít k porušení fasády v 2. NP. Plamen nesmí dosáhnout vrcholu zkoušeného vzorku.
SP FIRE 105	Plamen nesmí zasahovat výše než na spodní hranu výše umístěného sekundárního otvoru. Odpadávající části nesmí ohrozit hasiče. Teploty nesmí přesáhnout 500 °C po dobu 120 s a 450 °C po dobu 600 s na vrcholu vzorku. U vyšších budov a nemocnic tepelný tok nesmí v místě nižšího otvoru přesáhnout 80 kW·m ⁻² .

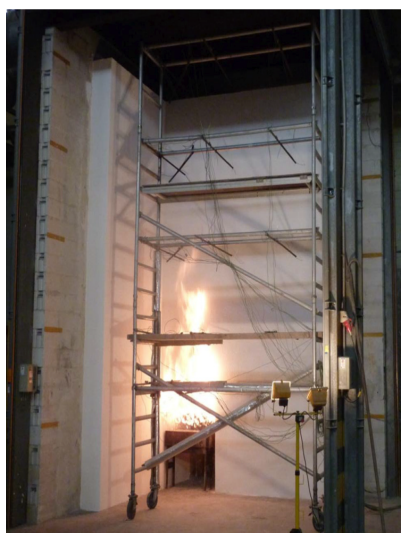
Rozdílné zkušební postupy pro jednotlivé požární zkoušky způsobují problémy napříč evropskými státy. Cílem je vytvořit jediný zkušební postup pro celou EU, který by sjednotil jednotlivé požadavky a učinil testování napříč zeměmi jednodušší, jako tomu je u jednotných malorozměrových požárních zkoušek. V současné době se vyvíjí metodika, která by jednotný zkušební postup mohla vytvořit. Více o jednotném zkušebním postupu pro velkorozměrové požární zkoušky fasád viz kapitolu 4.



a) BS 8414 [22]



b) LEPIR 2 [23]



c) DIN 4102-20 [18]



d) SP FIRE 105 [24]

Obrázek 2-4 Ukázka z velkorozměrových požárních zkoušek fasádních systémů

2.3.2 Velkorozměrové požární zkoušky provedené v ČR

V normě ČSN 73 0810 [12] je při řešení ucelené sestavy vnějšího zateplení zmíněn odkaz na možné využití ISO 13785-2 [20] pro řešení specifických detailů. Nicméně, jak bylo zmíněno výše v tab. 2-3, pro zkušební postup dle ISO 13785-2 nejsou specifikována žádná zkušební kritéria, proto se dle této normy nepostupuje. V ČR již proběhly minimálně 2 požární zkoušky velkého rozměru, které vycházejí z metodiky ISO 13785-2. V jedné zkoušce se požárně odzkoušel ETICS s kompozitním tepelným izolantem, který kombinoval hořlavý EPS a nehořlavou minerální vlnu (Baumit Twinner). V druhém testu se zkoušel klasický fasádní zateplovací systém, kdy izolant tvořil expandovaný polystyren s nižšími požárními pruhy z minerálního vlákna. Na obr. 2-5 je zobrazen průběh zkoušky, při které byl odzkoušen ETICS s tepelným izolantem z EPS s nehořlavým požárním pruhem z tepelného izolantu z minerálních vláken [25].



Obrázek 2-5 Průběh velkorozměrové požární zkoušky dle ISO 13785-2 [25]

2.3.3 Velkorozměrové požární zkoušky v Severní Americe

Pro srovnání s evropskými zkušebními postupy jsou níže také popsány metody, které se používají ve Spojených státech amerických a v Kanadě při hodnocení fasád z požárního hlediska ve velkém měřítku.

NFPA 285 – Spojené státy americké

Zkušební vzorek je tvořen rovnou stěnou bez vedlejšího křídla (obr. 2-6a), přičemž se jedná o fasádu dvou výškově rozdělených místností. Ve spodní místnosti je vytvořen prostor s otvorem pro zdroj hoření. Výška zkušební vzorku činí alespoň 5480 mm a šířka je min. 4060 mm. Otvor do spalovací komory má rozměry 1980 mm × 760 mm (š × v) a je umístěn přímo ve středu šířky vzorku ve výšce 760 mm nad podlahou. Zdrojem hoření jsou dva plynové hořáky, přičemž jeden je umístěn ve spalovací komoře a druhý hořák před otvorem do spalovací komory. Vnější hořák se zapíná o 5 minut později než vnitřní hořák. Po 30 minutách se uzavře přívod plynu do obou hořáků. Klasifikační kritéria při zkoušce jsou [26]:

- Nesmí dojít k naměření teploty větší než 538 °C ve výšce 3050 mm od horní hrany spalovací komory.
- Nesmí dojít k naměření teploty větší než 538 °C ve vodorovné vzdálenosti větší než 1520 mm od svislé osy okenního otvoru.
- Výška plamenů nesmí dosáhnout výšky 3050 mm nad horní hranu okenního otvoru.
- Plameny nesmí dosáhnout vodorovné vzdálenosti větší než 1520 mm od svislé osy okenního otvoru.
- V místnosti ve druhém podlaží se nesmí vyskytnout plameny a na vnitřních termočláncích nesmí být naměřena teplota větší než 278 °C.
- Ve vzduchové dutině nesmí teplota překročit 538 °C.
- Nárůst teploty nesmí překročit 398 °C v jakékoliv hořlavé vrstvě tlustší než 6,4 mm

CAN/ULC S134 – Kanada

Jedná se o velkorozměrovou zkoušku, kdy zkušební vzorek je tvořen rovnou stěnou bez křídla (obr. 2-6b). Výška zkušební vzorku dosahuje přes 9800 mm a šířka přes 6000 mm. Ve stěně je také umístěn otvor spalovací komory o rozměrech 2510 mm × 1420 mm (š × v). Zdrojem hoření je plynový hořák s propanem jako palivem. Průtok plynu se během prvních 5 minut zvýší na cílovou hodnotu, poté se 15 minut průtok plynu nemění a po dalších 5 minutách se průtok sníží na nulu. Celková doba testu trvá 60 minut. Při zkoušce se hodnotí [27] [18] :

- Zda plameny nezasahují výše než 5 m nad horní hranici otvoru.
- Zda průměrný tepelný tok měřený na 3 místech ve výšce 3,5 m nad okenním otvorem zůstal pod hodnotou 35 kW·m⁻².



a) NFPA 285 – Spojené státy americké [28]



b) CAN/ULC S134 – Kanada [29]

Obrázek 2-6 Velkorozměrové zkoušky fasádního systému v Severní Americe

3 Aktuální aktivity v oblasti velkorozměrových zkoušek fasádních systémů v ČR

Jedním z rozborových úkolů (dále RÚ), které zadala Česká agentura pro standardizaci k řešení, je také RÚ „Požární bezpečnost kontaktních zateplovacích systémů (ETICS)“. Řešitelem tohoto RÚ je Univerzitní centrum energeticky efektivních budov (UCEEB), které je výzkumným ústavem Českého vysokého učení technického v Praze. Cílem tohoto projektu je posoudit navrhované požadavky průmyslu a předložit revize požární normy ČSN 73 0810 v souvislosti se zateplovacími systémy [30].

V roce 2016 došlo k poslední revizi vnějších kontaktních zateplovacích systémů v ČR, kdy se upravily požadavky v obsáhlém článku č. 3.1.3 ČSN 73 0810 [12]. Tento článek stanovuje požadavky např. na třídu reakce na oheň pro zateplovací systémy, dále na realizaci svislých a vodorovných požárních pruhů nebo také stanovuje požadavky při dodatečném zateplení budov. Za dobu od poslední revize normy ČSN 73 0810 byly získány další zkušenosti v oblasti projekce, zkušebnictví i realizace kontaktních zateplovacích systémů. Proto se přišlo s možnou revizí v těchto bodech:

- Snížení minimálních rozměrů vodorovných pruhů z 900 mm
- Nutnosti aplikace svislých požárních pruhů v min. šířce 900 mm
- Problematika zdvojeného zateplení pro eliminaci demontáže původního ETICS
- Řešení průběžných požárních pruhů pomocí neprůběžných pruhů s přesahem nad okny
- Řešení odstupových vzdáleností v návaznosti na otevřenost fasádních systémů [30]

V rámci tohoto RÚ bylo navrženo několik velkorozměrových zkoušek, které se budou provádět v multifunkční komoře zkušebny PAVUS a.s. ve Veselí nad Lužnicí. Tato zkušební komora je obdélníkového půdorysu o rozměrech 8200 mm × 7900 mm s výškou dosahující až 10700 mm. Stěny jsou provedeny z pórobetonových tvárnic s interiérovým obkladem z cementovláknitých desek. Střecha je tvořena sendvičovými panely, pod kterými je svěšen tepelně izolovaný podhled také s cementovláknitými deskami. Zkušební komora je vybavena nuceným odvodem kouře a tepla s přirozeným přívodem vzduchu a podstropním vodním hasicím zařízením.

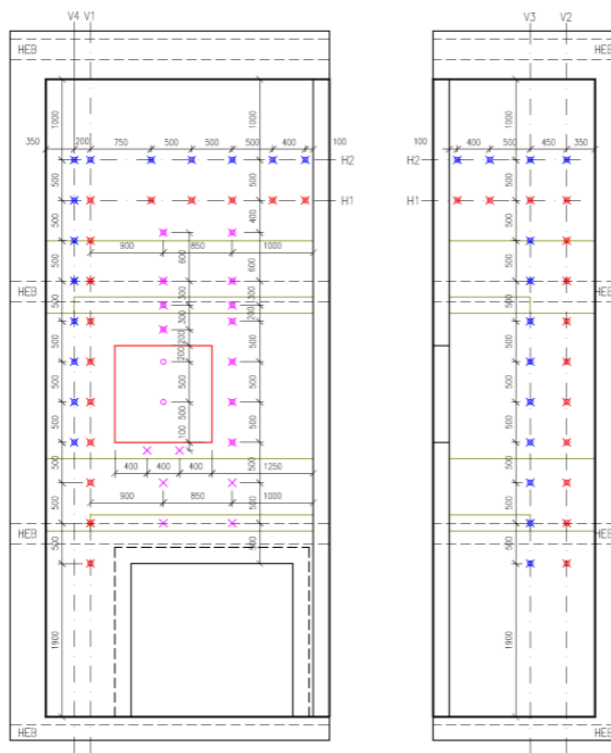
Do multifunkční komory je zabudováno zkušební těleso ve tvaru písmene „L“ pro požární zkoušku s velkým účinkem požáru. Délka obou křídel zkušebního tělesa činí 3940 mm resp. 2240 mm. Výška zkušebního tělesa je 8600 mm. Tato podkladní konstrukce je tvořena tvárnicemi z lehčeného betonu o tl. 200 mm. Zkoušené vzorky ETICS budou založeny v úrovni podlahy spalovací komory a budou umístěny na obě křídla zkušebního tělesa v délce 3500 mm na hlavním křídle a 2000 mm na vedlejším křídle. Součástí hlavního křídla je také otvor spalovací komory o rozměrech 2000 mm × 1900 mm a také sekundární otvor o rozměrech 1200 mm × 1200 mm, který je umístěn 1500 mm nad horním okrajem spalovací komory.

Geometrie zkušebního vzorku, spalovací komory, sekundárního otvoru, zdroje hoření nebo umístění termočlánků vychází z nově navrhované evropské metodiky pod vedením výzkumného ústavu RISE, viz dále kapitolu 4.1. V některých parametrech však došlo k odlišení od této metodiky. Bylo přidáno větší množství termočlánků (viz obr. 3-1), dále se zaznamenávala teplota, dokud teplota neklesla pod 50 °C kvůli žhnutí a také zde nebyla instalována váha, která by zaznamenávala hmotnost odpadávajících konstrukcí. Přímo nad vzorkem je také instalován odtah

spalin o objemovém průtoku $2,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Na stěně proti hlavnímu křídlu byl instalován také vodou chlazený radiometr pro měření sálavého tepelného toku vycházejícího ze zdroje hoření [31].

Schema rozmístění plášťových termoelektrických článků (PTČ, celkem 140 ks):

- umístění PTČ dle navrhované evropské metodiky – povrch (28 ks)
- × umístění PTČ dle navrhované evropské metodiky – v izolantu (28 ks)
- umístění PTČ dle požadavku rozborového úkolu – povrch (27 ks)
- × umístění PTČ dle požadavku rozborového úkolu – v izolantu (27 ks)
- umístění PTČ dle požadavku rozborového úkolu – povrch (13 ks)
- × umístění PTČ dle požadavku rozborového úkolu – v izolantu (17 ks)



Obrázek 3-1 Rozmístění termočlánků pro velkorozměrovou zkoušku [31]

Jak bylo výše zmíněno, tak v požární zkušebně PAVUS se provedly nebo budou provádět následující velkorozměrové požární zkoušky:

Tabulka 3-1 Velkorozměrové zkoušky v rámci RÚ prováděné v PAVUS

Číslo zkoušky	Popis	Datum
1	ETICS s celoplošným tepelným izolantem EPS v tl. 200 mm bez požárních bariér	4/2023
2	ETICS s celoplošným tepelným izolantem z minerálních vláken v tl. 200 mm	7/2023
3	ETICS s tepelným izolantem EPS a se dvěma neprůběžnými požárními pruhy z minerálních vláken výšky 200 mm umístěnými 0,4 m a 3,1 m nad nadpražím spalovací komory	9/2023
4	ETICS s tepelným izolantem EPS a se dvěma průběžnými požárními pruhy z minerálních vláken výšky 900 mm (aktuální normové požadavky dle ČSN 73 0810)	5/2024
5	Zdvojený ETICS: předpoklad stávající ETICS s tepelným izolantem EPS (včetně prořezu v kritických místech v nadpraží a ostění) a navazujícím ETICS s tepelným izolantem z minerálních vláken o min. tloušťce	Plánováno 2024
6	Zdvojený ETICS: předpoklad stávající ETICS s tepelným izolantem EPS (včetně prořezu v kritických místech v nadpraží a ostění) a navazujícím ETICS s tepelným izolantem z minerálních vláken o max. tloušťce	Plánováno 2024

Během roku 2023 a 2024 byly tedy již odzkoušeny 4 druhy zateplovacích fasádních systémů ETICS. Na obr. 3-2 je ukázka z velkorozměrové zkoušky ETICS s EPS (č. zkoušky 1), kde je vidět, jak se tepelný izolant vytavil přes celou výšku vzorku. Podrobný popis průběhu jednotlivých požárních zkoušek včetně fotodokumentace byl proveden v diplomové práci „Požární hledisko dvojitého zateplování ETICS“ [32]. Po provedení jednotlivých zkoušek a z dat získaných během těchto zkoušek by měl být proveden komplexní výstup s návrhem možného řešení jednotlivých výše zmíněných bodů. Také je nutno stále reflektovat aktuální vývoj nové metodiky (RISE, kapitola 4.1) a porovnávat výsledná data s ostatními uskutečněnými evropskými zkouškami.



a) Před zahájením zkoušky



b) V průběhu zkoušky



c) 60. minuta zkoušky



d) Po odstranění fasádní omítky

Obrázek 3-2 Průběh velkorozměrové požární zkoušky s EPS

4 Současný vývoj jednotné evropské metodiky pro hodnocení fasádních systémů z pohledu požární bezpečnosti

V Evropě se momentálně vyvíjí nová metodika pro zkoušení požárních vlastností fasádních systémů. Cílem je sjednotit postup zkoušení v celé Evropě a vytvořit jednotný klasifikační předpis. Vedoucím projektu je švédský státní výzkumný ústav RISE. Nová metodika bude nabízet dvě varianty zkoušení. První vychází z německého standardu DIN 4102-20 a nabízí velkorozměrovou požární zkoušku se středním účinkem požáru. Druhá varianta vychází z britského standardu BS 8414 a nabízí velkorozměrovou požární zkoušku s velkým účinkem požáru. Jedním ze závěrů této metodiky by také mělo být jednoznačné definování termínu „fasáda“ pro budoucí požární zkoušky, jelikož aktuálně členské státy EU používají různé výklady tohoto termínu. Cílem metodiky je vytvořit základ pro budoucí evropskou zkušební normu.

Tyto zkoušky by měly být aplikovatelné na různé druhy vnějšího opláštění budov. Jedná se zejména o tyto fasádní systémy:

- ETICS
- Sendvičové panely
- Lehké obvodové pláště
- Dřevěné fasády
- Větrané fasádní systémy
- Obkladové systémy z kovových kompozitních materiálů
- Laminátové fasádní systémy apod.

Tato kapitola se dále věnuje popisu navrhovaných velkorozměrových požárních zkoušek s velkým a středním účinkem požáru. Větší podrobnost je věnována velkorozměrové zkoušce s velkým účinkem požáru i s ohledem na aktuální aktivity v rozborovém úkolu, viz kapitolu 3. Níže jsou popsány technické specifikace pro provádění a hodnotící kritéria této zkoušky. Veškerá data a informace jsou přebrány z dostupných materiálů zveřejněných na portálu švédského výzkumného ústavu RISE [16].

4.1 Základní popis velkorozměrové požární zkoušky s velkým účinkem požáru

Aktuální návrh této zkoušky je založený na principu požáru po dosažení flashover efektu, tedy plně rozvinutého požáru. Požární scénář simuluje založení požáru v místnosti s následným rozšířením přes okenní otvor na fasádu. Tato zkouška posuzuje fasádní systém jako celek, tedy nikoliv například pouze tepelný izolant. Požární zkouška (obr. 4-1a) se bude provádět ve specializovaných zkušebních halách nebo ve venkovním prostředí při dodržení všech požadavků stanovených v navrhované metodice [16].

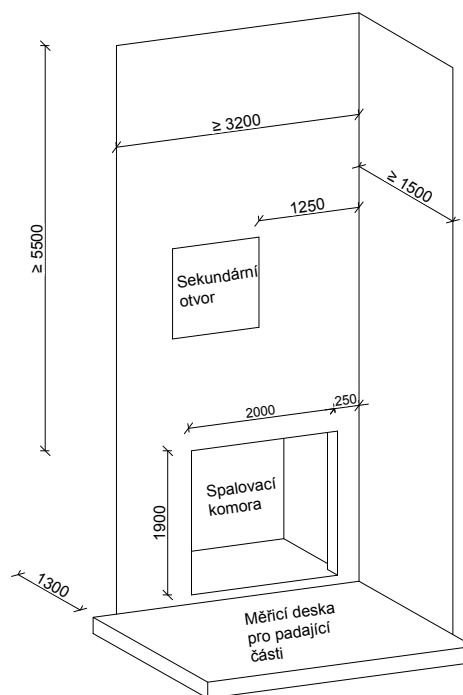
4.1.1 Zkušební zařízení

Zkušební sestava (obr. 4-1b) sestává z hlavního a bočního křídla ve tvaru písmene „L“. Součástí hlavního křídla je spalovací komora a také doplňující sekundární otvor (1200 mm × 1200 mm), který napodobuje okno ve vyšším podlaží. Sekundární otvor je výškově vzdálený 1500 mm od horní hrany spalovací komory. Boční křídlo je k hlavnímu křídlu napojeno v pravém úhlu. Hlavní i boční křídlo musí být zhotoveno z nehořlavého materiálu. Rozměry křídel musí být provedeny tak, aby se mohl testovat fasádní systém o minimální šířce 3 200 mm, resp. 1 500 mm na bočním křídle. Výška nad horním okrajem spalovací komory musí dosahovat minimálně 5 500 mm.

Doporučeno je zřízení přestavitelného zkušebního zařízení z důvodu zkoušení různých tloušťek fasád [16].



c) Pohled na zkušební sestavu

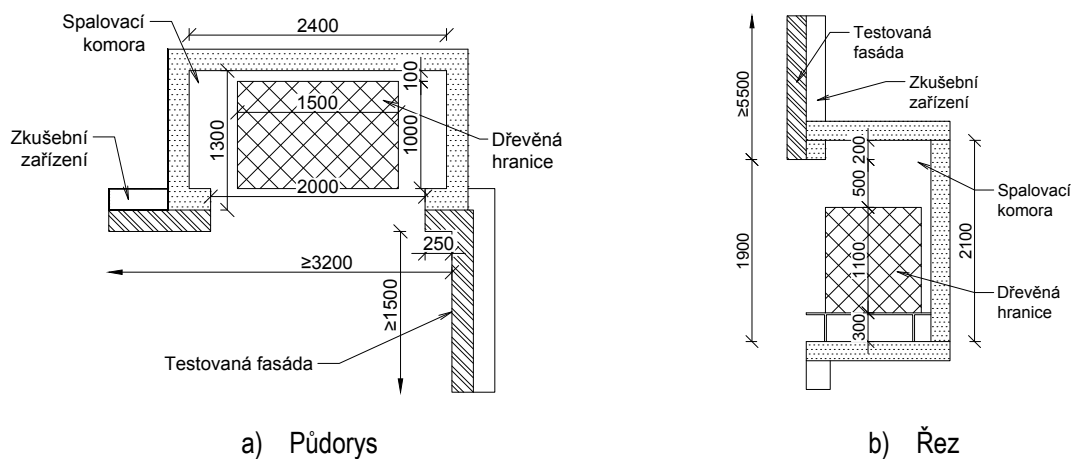


d) Schéma zkušební sestavy

Obrázek 4-1 Velkorozměrová požární zkouška s velkým účinkem požáru (převzato z [16])

4.1.2 Spalovací komora

Vnitřní rozměry spalovací komory činí 1 300 mm × 2 400 mm × 2 100 mm (š × d × v) a jsou patrné z obr. 4-2. Otvor této komory by měl dosahovat šířky 2 000 mm a výšky 1 900 mm. Vzdálenost k bočnímu křídlu má být 250 mm ± 100 mm. Uvnitř je umístěn zdroj paliva – dřevěná hranice. Vnitřní povrchy mají být obloženy nehořlavou izolací (např. keramickou) [16].



a) Půdorys

b) Řez

Obrázek 4-2 Geometrie spalovací komory velkorozměrové požární zkoušky (převzato z [16])

4.1.3 Zdroj paliva

Během výzkumu pod vedením RISE proběhlo celkem 9 požárních zkoušek dřevěných hranic za účelem definování zdroje hoření pro budoucí velkorozměrové požární zkoušky. Zkoušely se hranice z borovice, nebo smrku s různou vlhkostí a objemovou hmotností dřeva. Podklad, na kterém byly hranice umístěny, byl buď s děrovanou mřížkou, nebo s pevným plošným prvkem. Na zkušebním zařízení bylo umístěno několik měřicích prvků, které měřily teplotu a tepelný tok (obr. 4-3) [16].



a) Pohled na dřevěnou hranici



b) Detail měřicích zařízení

Obrázek 4-3 Zkouška dřevěné hranice pro velkorozměrovou požární zkoušku [16]

V průběhu těchto zkoušek se posuzovaly jednotlivé parametry, jako např. rychlost úbytku hmotnosti, rychlost uvolňování tepla (HRR), teplota a také tepelný tok. Z těchto zkoušek byly vyvozeny závěry aplikovatelné pro následné požární testy. V tab. 4-1 níže jsou uvedeny nejdůležitější parametry, které budou muset být dodrženy. Rozměry dřevěné hranice jsou také patrné z obr. 4-2 [16].

Tabulka 4-1 Zdroj paliva pro velkorozměrové požární zkoušky s velkým účinkem požáru (převzato z [16])

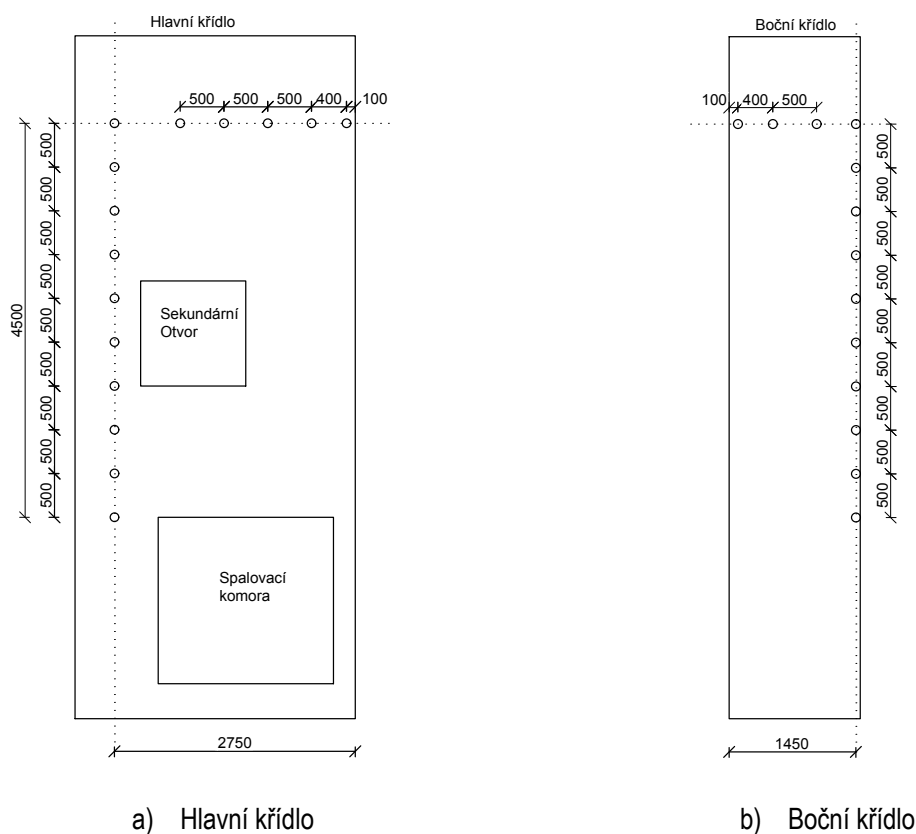
Parametr	Popis
Druh dřeva	Smrk
Průřez dřevěných latí	47 × 47 mm ± 3 mm
Délky dřevěných latí	Dlouhé: 1500 mm ± 5 mm Krátké: 1000 mm ± 5 mm
Objemová hmotnost latí	500 kg·m ⁻³ ± 100 kg·m ⁻³
Hmotnost dřevěné hranice	350 kg ± 20 kg
Počet latí na jednu vrstvu	Dlouhé: 10 na jednu vrstvu Krátké: 15 na jednu vrstvu Počet vrstev se volí tak, aby výška hranice dosahovala 1100 mm ± 25 mm.
Spojování latí	Vzájemné probíjení hřebíky
Vlhkost dřeva	11 % ± 2 %
Povrchová úprava dřeva	Řezané /hoblované
Podlaha pod hranicí	Pevná (bez mřížek)

4.1.4 Přístrojové vybavení

Při požární zkoušce je hlavním měřicím zařízením termočlánek. Vnější termočlánek musí být umístěn 50 mm ± 5 mm před vnější líc posuzované fasády. Jejich umístění je patrné z obr. 4-4. Vodorovná linie termočláneků se nachází 4,5 m nad otvorem spalovací komory. Svislá linie termočláneků je umístěna na hlavním křídle 2,75 m od místa napojení obou křídel a na bočním křídle ve vzdálenosti 1,45 m od spoje obou křídel. Vnitřní termočlánek se umísťují do každé vrstvy včetně větrané dutiny, která má tloušťku alespoň 10 mm.

Průběh velkorozměrové požární zkoušky musí být také vizuálně natočen pomocí digitálních kamer. Tyto kamery musí snímat celou výšku i šířku obou křídel. Záznamy z kamer se také využijí při stanovení velikosti a času případně padajících částí fasády.

Během zkoušky je také nutné měřit hmotnost odpadávajících částí fasádního systému. K měření se použije vážicí plošina s přesností ± 50 g, která pokrývá plochu před testovaným vzorkem vymezenou hlavním a bočním křídlem. Měřicí plošina se umístí 100 mm pod spodní část zkoušené fasády a 50 mm od zkušebního zařízení. Odpadávající části fasády se musí zdokumentovat jako křivka závislosti hmotnosti na čase. Používají se 10 sekundové časové kroky [16].



Obrázek 4-4 Rozmístění termočláneků na zkušebním zařízení (převzato z [16])

4.1.5 Okolní podmínky prostředí

Pro relevantní výsledky požární zkoušky je nutné před jejím zahájením zajistit metodikou definované podmínky okolního prostředí.

Rychlost okolního větru

Před zahájením samotné zkoušky je nutné pomocí obousměrného anemometru změřit horizontální složku rychlosti okolního větru, která musí být nižší než $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Toto zařízení se umístí 2 m před hlavního křídlo ve výškové úrovni jako horní okraj spalovací komory. Rychlost okolního vzduchu se měří v intervalu 1 minuty během 15 minut před zahájením zkoušky, kdy tato hodnota nesmí být v žádném měření překročena.

Okolní teplota

Počáteční teplota ve zkušební hale musí být v rozmezí $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ až $+35 \text{ }^\circ\text{C}$. Toto musí být prokázáno pomocí teploměru umístěným v horizontální vzdálenosti 1,8 m až 2,2 m od exponovaných ploch a ve výšce 1,8 m až 2,2 m nad podlahou. Teplotu je nutno změřit nejpozději 5 minut před začátkem samotné zkoušky.

Okolní vlhkost

Před zkouškou a také dva dny před ní je potřebné změřit relativní vlhkost vzduchu okolního prostředí, která se následně zaznamenává do výsledného protokolu [16].

Při venkovním testování je v případě účinků větru nutné zkoušeny vzorek proti tomuto jevu chránit. Ve vnitřním prostředí je povolena instalace mechanického větrání, avšak musí být dodrženy podmínky rychlosti okolního větru.

4.1.6 Průběh zkoušky

Za začátek zkoušky se považuje okamžik, kdy dojde k zapálení zdroje paliva. K zapálení se používají dřevovláknité desky předem namočené v hořlavé kapalině, které se umísťují do spodních vrstev dřevěné hranice. Během zkoušky se zaznamenávají podrobnosti a časy důležitých momentů (např. odpadnutí velké části fasády) i za pomoci kamerových záznamů. Obvyklá délka zkoušky je stanovena na min. 30 minut. Pokud je při návrhu zkoušky potřebné sledovat žhnutí materiálů ve fasádě, nechá se vzorek pod dohledem max. 15 hodin, dokud všechny termočlánky nevykazují teplotu nižší než $50 \text{ }^\circ\text{C}$.

Po zkoušce probíhá vyhodnocení zkušební vzorku, kdy se zaznamenávají informace o trvalých změnách včetně odlupování, deformace, měknutí, zuhelnatění nebo delaminace. Zaznamenávají se změny jak na povrchu, tak i ve všech vrstvách nebo dutinách. Dále je nutné provést vyhodnocení teplot ve všech termočláncích pro následné posouzení hodnotících kritérií. O provedení zkoušky a výsledných hodnotách musí být sepsán výsledný protokol [16].

4.1.7 Hodnotící kritéria

Šíření požáru

- Pro splnění kritéria vertikálního šíření požáru se posuzuje, zda jakýkoliv vnější nebo vnitřní termočlánek umístěný ve vodorovné linii ve výšce 4,5 m nad horním okrajem spalovací komory nepřekročí nárůst teploty nad svoji počáteční teplotu v průměru o $700 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 30 s během celých 30 minut testu. Je nutné zmínit, že v původních návrzích se uvažovalo s hodnotou $500 \text{ }^\circ\text{C}$, po provedení určitých kruhových testů (viz níže) se prozatím dospělo k nové hodnotě $700 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Pro splnění kritéria horizontálního šíření požáru se posuzuje, zda jakýkoliv vnější nebo vnitřní termočlánek umístěný ve svislé linii nepřekročí nárůst teploty nad svoji počáteční teplotu v průměru o $700 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 30 s během celých 30 minut testu.

- Při velkorozměrové požární zkoušce se také hodnotí hoření padajících částí. Kritérium selhání nastane, když padající část hoří déle než 30 s po dopadu na zem.

Odpadávající části

Během zkoušky se zaznamenává veškerý materiál padající ze zkušební vzorku. Toto se vyhodnocuje měřením hmotnosti padajících částí pomocí měřicí plošiny a vizuálním pozorováním. Pro padající části jsou stanovena 2 kritéria (úroveň 1 a 2).

- Kritérium selhání padajících částí na úrovni 1 nastane, pokud přírůstek hmotnosti padajících částí za dobu 10 s překročí 1 kg.
- Kritérium selhání padajících částí na úrovni 2 nastane, pokud přírůstek hmotnosti padajících částí za dobu 10 s překročí 5 kg.

Doutnání (volitelné)

K nesplnění kritéria doutnání dojde pokud:

- Teplota na jakémkoliv termočlánku přesahuje 50 °C po 6 hodinách od začátku zkoušky.
- Zkušební sestava je poškozena doutnáním na vrcholu zkušební vzorku nebo na obou bočních okrajích. Obojí je třeba posoudit po ukončení zkoušky.

Spojení fasády se stropem (volitelné)

- K nesplnění kritéria nárůstu teploty dojde, pokud jakýkoliv termočlánek umístěný na spojnici mezi stropem a fasádou překročí nárůst teploty nad svoji počáteční teplotu o 180 °C.
- K nesplnění kritéria trvalého plamene dojde, když je na neexponované straně spoje pozorované nepřetržité hoření po dobu delší než 10 s [16].

4.2 Základní popis velkorozměrové požární zkoušky se středním účinkem požáru

Jedná se o zkoušku se středním účinkem požáru, kdy zkušební metoda je založena na scénáři při flashover efektu, přičemž byl primární zdroj požáru zmenšený. Metoda se zaměřuje na fasádu nacházející se 2 podlaží nad požárním prostorem.

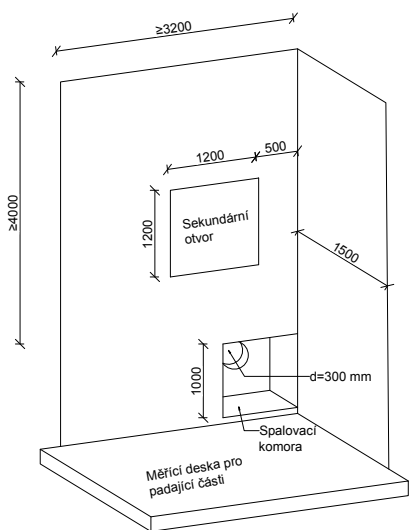
Zkušební zařízení sestává z hlavního křídla a bočního kolmo napojeného křídla. Zkušební sestava musí být uspořádána tak, aby se dal odzkoušet fasádní systém o šířce hlavního křídla min. 3200 mm a šířce bočního křídla min. 1500 mm. Výška zkušební vzorku v obou křídlech musí dosahovat alespoň 4000 mm nad horní otvor spalovací komory.

Spalovací komora má rozměry 1000 mm × 1000 mm × 800 mm (d × v × š), přičemž rozměr otvoru spalovací komory činí 1000 mm × 1000 mm (obr. 4-5). Všechny hodnoty jsou uvedené s tolerancí 50 mm. Spalovací komora se nachází přímo na spoji hlavního a bočního křídla (obr. 4-5a). Na zadní stěně spalovací komory se nachází kruhový otvor o průměru 300 mm, jenž slouží nucenému přívodu vzduchu. Tímto otvorem je vháněn vzduch o objemu $400 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \pm 40 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

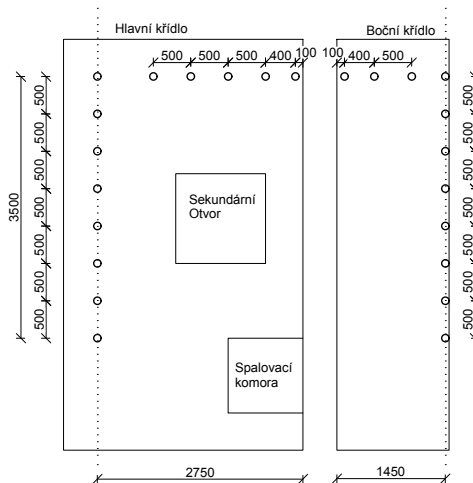
Zdrojem požáru ve spalovací komoře je dřevěná hranice o půdorysných rozměrech 500 mm × 500 mm (obr. 4-5). Objemová hmotnost použitého dřeva musí činit $475 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \pm 25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Jednotlivé dřevěné hranoly o průřezu 40 mm × 40 mm jsou na sebe kladeny tak, aby celková hmotnost byla $30 \text{ kg} \pm 1,5 \text{ kg}$. Dřevěná hranice je v komoře umístěna přímo uprostřed na ocelové plošině nacházející se 200 mm nad podlahou spalovací komory.

Základní přístrojové vybavení je stejné jako u zkoušky s velkým účinkem požáru. Vodorovná linie termočlánků se nachází 3500 mm nad horním okrajem spalovací komory a svislá linie na hlavním křídle ve vzdálenosti 2750 mm od napojení obou křídel. Na bočním křídle se svislá linie termočlánků nachází 1450 mm od místa napojení hlavního a bočního křídla. Umístění jednotlivých termočlánků je patrné z obr. 4-5b.

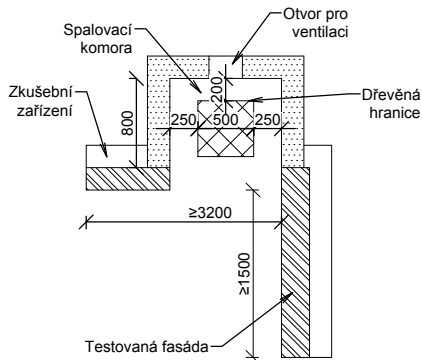
Před začátkem zkoušky je nutné dodržet stejné podmínky okolního prostředí (rychlost větru, teplota, vlhkost) jako u zkoušky s velkým účinkem požáru. Doba trvání zkoušky je 30 minut s tím, že po 4 minutách se do spalovací komory začne vhánět vzduch pomocí ventilátoru. Hodnotící kritéria pro zkoušku jsou téměř stejná jako pro zkoušku s velkým účinkem požáru. Rozdílem je maximální nárůst teploty, který je pro tuto zkoušku nastaven na 500 °C, viz dále tab. 4-3 [16].



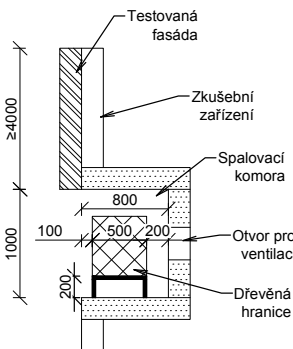
a) Schéma zkušební sestavy



b) Rozmístění termočlánků



c) Řez spalovací komorou



d) Půdorys spalovací komory

Obrázek 4-5 Velkorozměrová zkouška se středním účinkem požáru [16]

4.3 Experimentální testování „Round Robin“

Klíčem k finální a správně navržené metodě hodnocení fasádních systémů z hlediska požární bezpečnosti je provedení série zkušebních kruhových testů, tzv. „Round Robin“ mezi různými zkušebními laboratořemi. Jedním z účelů této série testů je posouzení možné budoucí

opakovatelnosti požárních zkoušek a další úlohou je kalibrace hodnotících kritérií tak, aby co nejvíce odpovídala i metodám, které se používají v členských státech EU. Na webových stránkách RISE jsou průběžně zveřejňována výsledná data z jednotlivých zkoušek.

Vzhledem k vysokým finančním nákladům a časové náročnosti bylo nutné vybrat pouze ty nejhodnější a nejvíce relevantní fasádní systémy. Každý fasádní systém bude zkoušen 2× ve vnitřním prostředí v různých zkušebních halách a také 1× ve vnějším prostředí. Jednotlivé zkoušené fasády včetně místa zkoušení jsou zobrazeny v následující tab. 4-2.

Tabulka 4-2 Experimentální testování fasád „Round Robin“ [16]

Velkorozměrová požární zkouška s velkým účinkem požáru			
Fasáda	Vnitřní testování	Vnitřní testování	Venkovní testování
Inertní (bez vzorku)	RISE FR (Norsko)	BRE (Velká Británie)	ÉMI (Maďarsko)
Hliníková	RISE FR	BRE	ÉMI
Hliníkový kompozitní materiál (ACM)	RISE FR	BRE	ÉMI
Dřevěná	RISE FR	BRE	ÉMI
Velkorozměrová požární zkouška se středním účinkem požáru			
Fasáda	Vnitřní testování	Vnitřní testování	Venkovní testování
Inertní (bez vzorku)	RISE BORAS (Švédsko)	RISE FR	EFFECTIS (Francie)
Dřevěná	RISE BORAS	RISE FR	EFFECTIS
ETICS	RISE BORAS	MFPA (Německo)	EFFECTIS
Vláknocementová	RISE BORAS	RISE FR	EFFECTIS

4.4 Návrh evropského klasifikačního systému fasádních systémů pro EN 13501

V březnu 2024 byl představen první návrh možného systému klasifikace fasádních systémů, který by mohl být implementován do norem řady EN 13501. Je nutné zmínit, že se jedná zatím o první pracovní návrh, který může ještě v budoucnu doznat změn ve všech aspektech. Tento koncept uvažuje se dvěma scénáři – velkorozměrovou požární zkouškou s velkým a středním účinkem požáru. Klasifikační kritéria vychází z hodnotících kritérií, viz kapitolu 4.1.7 a 4.2. Návrh možného systému klasifikace je zobrazen v následující tab. 4-3 [16].

Tabulka 4-3 Klasifikační třídy fasádních systémů

Třída	Zkušební metoda	Kritéria klasifikace	Doplňková klasifikace
LS ¹⁾	Velkorozměrová zkouška s velkým účinkem požáru	$\Delta T \leq 700 \text{ °C}$ v průměru ve výšce 4,5 m nad horním okrajem spalovací komory po dobu $\Delta t = 30 \text{ s}$ $\Delta T \leq 700 \text{ °C}$ v průměru ve svislé linii termočlánků po dobu $\Delta t = 30 \text{ s}$	F0/ F1/ F2 ³⁾
MS ²⁾	Velkorozměrová zkouška se středním účinkem požáru	$\Delta T \leq 500 \text{ °C}$ v průměru ve výšce 3,5 m nad horním okrajem spalovací komory po dobu $\Delta t = 30 \text{ s}$ $\Delta T \leq 500 \text{ °C}$ v průměru ve svislé linii termočlánků po dobu $\Delta t = 30 \text{ s}$	F0/ F1/ F2 ³⁾
¹⁾ LS = large scale ²⁾ MS = medium scale ³⁾ F0 = žádné padající části během zkoušky F1 = přírůstek hmotnosti padajících částí během 10 s nepřekročí 1 kg po celou dobu zkoušky F2 = přírůstek hmotnosti padajících částí během 10 s nepřekročí 5 kg po celou dobu zkoušky			

5 Analýza účinku zpětné radiace tepla při požárních zkouškách

Vytvoření správného prostředí během požárních zkoušek fasádních systémů je klíčové pro získání spolehlivých a opakovatelných výsledků. Požární zkoušky se obvykle provádějí ve vnitřním prostředí (zkušební haly), kde je nutné simulovat reálné podmínky, které co nejvíce přiblíží situaci reálnému požáru fasády. I když se v těchto zkušebnách co nejpřesněji napodobují skutečné situace, nelze zde zohlednit všechny aspekty, které mohou ovlivnit průběh požáru v reálném prostředí.

Na průběh vnitřní velkorozměrové požární zkoušky může mít vliv:

- Teplota okolí
- Vlhkost vzduchu
- Přísun a ventilace vzduchu
- Geometrie prostoru
- Okolní blízké povrchy konstrukcí

Zohlednění teploty a vlhkosti okolního vzduchu nebo druhu paliva je obvykle u velkorozměrových vnitřních požárních zkoušek přesně stanoveno ve zkušebních normách. I v současně vyvíjející se zkušební metodice jsou tyto parametry zohledněny. Je nutné také zmínit, že pro velkorozměrové požární zkoušky, které se provádějí ve venkovním prostředí jsou stěžejním faktorem povětrnostní podmínky.

Okolní konstrukce ve zkušebních halách by měly být zhotoveny z nehořlavého materiálu, ale jejich další specifikace není ve zkušební metodice uvedena. Tato práce včetně řešeného příkladu se zabývá zejména podrobným zkoumáním vlivu odrazivých povrchů konstrukcí z hlediska možného účinku zpětné radiace.

5.1 Vliv odrazivých povrchů při vnitřní požární zkoušce

U požárních zkoušek, které se provádějí ve vnitřním prostředí, mohou posuzovanou fasádu ovlivňovat odrazivé povrchy okolních povrchů ve zkušebně. Tepelný tok šířící se od zdroje požáru, ohřívá tyto povrchy, od kterých se následně vlivem zpětné radiace odráží na opačnou stranu, kde se nachází zkušební vzorek. Tímto může docházet k většímu tepelnému namáhání zkoušené fasády, což může mít za následek ovlivnění samotné zkoušky. Zkušební vzorek bude více zahříván a teploty na povrchu budou dosahovat větších hodnot.



Obrázek 5-1 Fotografie z požární zkoušky fasádního systému (zdroj: ČVUT)

Na obr. 5-1 je zobrazen příklad zkušebního prostoru pro velkorozměrovou požární zkoušku fasádního systému s okolními konstrukcemi. Účinek zpětného radiace od odrazivých povrchů je ovlivněn materiálovými a povrchovými charakteristikami těchto konstrukcí. Významnou roli zde hraje také emisivita, teplota či plocha povrchu. Vliv účinku zpětné radiace závisí také na geometrii daného prostoru.

5.2 Základní teorie sdílení tepla

Teplo se v prostoru může šířit třemi způsoby. Vedením (kondukcí) je teplo přenášeno zejména u pevných látek (může ale probíhat i v tekutinách), zatímco u plyných a kapalných látek se teplo přenáší prouděním (konvekcí) a sáláním (radiací). Tepelné zatížení, kterému je konstrukce v případě požáru vystavena, je dáno čistým tepelným tokem \dot{h}_{net} [$W \cdot m^{-2}$] dopadajícím na povrch prvku. Čistý tepelný tok je zapříčiněn prouděním a sáláním tepla z horkých plynů, plamenů nebo horkých povrchů konstrukcí.

Pro plochy, jež jsou vystaveny účinkům požáru, se čistý tepelný tok stanovuje s uvažováním přenosu tepla prouděním a sáláním dle ČSN EN 1991-1-2 z následujícího vzorce [33] [34]:

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r} \quad (5.1)$$

kde:

$\dot{h}_{net,c}$ je složka čistého konvekčního tepelného toku dle (5.2) [$W \cdot m^{-2}$]

$\dot{h}_{net,r}$ je složka čistého sálavého tepelného toku dle (5.3) [$W \cdot m^{-2}$]

Složka tepelného toku sdílená prouděním se stanoví podle vztahu:

$$\dot{h}_{net,c} = \alpha_c \cdot (\Theta_g - \Theta_m) \quad (5.2)$$

kde:

α_c je součinitel přestupu tepla prouděním dle ČSN EN 1991-1-2 [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]

Θ_g je teplota plynů v blízkosti prvku vystaveného účinkům požáru [$^{\circ}C$]

Θ_m je povrchová teplota prvku [$^{\circ}C$]

Složka tepelného toku sdílená radiací se stanoví podle vztahu:

$$\dot{h}_{net,r} = \phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\Theta_r + 273)^4 - (\Theta_m + 273)^4] \quad (5.3)$$

kde:

ϕ je polohový faktor dle přílohy G ČSN EN 1991-1-2 (lze uvažovat = 1,0),

ε_m je povrchová emisivita prvku (lze uvažovat = 0,8 ale i jiné hodnoty, viz kapitolu 5.3),

ε_f je emisivita požáru (lze uvažovat = 1,0),

σ je Stephan-Boltzmannova konstanta ($= 5,67 \cdot 10^{-8}$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$]),

Θ_r je účinná teplota sálání prostředí požáru (v případě prvků vystavených požáru ze všech stran lze uvažovat $\Theta_r \cong \Theta_g$ [$^{\circ}C$]),

Θ_m je povrchová teplota prvku [$^{\circ}C$] [35].

5.3 Fyzikální charakteristiky materiálů a povrchů

Blízké povrchy okolních konstrukcí v prostoru, ve kterém probíhají velkorozměrové požární zkoušky, musí být zhotoveny z nehořlavých materiálů. Tyto materiály jsou schopny odolávat účinkům požáru po dlouhou dobu. Je však nutné si uvědomit, že materiálové charakteristiky okolních konstrukcí mohou ovlivnit průběh požáru při uvážení účinku zpětné radiace od odrazivých povrchů. Níže jsou vysvětleny nejdůležitější vlastnosti a veličiny materiálů, které mohou mít vliv na účinek zpětné radiace.

- Objemová hmotnost ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] – tato veličina je definována jako poměr hmotnosti k celkovému objemu prvku. U betonu se tato hodnota pohybuje řádově výš než například u tepelných izolací.
- Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] – jedná se o veličinu, jež charakterizuje schopnost materiálu vést teplo. Izolační materiály (polystyren, minerální vata) vykazují velice nízkou hodnotu tepelné vodivosti, zatímco třeba železo a hliník dokáží vést teplo velmi dobře.
- Měrná tepelná kapacita c [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] – množství tepelné energie, které je potřebné k ohřátí 1 kilogramu látky o 1 teplotní stupeň ($^{\circ}\text{C}/\text{K}$) při dané vlhkosti a stálém tlaku. U dřeva se například tato hodnota mění při 100 $^{\circ}\text{C}$, což souvisí s vázanou vodou, která se z prvku vypařuje.
- Tloušťka d [m] – čím tenčí je konstrukce, tím rychleji může docházet k prohřátí a vlivem větší teploty vyzařovat více tepelné energie [36].

Výše uvedené parametry jsou základními veličinami, které se uplatňují také ve výpočtech při řešení rovnic vedení tepla a dalších numerických požárně technických a tepelně technických úloh. Pro vybrané stavební materiály jsou v tab. 5-1 uvedeny hodnoty výše uvedených veličin. U všech výše zmíněných veličin je důležité zohlednit fakt, že při rostoucí *teplotě* se mění také hodnoty těchto veličin.

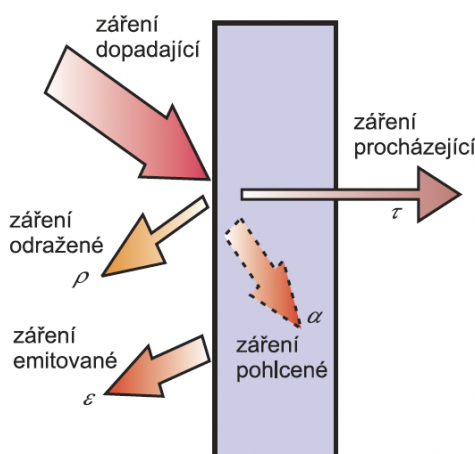
Při posuzování účinku možné zpětné radiace je klíčovým faktorem zohlednění vlivu sálavých vlastností samotného povrchu konstrukce. Každý materiál svým povrchem vyzařuje (emituje) elektromagnetické záření včetně tepelného sálání a současně pohlcuje a mění v teplo vyzářené elektromagnetické záření okolními konstrukcemi. Čím více záření prvek pohltí, tím více se zvětšuje jeho teplota, a tudíž tento prvek bude emitovat více tepelného záření. Množství tohoto vyzařovaného tepelného záření roste se čtvrtou mocninou teploty povrchu. Tepelné sálání povrchu je tedy spjato zejména s termodynamickou teplotou sálajícího tělesa a se sálavými vlastnostmi jeho povrchu. Stručný popis jednotlivých sálavých vlastností povrchu [37]:

- Emisivita ε – jedná se o poměr vyzařovaného výkonu reálných těles k výkonu vyzařovaném černým tělesem¹ při stejné teplotě. Vyjadřuje schopnost povrchu materiálu vyzařovat teplo v podobě elektromagnetického záření. Tato veličina může nabývat hodnot mezi 0 a 1, kdy nejvyšší hodnoty nabývá absolutně černé těleso. Emisivita je stěžejním parametrem při určení dopadající složky sálavého tepelného toku na konstrukci, viz rovnici (5.3).

¹ Černé těleso je idealizovaný objekt, který se používá při teoretickém popisu dějů probíhajících při vyzařování. Tento teoretický objekt při dané teplotě vyzáří největší možné množství energie a pohltí veškerou energii, která na něj dopadá ($\alpha = \varepsilon = 1$). Z hlediska tepelného sálání je většina stavebních materiálů považována za tzv. šedá tělesa, které vyzařují záření úměrně nižší než černá tělesa [37].

- Pohltivost (absorbance) α – tato veličina je definována jako poměr pohlceného zářivého toku k dopadajícímu toku. Tato veličina může nabývat hodnot mezi 0 a 1, kdy nejvyšší hodnoty nabývá absolutně černé těleso.
- Odrazivost (reflektance) ρ – jedná se o poměr odraženého zářivého toku k dopadajícímu toku. Tato veličina může nabývat hodnot mezi 0 a 1, kdy nejvyšších hodnot nabývají dokonale vyleštěné materiály, tzv. reflexní materiály.
- Propustnost (transmitance) τ – je poměr prostupujícího tepelného toku k toku dopadajícímu. Tato veličina může nabývat hodnot mezi 0 a 1, kde většina stavebních materiálů (beton, dřevo, zdivo, omítky) má propustnost nulovou [37].

Při dopadu elektromagnetického záření na povrch může materiál toto záření buď pohltit, odrazit, nebo propustit. Na obr. 5-2 jsou schematicky znázorněny možné jevy, které se projevují u reálných objektů. Výše zmíněné veličiny jsou ovlivněny dalšími parametry, jako např. materiálem, kvalitou povrchu nebo úhlem dopadu sálavého tepelného toku [37].



Obrázek 5-2 Schematické znázornění rozdělení dopadajícího záření na povrch materiálu [37]

Sálavé vlastnosti povrchů se dají také vyjádřit jednoduchými matematickými rovnicemi, které vycházejí ze základních fyzikálních zákonů pro vyzařování. Důležité u těchto rovnic je, že všechny tyto veličiny se posuzují pro určitý *úhel dopadu* Ω , *vlnovou délku* λ^2 a *termodynamickou teplotu* T .

$$\varepsilon = \alpha \quad (5.4)$$

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (5.5)$$

² Vlnovou délku elektromagnetického záření lze popsat jako vzdálenost dvou sousedních bodů ve stejné fázi elektromagnetické vlny. Značí se λ a jednotka je obvykle mikrometr [μm]. V intervalu vlnových délek od 0,1 μm do 100 μm se považuje elektromagnetické záření za tepelné sálání. Vlnová délka se určí jako podíl rychlosti šíření světla c a frekvence f [38] [39].

Vztah (5.5) se dá analogicky vyjádřit také rovnicí:

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1 \quad (5.6)$$

kde:

α je pohltivost povrchu,

ρ je odrazivost povrchu,

τ je propustnost povrchu,

ε je emisivita povrchu [37].

Materiály, které nepropouštějí elektromagnetické záření se označují jako neprůteplivé. Opakem těchto materiálů jsou materiály průteplivé, kam se může zařadit sklo, vzduch či některé druhy pěnových plastů. Vzhledem k tomu, že u neprůteplivých materiálů se $\tau = 0$, tak se dopadající záření dělí pouze na část odraženou a pohlcenou. Rovnice u neprůteplivých materiálů se dají zjednodušit do tvaru [39]:

$$\alpha + \rho = 1, \quad \text{popř. } \varepsilon + \rho = 1 \quad (5.7)$$

Barva a struktura povrchu jsou stěžejními vlastnostmi při stanovení hodnot sálavých vlastností povrchu konstrukce, jako např.:

- Lesklé materiály disponují vysokou odrazivostí, tudíž emisivita těchto materiálů je nízká.
- Matné prvky pohlcují mnohem více záření než lesklé prvky.
- Černá tělesa pohlcují elektromagnetické záření nejlépe.
- Bílé povrchové úpravy jsou často používány jako reflexní materiály – jedná se o materiály s vysokou odrazivostí [33].

V tab. 5-1 jsou uvedeny hodnoty jednotlivých výše zmíněných fyzikálních veličin pro vybrané stavební materiály.

Tabulka 5-1 Hodnoty fyzikálních veličin jednotlivých stavebních materiálů [39] [37]

Materiál	Objemová hmotnost ρ [kg·m ⁻³]	Tepelná vodivost λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Měrná tepelná kapacita c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Emisivita ε [-]
Beton	2200	1,30	1020	0,92
Minerální vata	100	0,039	1000	0,94
Omítka vápenná	1600	0,70	840	0,90
Sklo	2600	0,76	840	0,92
Ocel, oxidovaná	7850	50	490	0,30
Hliník, oxidovaný	2700	58	870	0,20

5.4 Geometrie prostoru

Kromě materiálových a povrchových charakteristik odrazivých povrchů je zásadním parametrem geometrie prostoru, kde dochází k účinkům sálání. Čím blíže budou okolní stěny ke zdroji požáru, tím více se tyto konstrukce zahřejí sálavým tepelným tokem. Okolní stěny budou tedy emitovat více tepelného záření, které bude dopadat zpět na zkoušenou fasádu. Roli zde hraje také plocha

jednotlivý povrchů. Větší plochy povrchů znamenají větší oblast, ze které může být tepelné záření vyzařováno.

V rovnici (5.3) je jedním z parametrů tzv. polohový faktor ϕ . Tento parametr je definován jako podíl celkového sálavého tepla vycházejícího ze zdroje, který dopadne na přijímací plochu. Tato veličina může nabývat hodnot v rozmezí 0 a 1. Hodnota tohoto faktoru závisí na těchto veličinách:

- Velikost sálajícího povrchu
- Vzdálenost mezi sálajícím a přijímajícím povrchem
- Vzájemná orientace sálající a přijímající plochy
- Účinek stínění

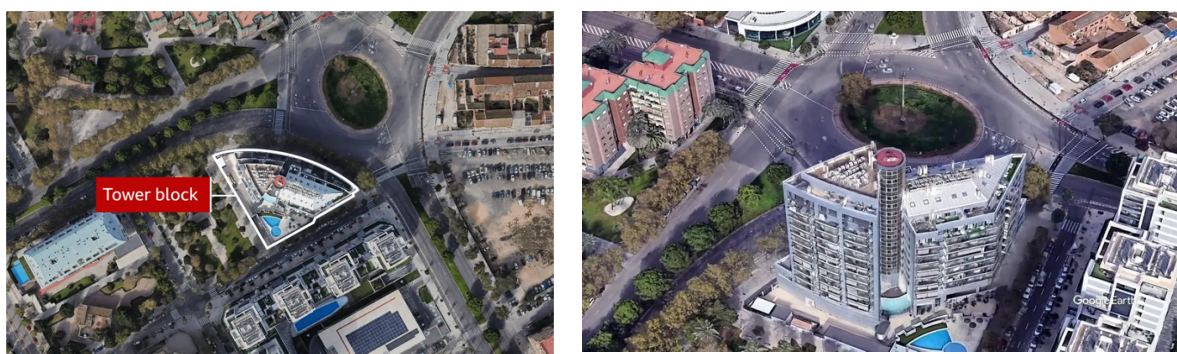
Ve skutečnosti se lze setkat s dispozicí rovnoběžnou, kolmou, nebo dispozicí, kdy obě plochy svírají jiný úhel. Jedná se o důležitý parametr, který udává, v jakém úhlu dopadá sálavý tepelný tok na plochu přijímající. Boční a hlavní křídlo při velkorozměrových požárních zkouškách jsou vzájemně v kolmé dispozici, zatímco hlavní křídlo a okolní konstrukce zkušebny se mohou nacházet v rovnoběžné vzájemné dispozici. V případě vzájemné rovnoběžné dispozice se jedná o nejméně příznivý případ přenosu tepla radiací, protože sálavý tepelný tok dopadá kolmo na posuzovanou konstrukci. V příloze G ČSN EN 1991-1-2 je uveden výpočet pro stanovení hodnoty polohového faktoru v závislosti na vzájemné dispozici [40] [35].

6 Případová studie fasádního požáru

Požáry fasád, které se staly v minulosti, jasně ukazují, že nesprávně navržené nebo špatně zrealizované fasádní systémy mohou vést k fatálním následkům. Nejtragičtějším požárem z posledních let je bezpochyby požár bytového domu Grenfell z června roku 2017. Celkem zde přišlo o život 72 lidí. Klíčovým faktorem pro svislé šíření požáru bylo použití hořlavého izolantu s hořlavým obkladem ve větrané fasádě, což kvůli absenci požárních přepážek (bariér) ve větrané dutině napomohlo komínovému efektu. Podrobnější popis této tragické události byl proveden již v diplomové práci [17].

Požár bytového domu ve Valencii, 2024

V únoru roku 2024 došlo k tragickému požáru v bytové části polyfunkčního objektu ve Valencii. Jedná se o bytový komplex o rozloze 3724 m² nacházející se v nové rezidenční čtvrti, který byl postaven v roce 2008. Celý objekt je složený ze dvou částí o 14 resp. 10 podlažích, které jsou propojeny společným výtahem (obr. 6-1). Ve spodních dvou podlažích se nacházejí komerční prostory a v ostatních vyšších podlažích se nacházejí bytové jednotky. Celkem se zde nachází 138 bytů pro 450 lidí [41].



a) Situace

b) Pohled

Obrázek 6-1 Bytový dům ve Valencii [42]

Podle aktuálně dostupných informací byl objekt zateplen větraným fasádním systémem. Budova byla nejspíše obložena hliníkovým kompozitním panelem (ACM), nicméně jako izolační materiál byl dle dostupných fotografií použit pravděpodobně nehořlavý izolant – minerální vata [41].

Hliníkové kompozitní panely jsou obvykle složeny ze dvou hliníkových krycích desek o tl. cca 0,5 mm a z izolačního jádra obvykle o tl. cca 5 mm. Jádro těchto panelů bývá tvořeno buď hořlavým polyethylenem (třída reakce na oheň D až F), polymerním jádrem s retardérou hoření (B) nebo minerálním jádrem (A2). Pro spojení hliníkových desek s jádrem se používají různá termoplastická adheziva, např. polyuretanová lepidla, která mohou být také hořlavá.

Zda byl použit panel s hořlavým jádrem nebo jiný typ panelu není stále jasné kvůli aktuálně probíhajícímu vyšetřování. V současné době se také zkoumá, zda nemohl být termoplastický materiál, používaný jako adhezivum v ACM panelu, potenciálním akcelerátorem požáru [41].

Průběh požáru

Dne 22. února 2024 došlo k požáru v bytě na 7. podlaží obytného komplexu v 17:30 hod. Možnou příčinou požáru mohla být dle dostupných zdrojů závada na elektrospotřebiči. V 17:37 hod. se již plameny šířily z okna zasaženého bytu na balkón a na fasádu budovy.

O tři minuty později, v 17:40 hod., se plameny rozšířily do podlaží níže a začaly se horizontálně šířit na obě strany fasády, jak je zřejmé z dostupných obrázků. Z obr. 6-2 v čase 17:51 hod. je vidět, že plameny se výrazně rozšířily do vyšších podlaží objektu, ale také se požár šíří do stran i směrem dolů. Z budovy odpadávají jednotlivé části fasády. Také je vidět, jak se do ovzduší dostává velmi tmavý a hustý kouř, který zachvacuje velkou část objektu [43].

Během prvních dvaceti minut došlo k dramatickému rozšíření plamenů po fasádě budovy. Přibližně v tomto čase začali hasiči s prvními pokusy o hašení požáru, což bylo značně komplikováno silným větrem a výškou, ve které požár probíhal.



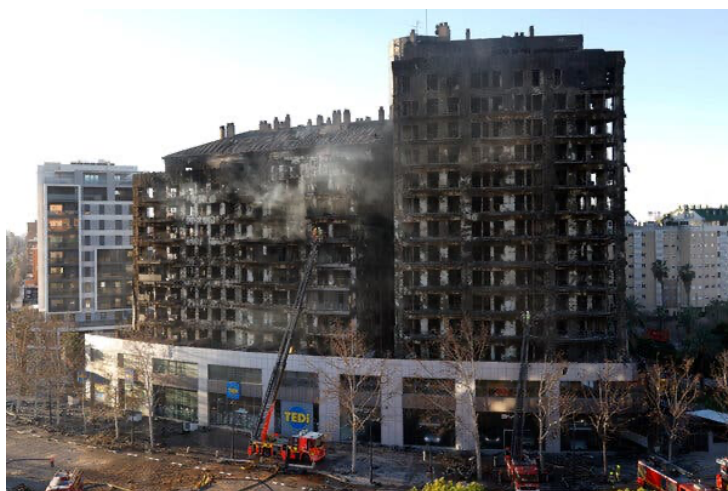
Obrázek 6-2 Průběh požáru bytového domu ve Valencii – první fáze [43]

V čase 18:17 hod. (obr. 6-3) byl požárem zasažen téměř celý povrch fasády a střecha vyšší části obytného komplexu. Silný vítr, dosahující rychlosti až $60 \text{ km}\cdot\text{hod}^{-1}$, výrazně přispíval k šíření plamenů a hustého tmavého kouře, který postupoval směrem k druhé části objektu. V této fázi bylo jasné, že požár nabývá na intenzitě a jeho šíření se stává nekontrolovatelným. O pouhých 5 minut později, v 18:22 hod., se situace dramaticky zhoršila. Plameny zcela zachvátily spojovací výtah a rozšířily se na druhou část objektu. V tento moment je požárem zasažena už velmi rozsáhlá část komplexu. Z objektu také do ovzduší uniká obrovské množství zplodin hoření. Značná část obytného domu je v plamenech v čase 19:34 hod., tedy pouhé dvě hodiny od počátku požáru. Oheň se dostal do všech částí objektu a napáchal zde obrovské škody. Objekt je po úplném prohoření a následném uhašení zachycen na obr. 6-4 [43].



Obrázek 6-3 Průběh požáru bytového domu ve Valencii – druhá fáze [43]

Hlavním faktorem pro rychlé šíření požáru byla pravděpodobně konstrukce větraného fasádního systému. Z dostupných fotek je zřejmé, že po prvotním rozšíření požáru na fasádu došlo k rychlému vertikálnímu šíření požáru na fasádě objektu, tedy k tzv. komínovému efektu (obr. 6-2). Dalším faktorem, který přispěl k rychlému rozšíření požáru zejména v horizontálním směru, byl vítr. Rychlost větru v ten den měla dosahovat až $60 \text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$. Přenos požáru z první budovy na druhou tedy mohl být výrazně ovlivněn účinkem větru.



Obrázek 6-4 Budova obytného komplexu ve Valencii po požáru [44]

Během požáru přišlo o život 10 lidí a dalších 15 lidí včetně několika hasičů bylo zraněno. Zasahujícím hasičům se povedlo zachránit několik dalších osob před účinky požáru a zplodinami hoření. Kvůli vysokým teplotám se však mohli hasiči dostat pouze do 12. podlaží a při hašení jim situaci velmi komplikoval vítr, vysoké teploty a odpadávající části fasády [41].

V bytových domech tvoří každý byt samostatný požární úsek, kdy se při požáru v jednom z bytů nepředpokládá rozšíření do dalších požárních úseků. Je vidět, že při vadném konstrukčním řešení fasády může během několika desítek minut dojít k rozšíření požáru do všech požárních úseků a k následnému zničení budovy. Při návrhu budovy z hlediska požární bezpečnosti je nutné věnovat stejnou pozornost jak návrhu a členění objektu do požárních úseků, tak návrhu obálce budovy z hlediska požární bezpečnosti.

Zdali byl objekt vybaven požárně bezpečnostními zařízeními, jak probíhala evakuace osob, a co přesně tvořilo konstrukci větraného fasádního systému, bude zřejmě z aktuálně probíhajícího vyšetřování. V současné chvíli je však jasné, že se jedná o jeden z nejtragičtějších požárů fasády objektu na území Evropy [41].

7 Analýza zpětné radiace tepla s využitím CFD modelů pro požární zkoušky

Skutečný požár fasády budovy může být ovlivněn několika vlivy, ať už se jedná např. o kombinaci použitých hořlavých materiálů nebo povětrnostní či klimatické podmínky. Při zkoušení fasádních systémů z hlediska požární bezpečnosti se obvykle využívá vnitřních požárních zkoušek ve zkušebních halách či požárních laboratořích. Požární zkoušky realizované ve vnitřním prostředí však musí být prováděné tak, aby co nejvíce refletovaly reálné chování požáru při skutečných požárech. Je nutné nadefinovat vhodný zdroj paliva, sestavit optimální geometrii zkušební sestavy nebo účelně umístit měřicí zařízení pro získání nejrelevantnějších výsledků. Samotný zkušební vzorek však může být při vnitřním zkoušení ovlivněn okolním povrchy z hlediska zpětné radiace. Vycházející teplo ze zdroje požáru se pomocí radiace šíří v prostoru, ohřívá okolní povrchy a následně se odráží zpět na zkušební vzorek. Tento jev může negativně působit na zkoušenou fasádu. Pro zhodnocení možného účinku zpětné radiace při požárních zkouškách bylo zvoleno řešení pomocí výpočetních numerických modelů v programu FDS. Řešení pomocí programu FDS může poskytnout výsledky, které mohou následně posloužit při provádění reálných požárních zkoušek.

7.1 Výpočetní program FDS

Pro zkoumání účinku zpětné radiace od okolních konstrukcí zpět na zkušební vzorek je vytvořena série matematických CFD modelů v programu FDS (Fire Dynamics Simulator, [45]) verze 6.9.1. Program FDS byl vyvinut americkou laboratoří NIST (National Institute of Standards and Technology). Princip analýzy je založený na porovnání vždy dvou modelů, kdy jeden model je vytvořen bez okolních odrazivých povrchů. Pro tvorbu modelu a pro grafické zobrazení výsledných dat byl také využit aplikační software Pyrosim (verze 2023.3.1312, [46]), který plnil funkci pre-processoru a post-processoru. Pro vytvoření modelů byla také použita příručka „Modelování dynamiky požáru v budovách“ viz [49].

Vzhledem k časově náročným výpočtům byl pro samotný výpočet použit volně dostupný „cloudový“ vysoce výkonný výpočetní systém Cloud HPC (High Performance Computing) [47]. Tento systém lze využít k složitým inženýrským výpočtům, jako např. CFD modely či k metodě konečných prvků. Umožňuje také provést složité FDS analýzy v mnohem kratším čase než na běžných osobních počítačích. Pro výpočet byl také využit výkonný počítač, který se nachází na Fakultě stavební Českého vysokého učení technického v Praze.

Program FDS využívá výpočetního modelu CFD (Computational Fluid Dynamics). V CFD modelech je výpočtová oblast rozdělována do konečného počtu trojrozměrných kontrolních objemů (buněk) vytvářejících prostorovou síť. V každé výpočetní buňce jsou poté řešeny stavové rovnice a rovnice zachování, hmoty, energie a chemických látek a také zachování hybnosti. Program FDS využívá pro výpočet nadstavby, tzv. požární submodely, které umožňují simulovat účinek hoření [48, 49].

7.2 CFD model velkorozměrové požární zkoušky s velkým účinkem požáru

CFD model pro velkorozměrovou požární zkoušku navazuje na model z již zveřejněného článku „Analýza okrajových podmínek pro velkorozměrovou požární zkoušku fasádních systémů“, který je součástí sborníku studentské vědecké konference Zapálení 2023, viz [50]. Model je však v několika parametrech doplněn a zpřesněn a jeho podrobný popis je proveden níže.

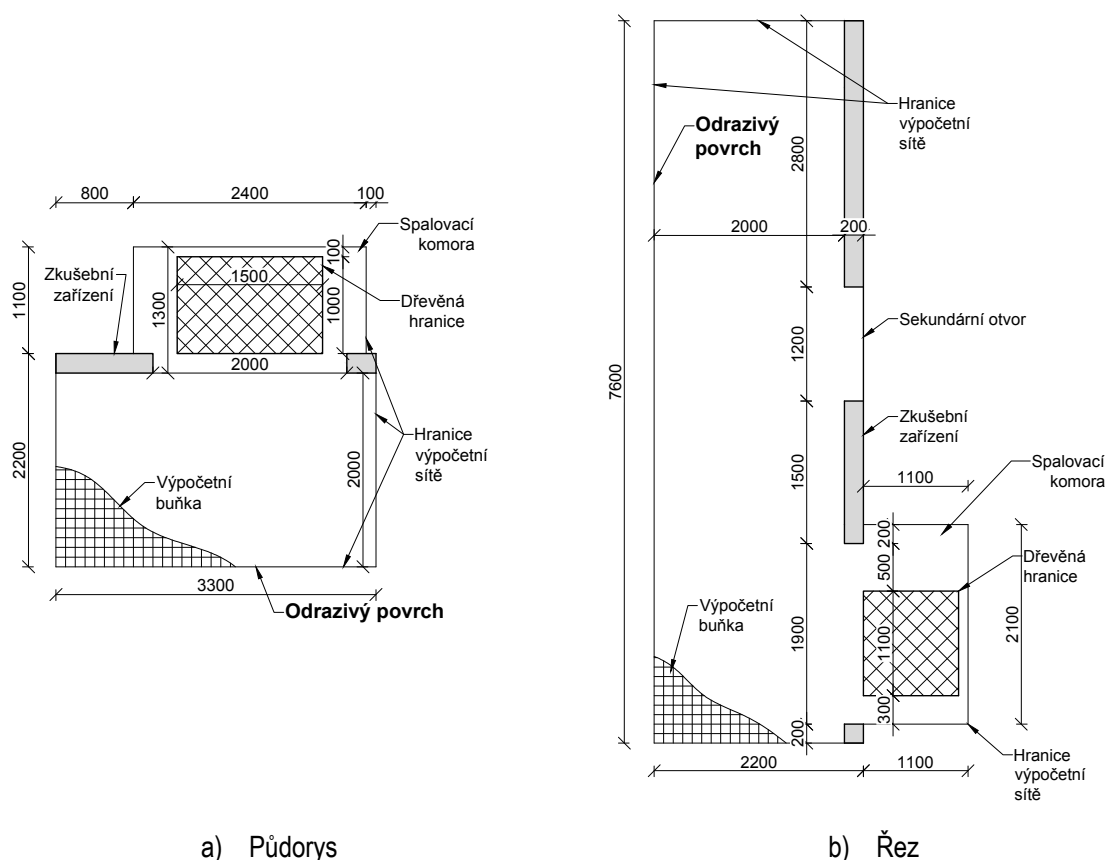
Pro výpočet jsou uvažovány 2 varianty modelu. První varianta je bez ohraničující konstrukce, druhá varianta má ve vzdálenosti 2 m před hlavním křídlem ohraničující konstrukci (odrazivou stěnu) pro sledování účinku zpětné radiace.

V ostatních parametrech jsou modely jinak totožné. Cílem tedy je analyzovat, do jaké míry jsou výsledky z obou modelů odlišné, čímž by se projevil účinek zpětného sálavého tepelného toku od odrazivé stěny.

7.2.1 Základní geometrie

Základní geometrie modelu vychází z publikovaných dat aktuálně navrhované metodiky viz kapitolu 4.1. V určitých parametrech je však samotný model zjednodušen. Zkušební zařízení je vymodelováno bez bočního křídla a zdroj hoření je také upraven viz níže.

Rozměry modelu jsou patrné z obr. 7-1. Hlavní křídlo je vymodelováno o šířce 3 300 mm a výšce 7 600 mm. Otvor spalovací komory má velikost 2000 mm × 1900 mm (d × v). Vnitřní rozměry spalovací komory činí 2400 mm × 1100 mm (d × š × v). Na hlavním křídle se také nachází sekundární otvor ve výšce 1500 mm nad horním okrajem spalovací komory. Sekundární otvor je čtvercového tvaru o délce strany 1200 mm.



Obrázek 7-1 Základní geometrie modelu

7.2.2 Výpočetní síť

Ve výpočetním programu FDS jsou v každém z modelů vytvořeny dvě výpočetní sítě. Jednu výpočetní oblast tvoří spalovací komora, druhou výpočetní oblast reprezentuje prostor před

spalovací komorou včetně zkušebního zařízení a odrazivé stěny. Výpočetní sítě jsou na sebe přímo napojeny v místě otvoru spalovací komory.

Výpočetní oblast spalovací komory má rozměry 2400 mm × 1100 mm × 2100 mm (d × š × v), kdy velikost kontrolního objemu ve výpočetní síti činí 0,05 m × 0,05 m × 0,05 m. Tento rozměr je zvolen i s ohledem na umístění zdroje hoření. Celkový počet buněk v této oblasti činí 44 352.

Výpočetní oblast prostoru před spalovací komorou má rozměry 3300 mm × 2200 mm × 7600 mm (d × š × v), kdy velikost kontrolního objemu ve výpočetní síti činí 0,1 m × 0,1 m × 0,1 m. Vzhledem k časově náročným výpočtům v programu FDS je zvolen dvojnásobný rozměr kontrolního objemu oproti rozměrově výrazně menší výpočetní oblasti spalovací komory. Celkový počet buněk v této oblasti činí 55 176.

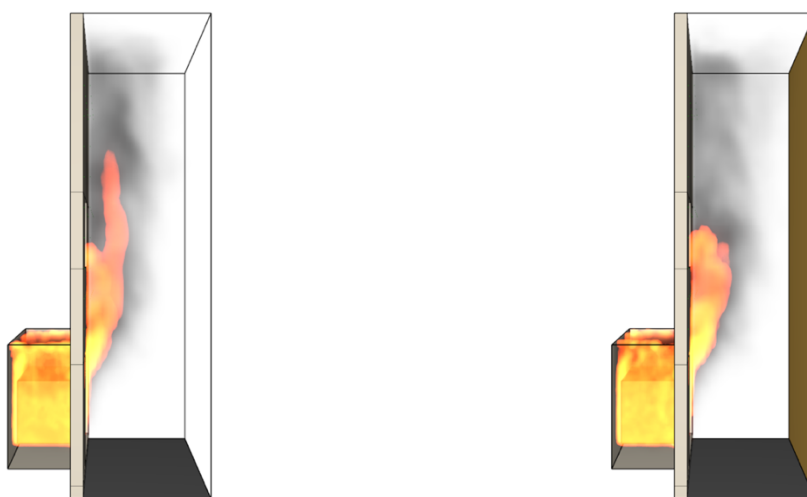
Celý model je složen z 99 528 buněk. Na obr. 7-1 je zobrazen jednoduchý výřez použité výpočetní sítě před spalovací komorou (velikost výpočetní buňky 0,1 m). Pro přehlednost je zde vidět pouze část této sítě.

Hranice výpočetní sítě – model s odrazivou stěnou

Na spodní hranici větší výpočetní sítě je nadefinován povrch betonu, jenž znázorňuje konstrukci podlahy. Vnější hranicím uvnitř spalovací komory jsou přiřazeny charakteristiky pórobetonových tvárníc. Ve vzdálenosti 2 m od zkušebního zařízení je svislé hranici výpočetní sítě přiřazen materiál – cementem pojená deska z lehčeného betonu (tzv. požární deska Fermacell Aestuver). Tato konstrukce znázorňuje odrazivou stěnu pro analýzu vlivu zpětné radiace. Ostatní hranice výpočetní sítě jsou v programu FDS namodelovány jako otevřené, které umožňovaly volné proudění vzduchu.

Hranice výpočetní sítě – model bez odrazivé stěny

Zde jsou zvoleny stejné materiálové charakteristiky s jedinou výjimkou. Odrazivá stěna zde není modelována – tato 2 m vzdálená svislá hranice výpočetní sítě je nadefinována jako otevřená.



a) Model bez odrazivé stěny

b) Model s odrazivou stěnou

Obrázek 7-2 Vizualizace obou modelů velkorozměrové zkoušky

7.2.3 Materiálové charakteristiky

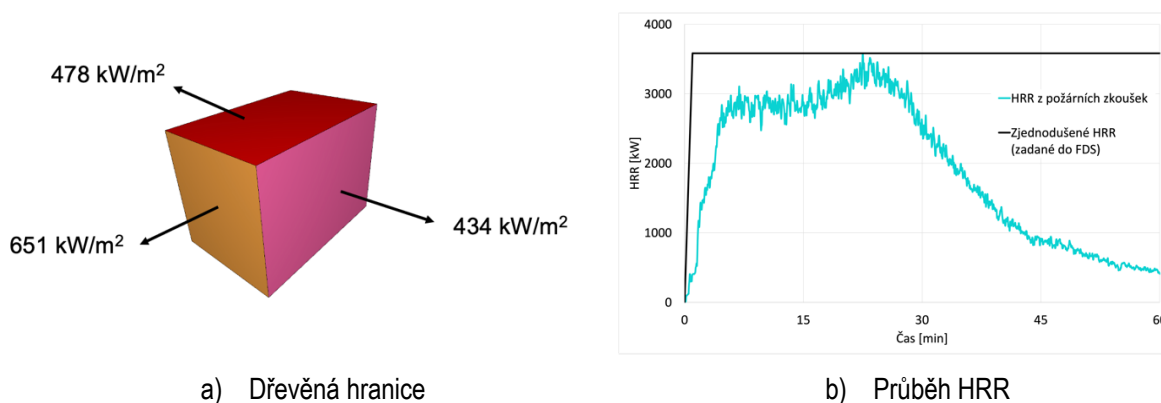
Hlavní křídlo včetně konstrukce spalovací komory má nadefinované materiálové charakteristiky, které odpovídají nehořlavým pórobetonovým tvárnici Ytong. Konstrukce podlahy je modelována jako betonová, kdy materiálové charakteristiky jsou převzaty přímo z knihovny materiálů programu FDS. V modelu s odrazivou stěnou je odrazivá konstrukce vymodelována jako požární deska Fermacell Aestuver. V následující tabulce 7-1 jsou přehledně popsány charakteristiky použitých materiálů, jež vstupovaly do výpočetního modelu.

Tabulka 7-1 Materiálové charakteristiky [51] [52] [48]

Materiál	Tloušťka d [mm]	Měrná tepelná kapacita c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Tepelná vodivost λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Objemová hmotnost ρ [kg·m ⁻³]	Emisivita ε [-]
Tvárnice Ytong	200	1 000	0,13	500	0,9
Protipožární desky Feramacell Aestuver	30	900	0,21	680	0,8
Beton	200	1040	1,80	2280	0,9

7.2.4 Zdroj hoření

Pro velkorozměrovou požární zkoušku je zdroj požáru definován jako hořící dřevěná hranice o rozměrech 1500 mm × 1000 mm × 1100 mm (d × š × v). Průběh HRR je převzatý z uskutečněných požárních zkoušek, které byly prováděny při aktuálním vývoji jednotné evropské metodiky 4.1.3. V obou modelech dochází ke zjednodušení tím, že se od 60. sekundy počítá s plným výkonem zdroje paliva. Toto zjednodušení je zvoleno s ohledem na náročnost výpočtu. Délka výpočtu je nastavena na 900 s (15 minut). Jedná se o předběžný, modifikovaný a zjednodušený model velkorozměrové požární zkoušky, jehož cílem je analyzovat účinek zpětné radiace. Díky plnému výkonu již po 60. sekundě je možné sledovat trend vývoje účinku zpětné radiace i v časovém úseku 900 s.

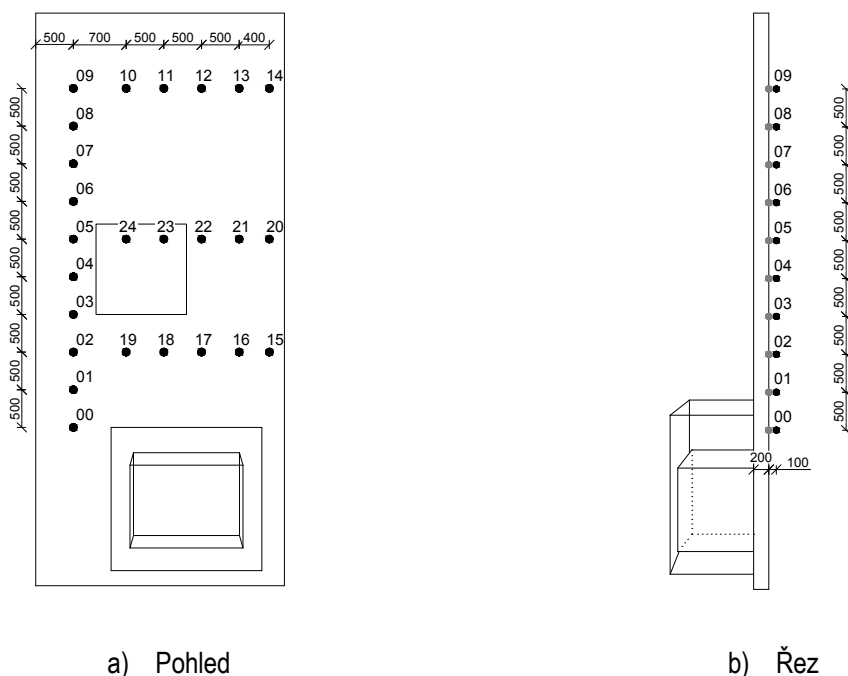


Obrázek 7-3 Rychlost uvolňování tepla (HRR) pro definovanou hořící dřevěnou hranici

Maximální hodnota HRR činí 3 582 kW, což odpovídá požadavkům dle [16]. Průběh rychlosti uvolňování tepla je zobrazen na obr. 7-3b. Průběh HRR se v FDS zadává v kW·m⁻², kdy maximální hodnota HRR (3 582 kW) se rozdělí na jednotlivé plochy hořícího kvádru (dřevěné hranice) dle velikosti těchto ploch. V programu FDS se uvažuje s hořením 5 stran dřevěné hranice, kdy spodní strana kvádru se nepodílí na procesu hoření. Hodnoty přiřazené jednotlivým plochám dřevěné hranice jsou patrné z obr. 7-3a.

7.2.5 Měřicí zařízení

Základní veličinou sloužící pro porovnávání výsledných hodnot je teplota. Pomocí termočlánků či měřicích zařízení je měřena jak teplota plynů zkušebním zařízením, tak teplota konstrukce (tzv. wall temperature). Nastavení termočlánků je předdefinované programem FDS. Dále se měří také dopadající sálavý tepelný tok pomocí radiometrů. Umístění měřicích bodů je patrné z obr. 7-4.



Obrázek 7-4 Umístění termočlánků a radiometrů

Poloha měřicích bodů koresponduje s nově navrhovanou metodikou s přihlédnutím k rozměrům výpočetní sítě. Do modelu jsou doplněny další horizontální linie měřicích bodů ve výšce 1 m a 2,5 m nad horním okrajem spalovací komory. Termočlánky jsou umístěny 10 cm před zkušebním zařízením. Měřicí zařízení teploty a radiometry jsou umístěny na povrchu konstrukce ve stejných místech – např. v místě měřicího bodu č. 17 (obr. 7-4) je umístěn jak měřicí zařízení teploty, tak radiometr. Radiometry mají svoji orientaci nastavenou směrem k odrazivé stěně. V programu FDS jsou také nastaveny plošné parametry, které ukazují např. plošné zobrazení teploty nebo plošné zobrazení dopadajícího tepelného toku na konstrukci. Výsledné hodnoty jsou také zobrazeny v 2D teplotních řezech a isoplochách, viz dále.

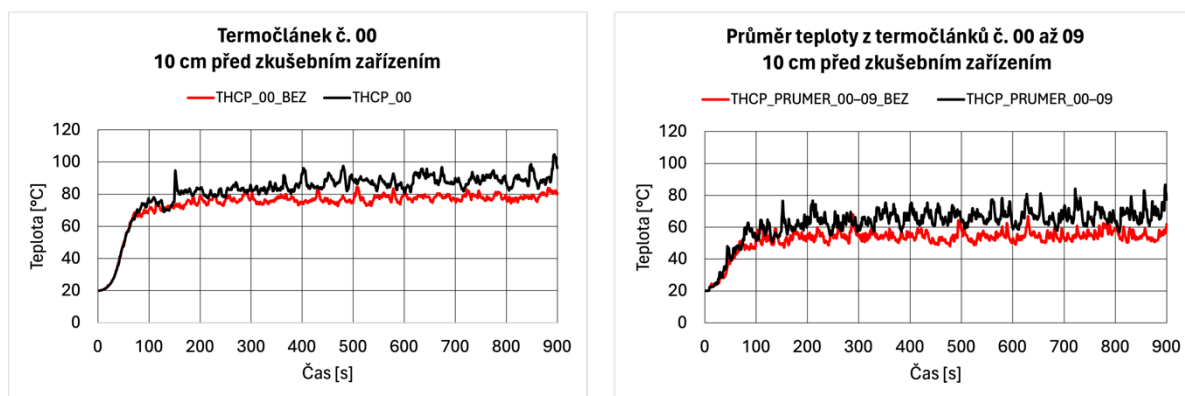
7.2.6 Diskuze získaných výsledků

Hlavním cílem těchto dvou výpočetních modelů (obr. 7-2) je analýza výsledných hodnot a následně zhodnocení účinku zpětné radiace od odrazivé stěny. Nejdůležitějším posuzovaným kritériem je teplota. Hodnoty, které jsou zjištěny pomocí měřicích zařízení se dále upravují s pomocí programu MS Excel. Na obrázcích níže jsou také zobrazeny vizuální výstupy 2D řezů a isoploch z výpočetního programu Pyrosim. V grafických výstupech jsou měřicí zařízení umístěná na konstrukci označena jako „WALL“. Model bez odrazivé stěny je doplněn doplňujícím popisem „BEZ“. Popisek „THCP“ značí termočlánek a „RM“ označuje radiometr.

Termočlánky a měřicí zařízení teploty povrchu ve svislé linii

Ve svislé linii se nachází celkem 10 termočlánků, které jsou umístěny 10 cm před konstrukcí zkušebního zařízení. Stejný počet měřicích zařízení se nachází na povrchu konstrukce. Pro porovnání je zvolen měřicí bod č. 00 a také průměrná hodnota ze všech měřicích bodů umístěných ve svislé linii (č. 00 až 09). Měřicí bod č. 00 se nachází 500 mm vodorovně od horní hrany spalovací komory.

Z obr. 7-5a je vidět, že teploty v termočlánku č. 00 dosahují v modelu s odrazivou stěnou vyšších hodnot. Od začátku do cca 80. sekundy je vidět prudký nárůst teplot, který koresponduje se zadaným průběhem rychlosti uvolňování tepla. Teploty v obou modelech se od 100. sekundy pohybují v rozmezí cca 70 °C a 100 °C. Průměrný rozdíl mezi oběma průběhy činí 10–15 °C. Průměr hodnot ze všech termočlánků ve svislé linii je zobrazen na obr. 7-5b. Z tohoto grafu je zřejmé, že průměrné hodnoty teplot jsou vyšší pro model s odrazivou stěnou. Průměrná hodnota se zde pohybuje mezi 50 °C a 80 °C, kdy rozdíl mezi oběma křivkami činí cca 15 °C. Z grafů je jasně patrné, že vliv odrazivé konstrukce, od které se teplo odráží zpět do prostoru má vliv na výsledné teploty.



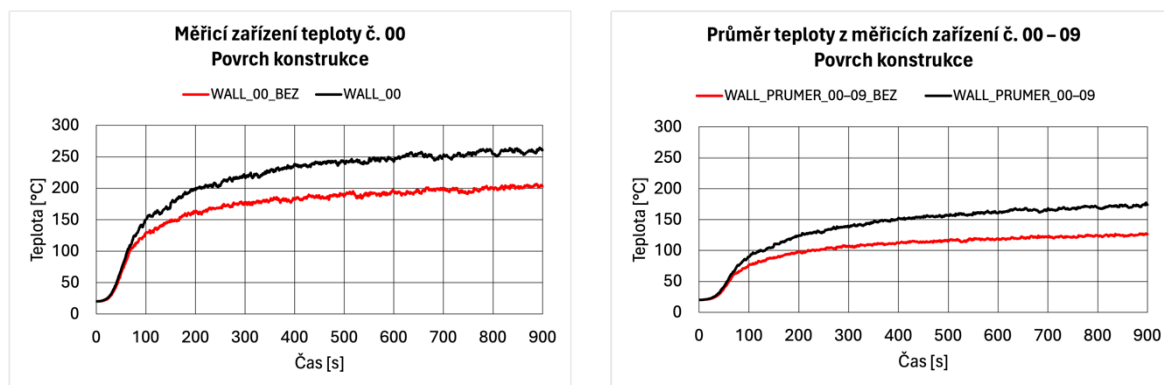
a) Termočlánek č. 00

b) Průměr z termočlánků č. 00–09

Obrázek 7-5 Průběh teplot – termočlánky ve svislé linii

Teploty na povrchu konstrukce jsou stanoveny pomocí měřicích zařízení, která jsou umístěna přímo na povrchu zkušebního zařízení. Na obr. 7-6a jsou vidět průběhy teplot z měřicího zařízení č. 00 v obou modelech. Od začátku do přibližně 100. sekundy je vidět prudký nárůst teploty v obou modelech. U modelu s odrazivou konstrukcí teploty stoupají rychleji. Od 200. sekundy se teplotní průběh modelu s odrazivou konstrukcí ustaluje v rozmezí 200–250 °C, zatímco model bez odrazivé konstrukce se stabilizuje mezi 150–200 °C. Tento rozdíl je viditelný po celou dobu výpočtu. Velmi podobný průběh je možné sledovat na obr. 7-6b, který ukazuje průměrnou hodnotu teploty ze všech měřicích bodů ve svislé linii. Zde však maximální teplota dosahuje cca 175 °C pro model s odrazivou konstrukcí a pro model bez této konstrukce činí cca 125 °C. Rozdíl mezi maximálními teplotami zde činí cca 50 °C.

Měřicí body ve svislé linii při požární zkoušce obvykle sledují horizontální šíření požáru. Z grafů na obr. 7-5 a 7-6 je tedy vidět, že účinek zpětné radiace od odrazivé konstrukce se zde projevuje v šíření ve vodorovném směru. Celkově je z grafu jasně patrné, že přítomnost odrazivé konstrukce vede k vyšším teplotám na povrchu konstrukce během celých 900 s. Průměrný rozdíl teplot mezi oběma modely je přibližně 50 °C, což potvrzuje vliv odrazivé konstrukce na zvyšování teploty.



a) Měřicí zařízení teploty č. 00

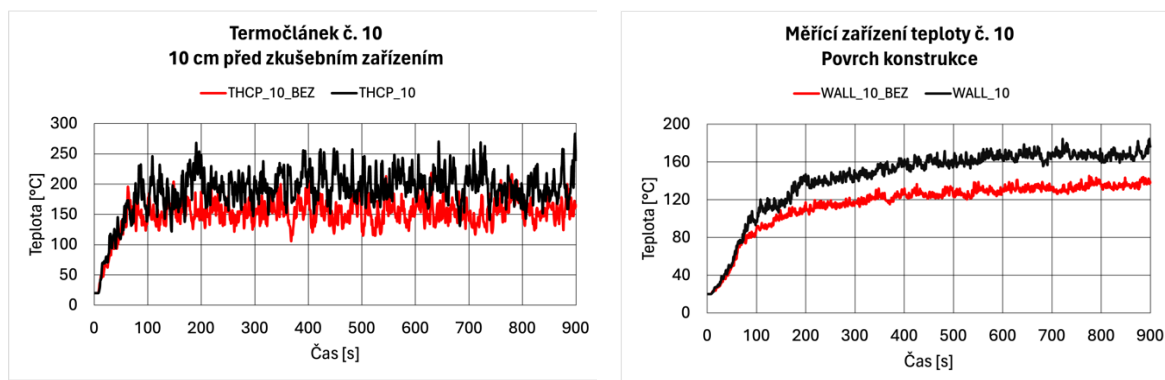
b) Průměr z měřících zařízení teploty č. 00–09

Obrázek 7-6 Průběh teplot – měřicí zařízení teploty ve svislé linii

Termočlánek a měřicí zařízení teploty povrchu v horizontálních liniích

Pro vertikální šíření požáru jsou v požárních zkouškách sledovány teploty v měřících bodech, které jsou umístěny ve vodorovných liniích. Pro porovnání je zvolen měřicí bod č. 10, který se nachází 4,5 m nad otvorem spalovací komory a také měřicí bod č. 17, který se nachází 1000 mm nad horním okrajem spalovací komory. Na obr. 7-7a je vidět, že teploty pro model s odrazivou stěnou několikrát atakují hodnoty přes 250 °C. Model bez odrazivé stěny dosahuje hodnot nižších a s většími výkyvy osciluje mezi 150–200 °C. Tento teplotní rozdíl se u obou teplotních křivek vyskytuje po celou dobu výpočtu. Větší výkyvy hodnot mohou být způsobeny výškovým umístěním daného termočláneku. Zde již dochází ke konvekci horkých plynů a přisávání okolního chladnějšího vzduchu.

Z grafu na obr. 7-7b je však jednoznačně patrné, že teploty pro model s odrazivou stěnou dosahují vyšších hodnot. Rychlý nástup teploty je velmi podobný jako u měřícího bodu č. 00. Průměrný rozdíl se zde pohybuje okolo 30 °C, přičemž teploty dosahují ke 180 °C, resp. ke 140 °C. Zde již nejsou patrné větší teplotní výkyvy a je zde také vidět projevení účinku zpětné radiace, jelikož jediným rozdílem je konstrukce odrazivé stěny. Teplotní rozdělení na povrchu konstrukce je vizuálně zobrazeno na obr. 7-10 níže.



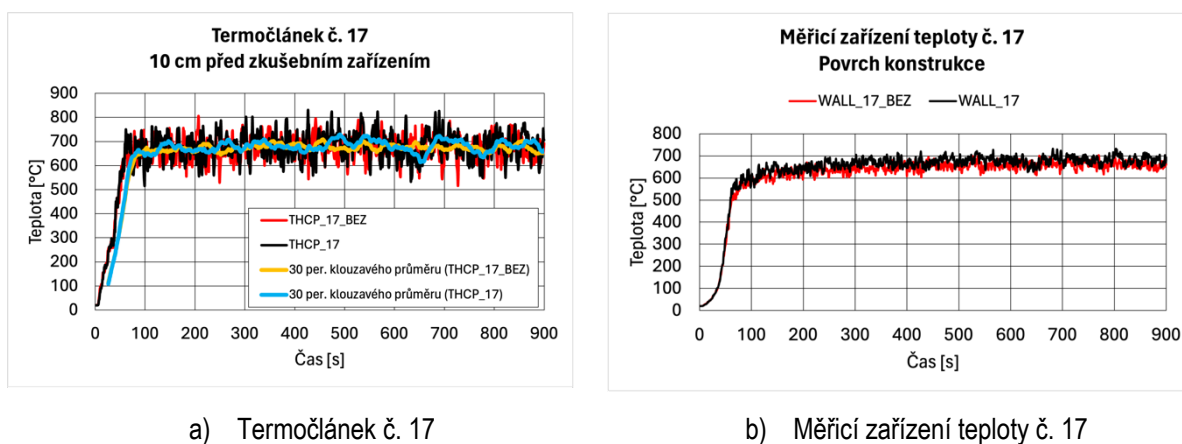
a) Termočlánek č. 10

b) Měřicí zařízení teploty č. 10

Obrázek 7-7 Průběh teplot ve výšce 4500 mm nad horním okrajem spalovací komory

Termočlánek č. 17 je umístěn v jednom z nejvíce zatížených míst účinky požáru. Teploty se zde od cca 60. sekundy průměrně pohybují okolo 650–700 °C. Pro oba modely vykazují průběhy teplot

velmi podobné hodnoty. I při snaze snížit výkyvy (fluktuační) pomocí klouzavých průměrů (modře a žlutě) je vidět, že teplotní rozdíly jsou minimální a nedá se říct, že by zde účinek zpětné radiace od odrazivých povrchů výrazně ovlivnil výsledné hodnoty. Na obr. 7-8b je zobrazen průběh teploty z měřicího zařízení teploty povrchu konstrukce č. 17. Model s odrazivými povrchy zde vykazuje mírně vyšší hodnoty, které se blíží k hranici 700 °C. Průměrný rozdíl činí mezi modely bez a s odrazivým povrchem 20 °C. Z obou grafů na obr. 7-8 je zřetelné, že průběhy jsou skoro stejné a lze zde spatřit pouze mírné teplotní rozdíly. Teplotní rozdělení na povrchu konstrukce i v části nad otvorem spalovací komory je zobrazeno na obr. 7-10.



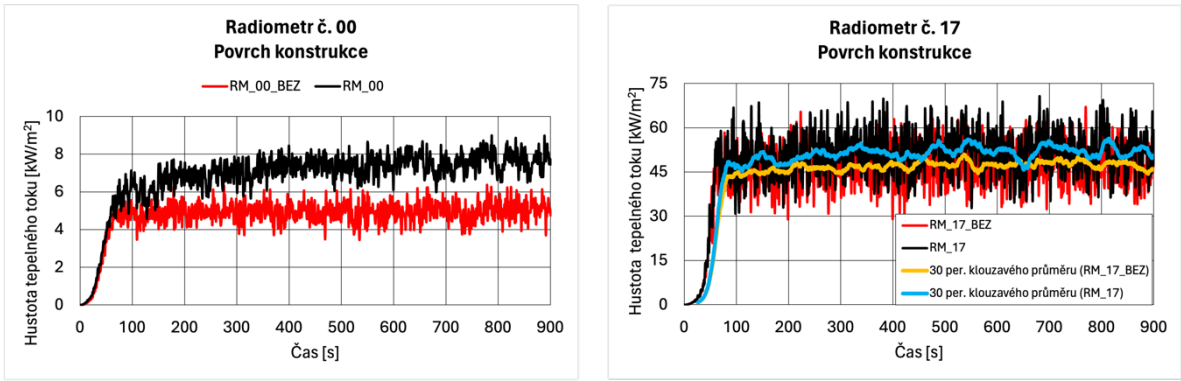
a) Termočlánek č. 17
b) Měřicí zařízení teploty č. 17

Obrázek 7-8 Průběh teplot ve výšce 500 nad horním okrajem spalovací komory

Radiometry – hustota tepelného toku

Pro posouzení účinku zpětné radiace jsou výsledné hodnoty interpretovány také pomocí výstupních hodnot z radiometrů (RM). Vybrán je radiometr č. 00 umístěný ve svislé linii 500 mm od boční hrany spalovací komory a také radiometr č. 17, jenž se nachází 1000 mm nad horním okrajem spalovací komory. Na obr. 7-9 je vidět průběh hustoty sálavého tepelného toku pro radiometr č. 00. Z grafu je patrné, že rozdíl v hustotě tepelného toku činí mezi oběma modely cca 2–3 kW·m⁻². Vyšších hodnot okolo 7–8 kW·m⁻² dosahuje model s odrazivými povrchy. Tento průběh také potvrzuje větší účinek vodorovného šíření požáru v modelu s odrazivými konstrukcemi, což vede i k vyšším teplotám viz obr. 7-6.

Průběh hustoty tepelného toku pro radiometr č. 17 je zobrazen na obr. 7-9. Jedná se o měřicí bod, který se nachází přímo nad zdrojem hoření. Z tohoto grafu je vidět, že průběh hustoty tepelného toku je velmi podobný v obou modelech. Hodnoty se u obou modelů pohybují mezi 30–70 kW·m⁻², přičemž jsou zde viditelné větší výkyvy. Výkyvy mohou být způsobeny tím, že radiometr je umístěn v oblasti plamenného hoření, kde stoupá horký vzduch vzhůru a mísí se s okolním vzduchem. Pro poskytnutí lepšího přehledu o celkovém trendu vývoje hustoty tepelného toku jsou v grafu doplněny klouzavé průměry, které pomáhají vyhladit výkyvy. Z těchto průběhů je vidět rozdíl, kdy hustota tepelného toku se u modelu s odrazivou stěnou (modře) pohybuje kolem 45–55 kW·m⁻², přičemž model bez odrazivé stěny (žlutě) vykazuje hodnoty průměrně nižší o cca 4–5 kW·m⁻². Na obou grafech (obr. 7-9) je tedy vidět, že účinek zpětné radiace od odrazivé stěny se projevuje ve výsledných hodnotách.



c) Radiometr č. 00

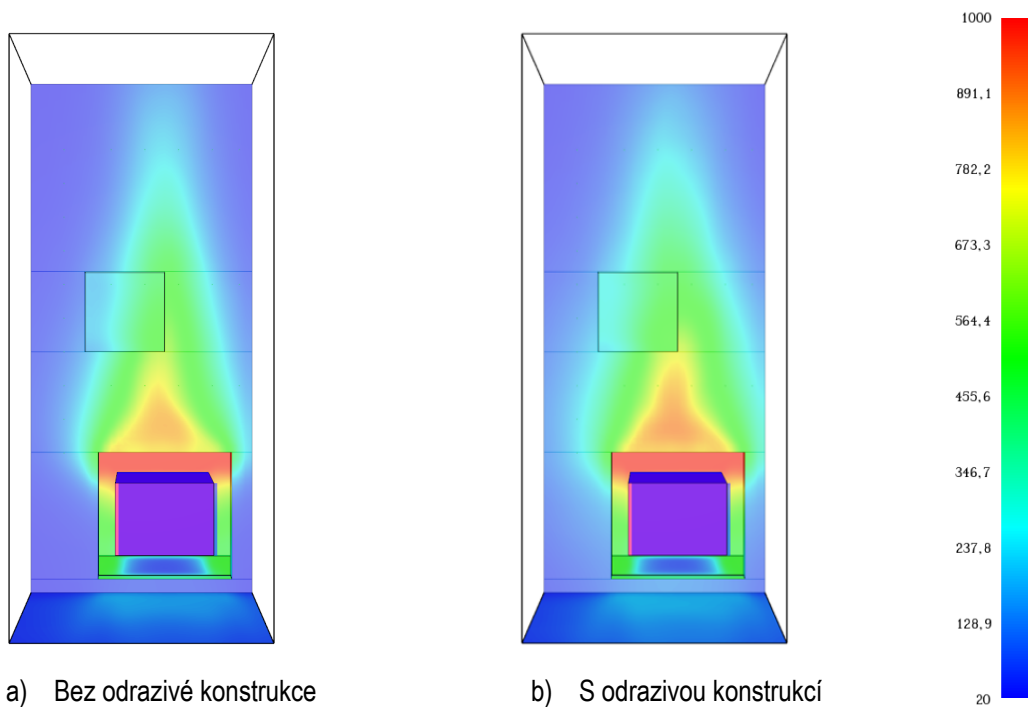
d) Radiometr č. 17

Obrázek 7-9 Průběh hustoty tepelného toku

Vizuální zobrazení výsledků

Z obrázků níže je možno vidět teplotní rozložení po povrchu konstrukce. Vizuální výstupy jsou sledovány v čase 900 s. V ostatních časech jsou výstupy zobrazeny ve vizuální příloze k této diplomové práci.

Obr. 7-10 zobrazuje teploty na povrchu konstrukce pro oba modely v čase 900 s, tedy na konci výpočtu. Je vidět, že teplotní rozložení je pro oba modely podobné, nicméně účinek zpětné radiace je zde viditelný zejména v nejteplejší oranžovo-červené oblasti nad spalovací komorou. Vlivem odrazivé stěny se teplo odráží zpět do prostoru kolem zdroje ohně, což vede k širší a rovnoměrnější teplé oblasti v dolní části. U modelu bez odrazivé stěny se teplo rychleji rozptýluje do okolních stran, což má za následek rychlejší pokles teploty se stoupající výškou. Vyšší teploty jsou viditelné pro model s odrazivou stěnou i v horní části konstrukce, což je způsobeno tím, že více tepla se kumuluje v horní části díky odrazivé konstrukci.



a) Bez odrazivé konstrukce

b) S odrazivou konstrukcí

Obrázek 7-10 Teplotní rozdělení na povrchu konstrukce v čase 900 s

Závěr k výsledkům a návaznost na další CFD modely

Cílem CFD modelů velkorozměrové zkoušky pro fasády s a bez odrazivého povrchu bylo prokázání účinku zpětné radiace od odrazivé stěny. Výsledky jsou interpretovány zejména pomocí výše zmíněných grafů a vizuálních výstupů. Z těchto výstupů je vidět, že účinek odrazivého tepelného toku se zde projevil.

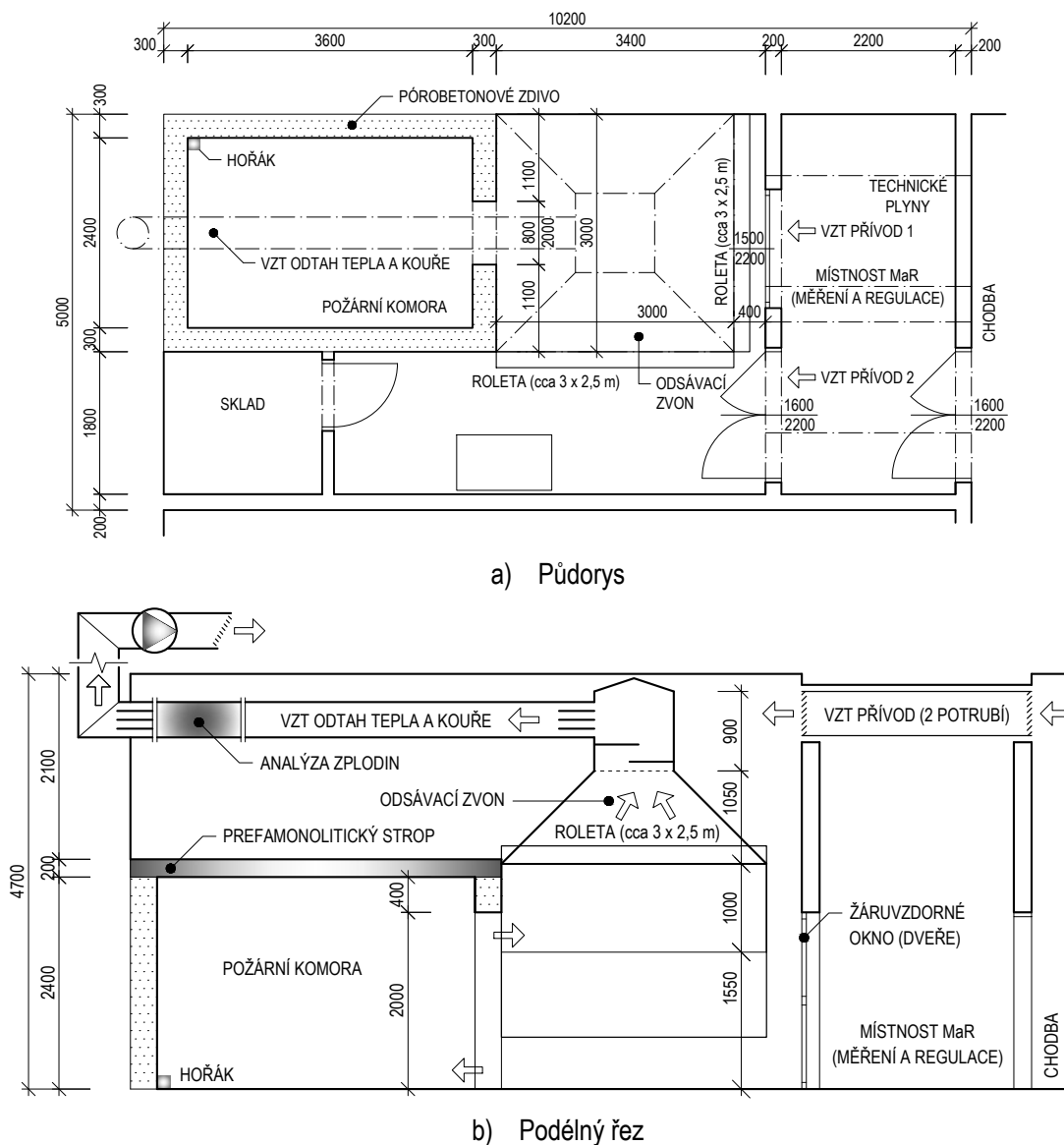
Nicméně je nutné zmínit, že se jedná o zjednodušený model velkorozměrové požární zkoušky s odrazivou konstrukcí vzdálenou 2 m. V modelu se uvažovalo pouze se samotným zkušebním zařízením (inertní fasáda) a nebyla zde modelována fasáda ať už hořlavá či nikoliv. Pro budoucí další modely by bylo vhodné provést výpočet s hořlavou fasádou, jelikož teploty na vypočteném modelu přesahovaly hodnotu 500 °C, což je už teplota dostatečně vysoká pro vznícení různých hořlavých materiálů. Vhodnou konstrukcí by byla např. dřevěná fasáda.

Model velkorozměrové požární zkoušky je však rozměrově značně velký. V aktuálním modelu je pro prostor před zkušebním zařízením zvolen rozměr jedné výpočetní buňky o šířce 0,1 m. Pro modelování dřevěné fasády by bylo nutné pro získání spolehlivých výsledků volit rozměr výpočetní buňky ještě menší, což ovšem znamená časově extrémně náročný výpočet.

V průběhu zpracování závěrečné práce bylo rozhodnuto, že se pro další zkoumání účinku zpětné radiace od okolních konstrukcí, zvolí model středněrozměrové zkoušky dle ČSN ISO 13785-1. Toto rozhodnutí bylo učiněno také s ohledem na budoucí plánované středněrozměrové zkoušky v rámci rozborového úkolu pro skládané fasádní systémy, který je v současné době na ČVUT v Praze ve fázi přípravy. Velkorozměrové zkoušky jsou finančně a časově mnohem náročnější na přípravu a realizaci, proto se přistoupilo k provedení vybraných středněrozměrových zkoušek.

7.3 CFD model středněrozměrové zkoušky

V budoucnu jsou plánovány středněrozměrové zkoušky skládaných fasád jako důležitá součást tzv. přednormativního výzkumu s předpokladem částečné realizace těchto zkoušek v požární laboratoři na UCEEB ČVUT. Tato požární zkušebna disponuje zkušebním zařízením „room-corner-test“ [53] o rozměrech zkušební místnosti 3,6 m × 2,4 m × 2,4 m (d × š × v) a také odsávacím zvonem a potrubím (obr. 7-11). V požární zkušebně se také nachází sklad, místnost pro měření a regulaci a také prostor před odsávacím zvonem, který slouží jako pracovní plocha. Na obr. XX lze vidět konstrukci požární rolety, kterou lze při požárních zkouškách využít. V následujících modelech se s požární roletou neuvažuje. Prostor pod odsávacím zvonem (3 m × 3 m) umožňuje svými rozměry uskutečnění středněrozměrové požární zkoušky dle ČSN ISO 13785-1.



Obrázek 7-11 Požární laboratoř na UCEEB ČVUT (zdroj: ČVUT)

Hlavní princip zkoumání účinku zpětné radiace je tedy stejný jako u velkorozměrového modelu. V programu FDS je vytvořen model v prostoru pod odsávacím zvonem, do kterého je namodelována geometrie zkušební sestavy v souladu s ČSN ISO 13785-1. Následnou analýzou se zjišťuje, zda konstrukce odsávacího zvonu či okolní konstrukce v požární laboratoři ovlivňují

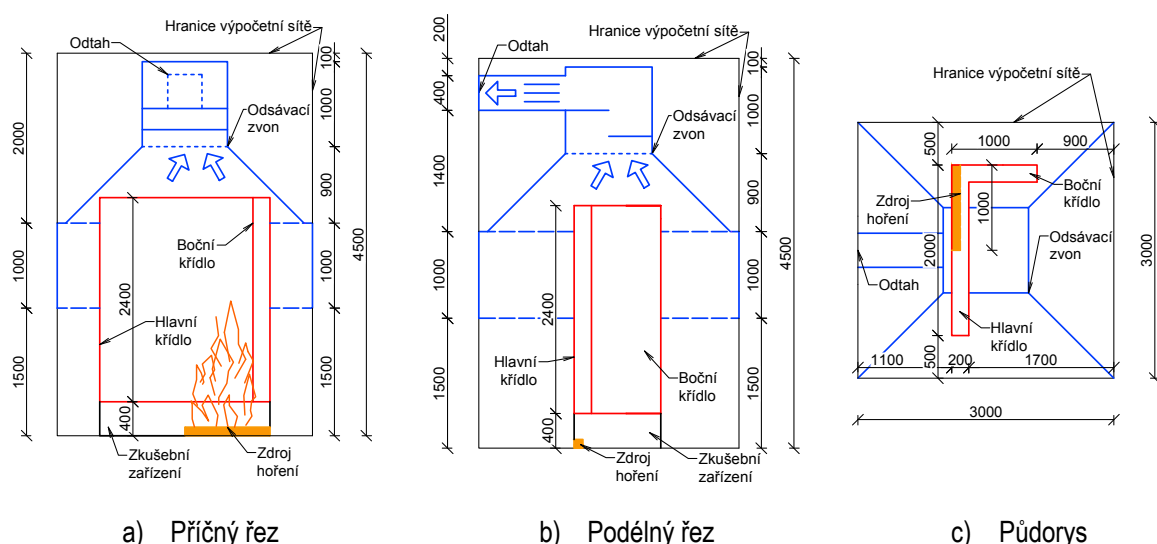
zpětnou radiací posuzovaný vzorek. Pro porovnání bude vytvořen identický model zkušební sestavy, kde ovšem nebude žádná konstrukce odsávacího zvonu ani okolních konstrukcí. Z výsledných hodnot se porovná, zda se projevil účinek zpětné radiace.

7.3.1 Základní geometrie modelu

Pro vytvoření modelu byl převzat interní zdrojový kód požární laboratoře v programu FDS. Geometrie odsávacího zvonu je zachována. V ostatních parametrech je však model upraven a nastaven pro model modifikované středněrozměrové zkoušky.

Prostor pod odsávacím zvonem má půdorysné rozměry 3000 mm × 3000 mm. Výška činí 4500 mm od podlahy ke stropu. Rozměry zkušební sestavy vycházejí z ČSN ISO 13785-1 (kapitola 2.2), kdy jsou upraveny délky hlavních a bočních křídel pro sledování vodorovného šíření požáru a také je upraven zdroj hoření viz níže. K úpravě došlo zejména z toho důvodu, že zkouška dle platné ČSN ISO 13785-1 bývá často považována za zkoušku bez vypovídajícího charakteru (velikost vzorku, tepelné namáhání) s ohledem na rizika reálného požáru. Zkoušení jenom podle velkorozměrové požární zkoušky by však bylo finančně velice náročné. Z těchto důvodů se přistoupilo k modifikaci středněrozměrové zkoušky dle ČSN ISO 13785-1. Modifikovaný model středněrozměrové zkoušky je zobrazen na obr. 7-12.

Délka hlavního křídla je prodloužena na 2000 mm (původně 1200 mm) a délka bočního křídla na 1000 mm (původně 600 mm). Zkušební vzorek dosahuje výšky 2400 mm, kdy je umístěn 400 mm nad podlahou. Jako zkušební vzorek je zde modelována nehořlavá minerální vata. Vzhledem k rozšíření zkušebního vzorku, bylo nutné zkalibrovat vhodné umístění přímo pod odsávacím zvonem. Po návštěvě zkušební laboratoře a následném přeměřování bylo vybráno nejvhodnější místo na umístění zkušební sestavy pod odsávací zvon.



Obrázek 7-12 Základní geometrie modifikované středněrozměrové zkoušky

7.3.2 Výpočetní síť

V obou modelech je pro výpočet vytvořena jedna výpočetní síť o rozměrech 3000 mm × 3000 mm × 4500 mm (d × š × v). Výpočetní buňky jsou ve tvaru krychle o velikosti 0,1 m × 0,1 m × 0,1 m (dále jako hrubší síť). Celkem se zde tedy ve výpočetní síti nachází 40 500 výpočetních buněk. Pro jednoduchou citlivostní analýzu jsou také vytvořeny identické modely s výpočetní buňkou o

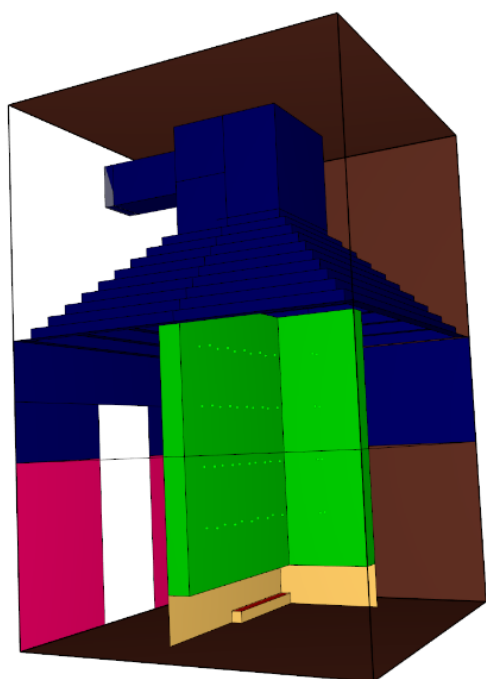
rozměrech 0,05 m × 0,05 m × 0,05 m (dále jako jemnější síť), kde finální počet buněk ve výpočetní síti činí 324 000.

Hranice výpočetní sítě – model pod odsávacím zvonem

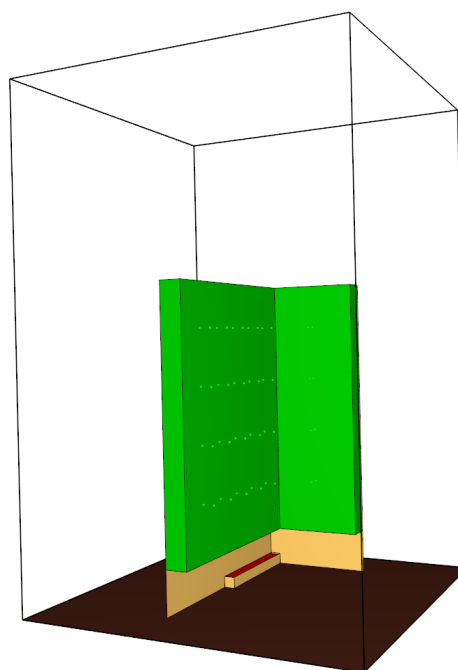
Pro spodní hranici (podlaha), horní hranici (strop) a zadní hranici (stěna) jsou nastaveny charakteristiky betonu. Po celém obvodu ve výšce od 1500 mm do 2500 mm nad podlahou je nadefinován nerezový plech (svislá zástěna). Stěna oddělující prostor pod odsávacím zvonem a požární komorou je namodelována jako pórobetonová. V této stěně je také zachován dveřní otvor (800 mm × 2000 mm), který je nastaven jako otevřený. Hranice výpočetní sítě naproti hlavnímu křídlu a také naproti bočnímu křídlu, jež se nachází pod odsávacím zvonem, jsou nastaveny jako otevřené. Model pod odsávacím zvonem je zobrazen na obr. 7-13a.

Hranice výpočetní sítě – model bez okolních konstrukcí

V modelu bez okolních konstrukcí (obr. 7-13b) je pro podlahu také přiřazena charakteristika betonu. Všechny ostatní hranice výpočetní sítě jsou nastaveny jako otevřené.



a) Model pod odsávacím zvonem



b) Model bez okolních konstrukcí

Obrázek 7-13 Vizualizace obou modelů modifikované středněrozměrové zkoušky

7.3.3 Materiálové charakteristiky

V obou modelech jsou nastaveny stejné materiálové charakteristiky pro zkušební sestavu. Zkušební vzorek je namodelován z minerální vaty a konstrukce zkušebního zařízení je nastavena jako protipožární deska Fermacell Aestuver (stejně jako u CFD modelu velkorozměrové požární zkoušky). Odsávací zvon má přiřazeny tepelné vlastnosti nerezového plechu. Materiálové charakteristiky jsou převzaty z technických listů nebo z knihovny programu FDS. V tab. 7-2 níže jsou uvedeny všechny použité materiálové charakteristiky v obou modelech.

Tabulka 7-2 Materiálové charakteristiky středněrozměrové zkoušky [51] [52] [54] [48]

Materiál	Tloušťka d [mm]	Měrná tepelná kapacita c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Tepelná vodivost λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Objemová hmotnost ρ [kg·m ⁻³]	Emisivita ε [-]
Tvárnice Ytong	200	1 000	0,12	500	0,9
Protipožární desky Feramacell Aestuver	30	900	0,21	680	0,8
Beton	200	1040	1,80	2280	0,9
Minerální vata	200	800	0,035	80	0,9
Nerezový plech	2	460	15	7850	0,95

7.3.4 Doplnující vstupní údaje

Zdroj požáru

Jako zdroj požáru je použit plynový propanový hořák. Oproti ČSN ISO 13785-1 je tento zdroj modifikován. Jeho celkový výkon je zvýšen na 300 kW (původně 100 kW). Hořák je umístěn pod hlavním křídlem na podlaze v přímém dotyku s konstrukcí zkušebního tělesa. Pro sledování horizontálního šíření požáru je šířka hořáku zkrácena a zasahuje pouze do poloviny délky hlavního křídla. Rozměry hořáku činí 1000 mm × 100 mm × 100 mm (d × š × v), přičemž výška je zkalibrována s použitou výpočetní sítí.

Odtahový ventilátor

V modelu s odsávacím zvonem jsou nastaveny podmínky pro odtahový ventilátor. Okrajová podmínka výpočtu je zadána pomocí příkazu SURF. V místě odtahového ventilátoru je nastaven na tuto plochu objemový průtok 3,5 m³·s⁻¹ (max. hodnota pro laboratorní ventilátor).

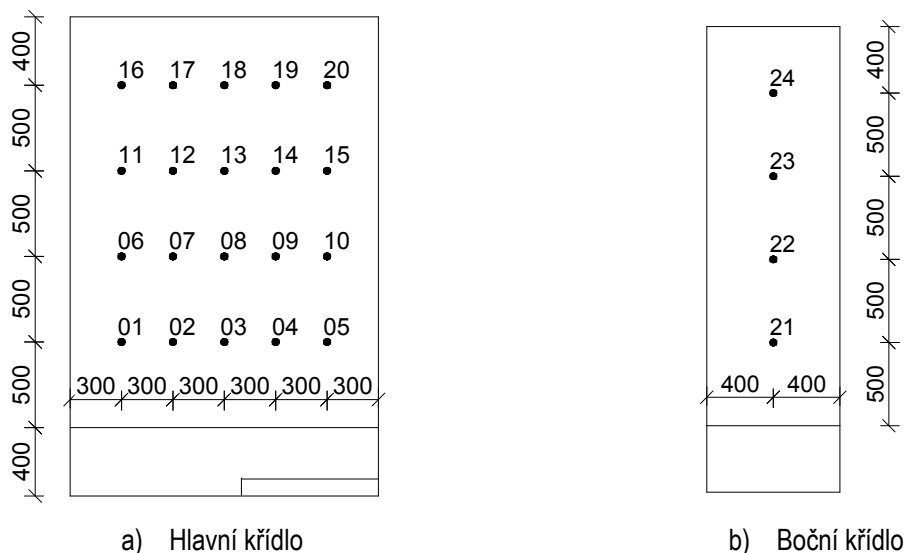
Výpočetní čas

Celkový čas výpočtu je nastaven v souladu s ČSN ISO 13785-1 na 1800 s. Oproti velkorozměrové požární zkoušce se tedy jedná o prodloužení o dalších 900 s.

7.3.5 Měřicí zařízení

Nastavení měřicích bodů je identické jako u modelu velkorozměrové požární zkoušky. Rozdílné je umístění jednotlivých termočlánků a měřicích zařízení. Počet termočlánků je oproti ČSN ISO 13785-1 výrazně rozšířen (obr. 7-14). Na hlavním křídle je umístěno celkem 20 termočlánků, které jsou rozmístěny ve 4 řadách. Každá řada je od sebe vzdálena 500 mm výškově a každý termočlánek je v jedné řadě oddělený 300 mm mezerou. Na bočním křídle se nachází celkem 4 termočlánky, které jsou výškově vzdálené 500 mm a jsou umístěny přímo ve svislé prostřední linii tohoto bočního křídla.

Termočlánky jsou umístěny 10 cm před fasádou dle hrubosti výpočetní sítě. Do modelu je také umístěn totožný počet měřicích zařízení teploty na povrchu konstrukce a taky stejný počet radiometrů, např. č. 04 na obr. 7-14 značí umístění jak termočlánku a radiometru 10 cm před fasádou, tak i měřicího zařízení teploty na povrchu konstrukce. Pro grafické zobrazení výsledků jsou v programu FDS nastaveny plošné parametry, jako např. teplotní rozložení na povrchu, 2D teplotní řezy nebo plošné zobrazení radiační složky tepelného toku.



Obrázek 7-14 Poloha termočlánků

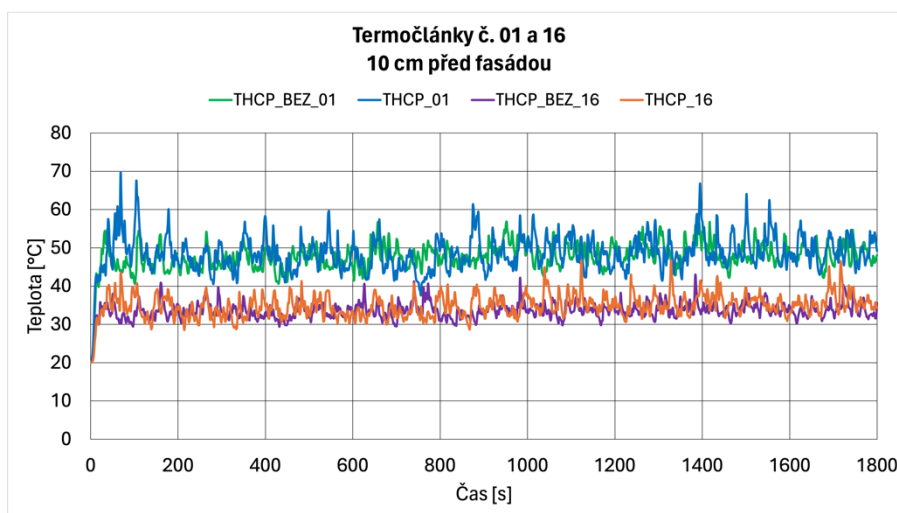
7.3.6 Diskuze získaných výsledků

Cílem numerických výpočtů je porovnat výsledky a posoudit účinek zpětné radiace od okolních odrazivých povrchů. Stěžejním posuzovaným parametrem je teplota. Stejně jako u CFD modelu velkorozměrové zkoušky jsou v grafických výstupech měřicí zařízení umístěná na konstrukci označena jako „WALL“. Model bez odrazivých povrchů je doplněn popisem „BEZ“. Do některých níže zobrazených grafů je přidán prvek klouzavého průměru s periodou 20, jehož cílem je snížit výkyvy (fluktuační) průběhu teplot a zobrazit jasnější predikci trendu.

Hlavní křídlo – hrubší výpočetní síť (0,1 m × 0,1 m × 0,1 m)

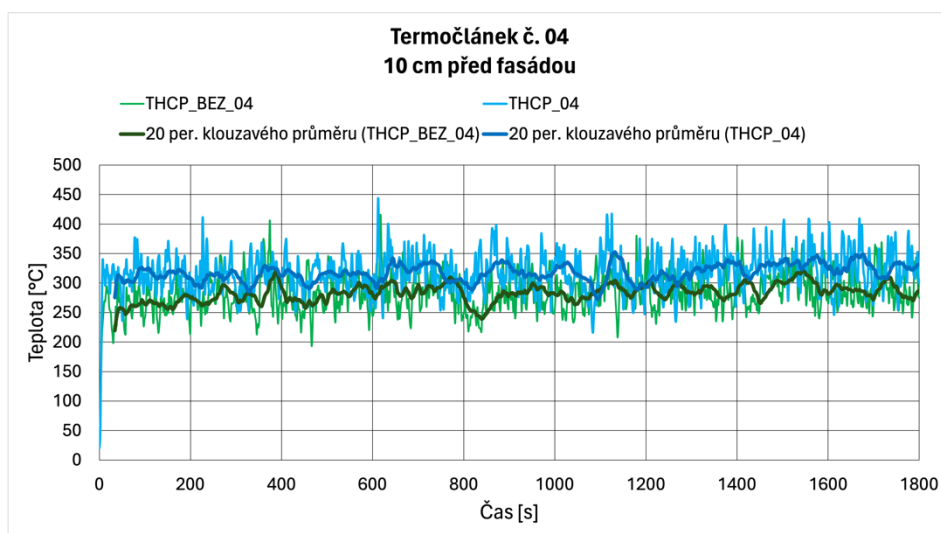
Pro porovnání výsledků a sledování účinku vertikálního šíření požáru jsou vybrány termočlánky (č. 04 a 19) umístěné v první vodorovné linii 500 mm nad spodním okrajem fasády. Pro vodorovné šíření požáru jsou výsledky zobrazeny pomocí termočlánků (č. 01 a 16), které se nachází v nejvyšší vodorovné linii (2000 mm nad spodním okrajem fasády). Dále jsou porovnávány i průměrné hodnoty ze tří středních měřicích bodů v obou řadách.

Výsledky z termočlánků č. 01 a č. 16 jsou viditelné na obr. 7-15. Z průběhů je zřejmé, že zde nejsou vidět žádné větší teplotní rozdíly. Termočlánky umístěné v první vodorovné linii (modře a zeleně) dosahují teplot kolem 50–60 °C. Teploty z termočlánků č. 16 (oranžově a fialově) se pohybují v hodnotách mezi 30–40 °C. Pro model s odrazivými povrchy však platí, že má větší tendenci vykazovat mírně vyšší teploty s většími výkyvy. Nejedná se ovšem o velké teplotní rozdíly ani u jednoho z těchto termočlánků.



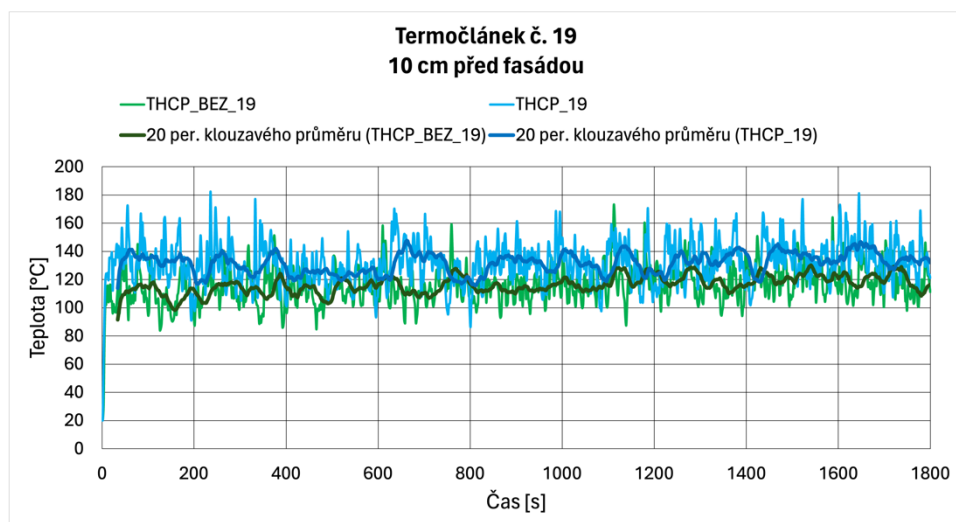
Obrázek 7-15 Průběh teploty – termočlánek č. 01 a č. 16

Na obr. 7-16 je zobrazen průběh teploty v termočláunku č. 04. Tento termočlánek je umístěn nad plynovým hořákem. Model s odrazivými povrchy (modře) vykazuje vyšší průměrné teploty než model bez odrazivých povrchů (zeleně). V grafu je také zobrazen klouzavý průměr obou křivek, který svým průběhem rovněž dokazuje větší teploty z modelu pod odsávacím zvonem. U modelu s odrazivými konstrukcemi teploty kolísají v rozmezí 250–400 °C, přičemž se průměrně pohybují okolo 320 °C. Model bez odrazivých povrchů vykazuje maxima kolem 350 °C s průměrnou hodnotou kolem 270 °C. Průměrný rozdíl tedy činí cca 50 °C.



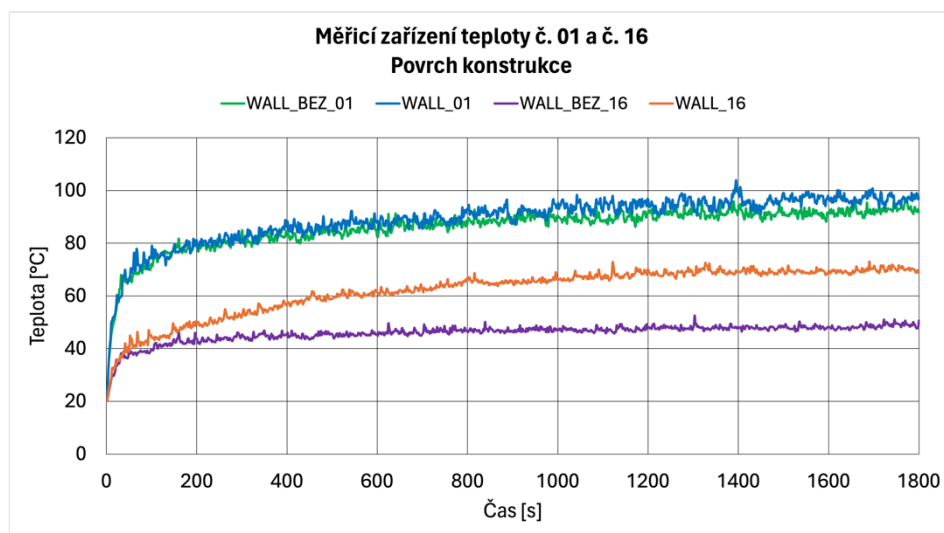
Obrázek 7-16 Průběh teploty – termočlánek č. 04

Velmi podobný průběh jako u termočlánků č. 04 je možné sledovat na výsledcích z termočlánků č. 19 (obr. 7-17). I zde je vidět jasný trend, kdy teploty u modelu s odrazivými povrchy vykazují vyšší teploty. U modelu bez odrazivých povrchů se teploty pohybují mezi cca 100–130 °C s občasnými vrcholy přes 150 °C. V modelu pod odtahovým zvonem jsou teploty vyšší a kolísají mezi 100–180 °C. Z křivek klouzavých průměrů je vidět, že teplotní rozdíl se pohybuje kolem cca 15–30 °C. Teplotní rozdíl s mírnými výkyvy je možný vidět po celých 1800 s. Z obr. 7-16 a 7-17 je však zřejmé, že účinek zpětné radiace od okolních odrazivých povrchů odsávacího zvonu způsobuje vyšší teploty v modelu s odrazivými povrchy.



Obrázek 7-17 Průběh teploty – termočlánek č. 19

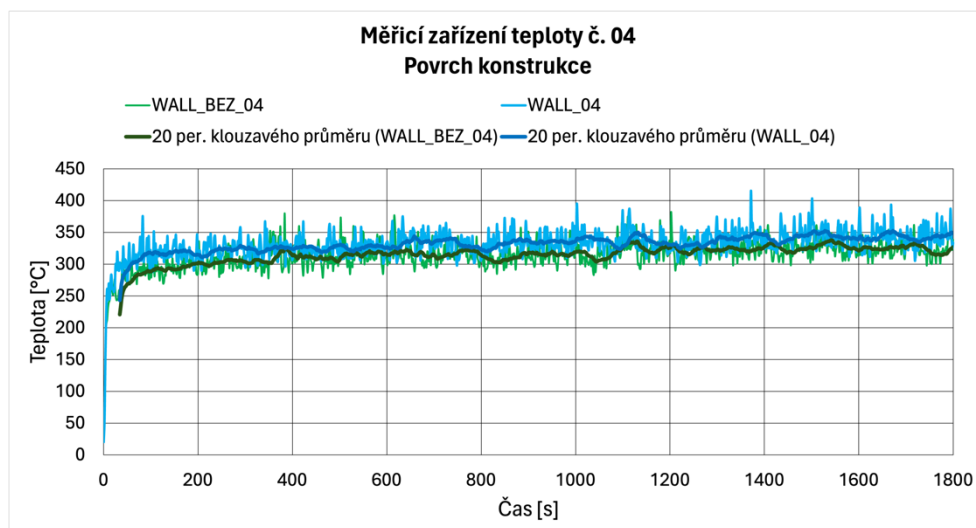
Průběh teplot na povrchu konstrukce je zobrazen na následujících grafech. Na obr. 7-18 je vidět průběh teplot z měřicích zařízení umístěných na kraji hlavního křídla ve dvou výškách (500 mm, resp. 2000 mm nad spodním okrajem fasády). Tyto měřicí zařízení obvykle sledují vodorovné šíření požáru. Na grafech jsou vidět rozdíly, které jsou způsobeny zpětnou radiací. Při porovnávání měřicího bodu č. 16 je vidět větší rozdíl ve vývoji teplot, kdy model s odrazivými povrchy (oranžově) vykazuje teploty vyšší o cca 20–25 °C. Rozdíl je patrný již od začátku výpočtu. Tento rozdíl je pravděpodobně způsoben odrazivými povrchy odsávacího zvonu. Měřicí bod č. 01 vykazuje za celou dobu pouze drobné rozdíly v teplotách. Model s odrazivými povrchy (modře) však od cca 800. sekundy dosahuje lehce vyšších hodnot s maximy okolo 100 °C. Zatímco termočlánek č. 01 pro model bez odrazivých povrchů (zeleně) vykazuje teploty od 800. sekundy okolo 90 °C.



Obrázek 7-18 Teplota povrchu konstrukce – měřicí bod č. 01 a č. 16

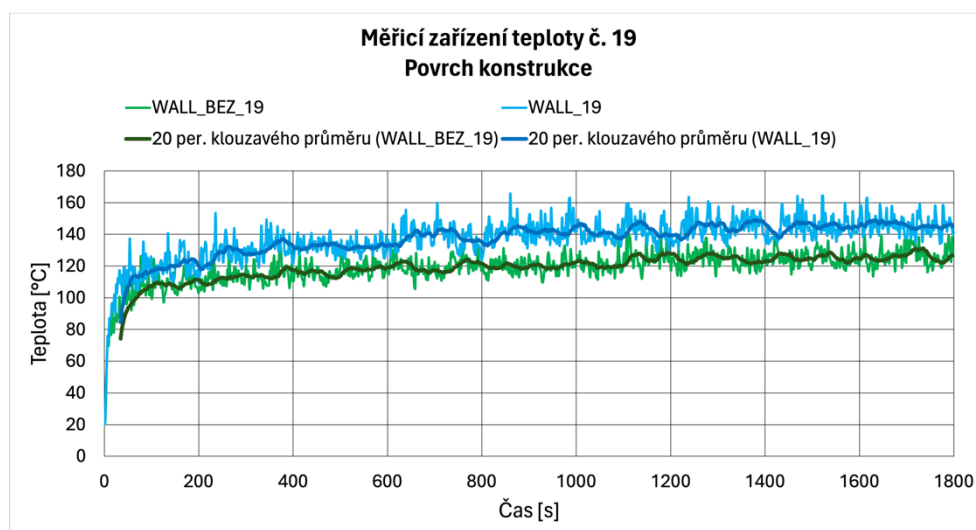
Měřicí zařízení teploty č. 04 (obr. 7-19) je umístěno v jednom z nejvíce zahříváných míst. Teploty povrchu se zde pohybují okolo 300–350 °C. Klouzavý průměr pro model bez odrazivých konstrukcí (tmavě zeleně) vykazuje průměrnou teplotu kolem 320 °C. Křivka klouzavého

průměru u modelu s odsávacím zvonem (tmavě modře) dosahuje hodnot kolem 340 °C. I na těchto průbězích je tedy zřejmé projevení účinku zpětné radiace.



Obrázek 7-19 Teplota povrchu konstrukce – měřicí bod č. 04

Měřicí bod č. 19 umístěný na povrchu konstrukce sleduje vertikální šíření požáru. Na průběhu obou křivek (obr. 7-20) je na první pohled jasné, že teploty v modelu s odrazivými povrchy (modře) vykazují teploty vyšší. Rozdíl, jenž je sledovatelný od zhruba 200. sekundy, činí cca 20–25 °C. Maximální hodnoty se pohybují u modelu bez odrazivých stěn okolo 120–130 °C. Výsledky z modelu s odrazivým povrchem dosahují teplot cca 140–150 °C. Stejně jako u měřicího bodu č. 04, tak i u měřicího zařízení č. 19 je možné sledovat trend v teplotních rozdílech. Který je způsobený zpětnou radiací od okolních povrchů.

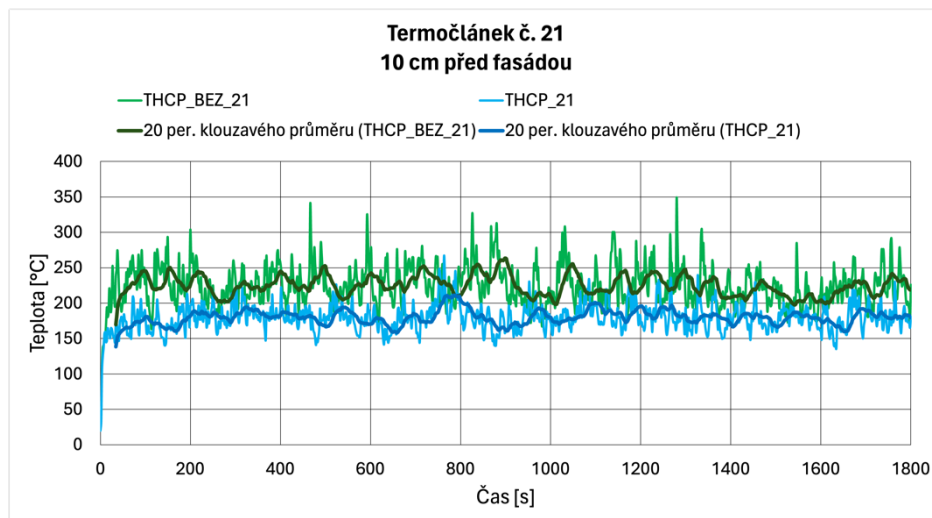


Obrázek 7-20 Teplota povrchu konstrukce – měřicí bod č. 19

Boční křídlo – hrubší výpočetní síť (0,1 m × 0,1 m × 0,1 m)

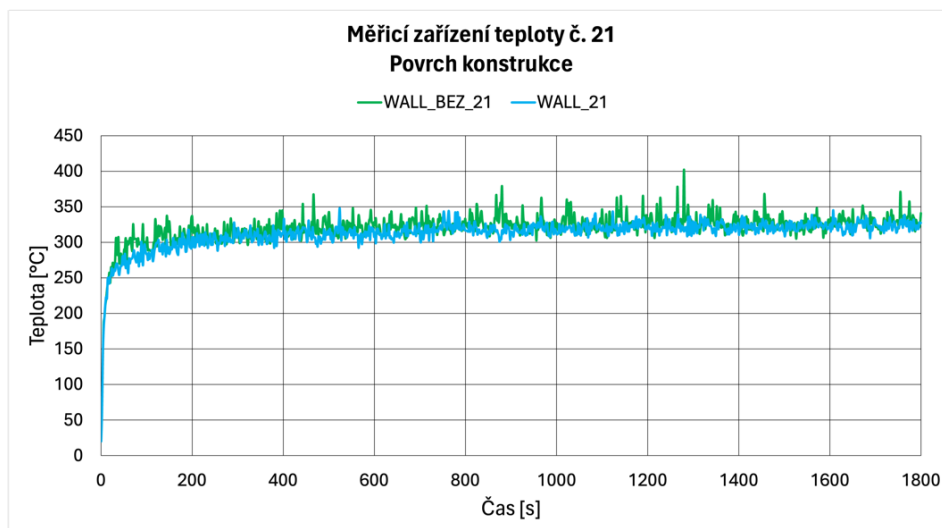
Pro porovnání výsledků z bočního křídla je zvolen termočlánek č. 21 (obr. 7-21). Jedná se o termočlánek umístěný 500 mm nad spodním okrajem zkušební vzorku. Z těchto průběhů je patrné, že termočláanky v modelu bez odrazivé konstrukce vykazují vyšší hodnoty teploty než u modelu s odrazivými povrchy. Tento průběh teplot je poněkud překvapivý vzhledem k ostatním

průběhům výše. V modelu bez odrazivých stěn může docházet k rovnoměrnějšímu rozptýlení tepla v prostoru, jelikož zde není namodelovaný nucený odtah přímo nad zkušebním vzorkem. U modelu bez odrazivých stěn (zeleně) se teploty pohybují mezi 200–250 °C s občasnými výkyvy nad 300 °C. Zatímco model s odrazivými povrchy (modře) vykazuje teploty nižší okolo 150–200 °C.



Obrázek 7-21 Průběh teploty – termočlánek č. 21

Z měřicího zařízení teploty na povrchu konstrukce (č. 21) lze vyčíst, že průběhy teplot pro oba modely jsou velmi podobné (obr. 7-22). Není zde viditelný teplotní rozdíl jako u termočlátku č. 21, který je umístěn 10 cm před povrchem fasády. Teploty se od cca 100. sekundy ustalují na hodnotě mezi 300–350 °C. Model bez odrazivých povrchů (zeleně) vykazuje teploty mírně vyšší s menšími výkyvy v maximech dosahujících přes 370 °C.

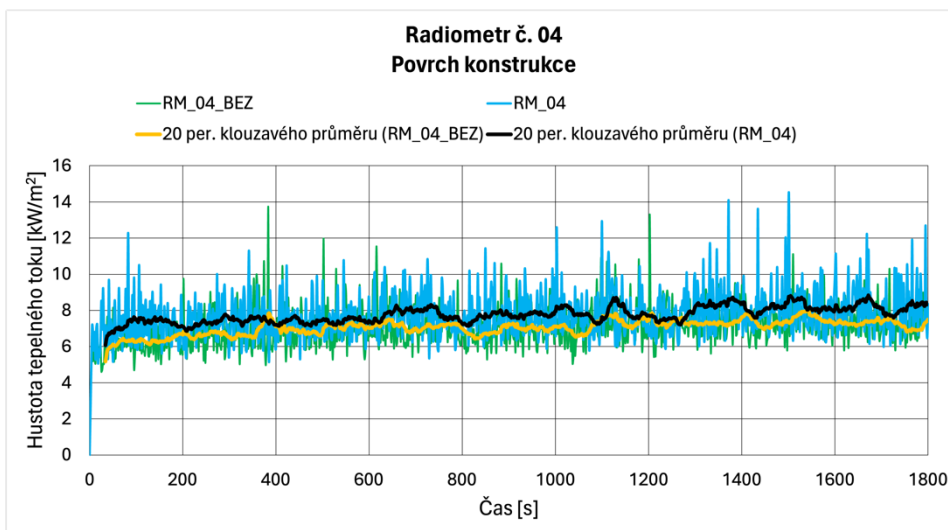


Obrázek 7-22 Teplota povrchu konstrukce – měřicí bod č. 21

Hustota tepelného toku – hrubší výpočetní síť (0,1 m × 0,1 m × 0,1 m)

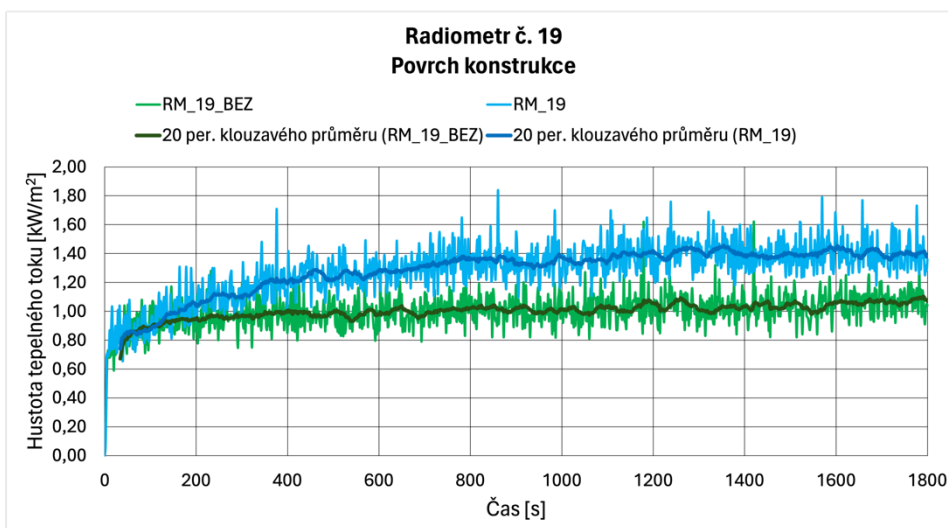
Hustota tepelného toku je měřena pomocí radiometrů (RM), které jsou umístěny na povrchu konstrukce ve stejných místech jako měřicí zařízení teploty. Výsledná data jsou porovnávána na radiometrech č. 04 a č. 19. Na obr. 7-23 je vyobrazen průběh hustoty tepelného toku pro níže výškově umístěný radiometr č. 04. Z grafu lze vyčíst, že průběh je u obou modelů téměř identický.

Hodnoty se pohybují během celých 1800 sekund mezi 6–10 $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Pro zobrazení trendu a odstranění fluktuací jsou v modelu doplněny klouzavé průměry obou křivek. Klouzavý průměr pro model s odrazivými povrchy (černě) dosahuje hodnot o cca 0,5–1 $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$ vyšších než model bez konstrukce odsávacího zvonu (žlutě). U obou modelů jsou viditelné poměrně větší výkyvy, které mohou být způsobeny umístěním radiometru přímo nad plynovým hořákem, tedy v místě, kde jsou účinky plamenného hoření nejsilnější a kde dochází ke stoupání horkého vzduchu vzhůru. Roli také může hrát účinek odtahového ventilátoru v modelu s odrazivými povrchy.



Obrázek 7-23 Průběh hustoty tepelného toku – radiometr č. 04

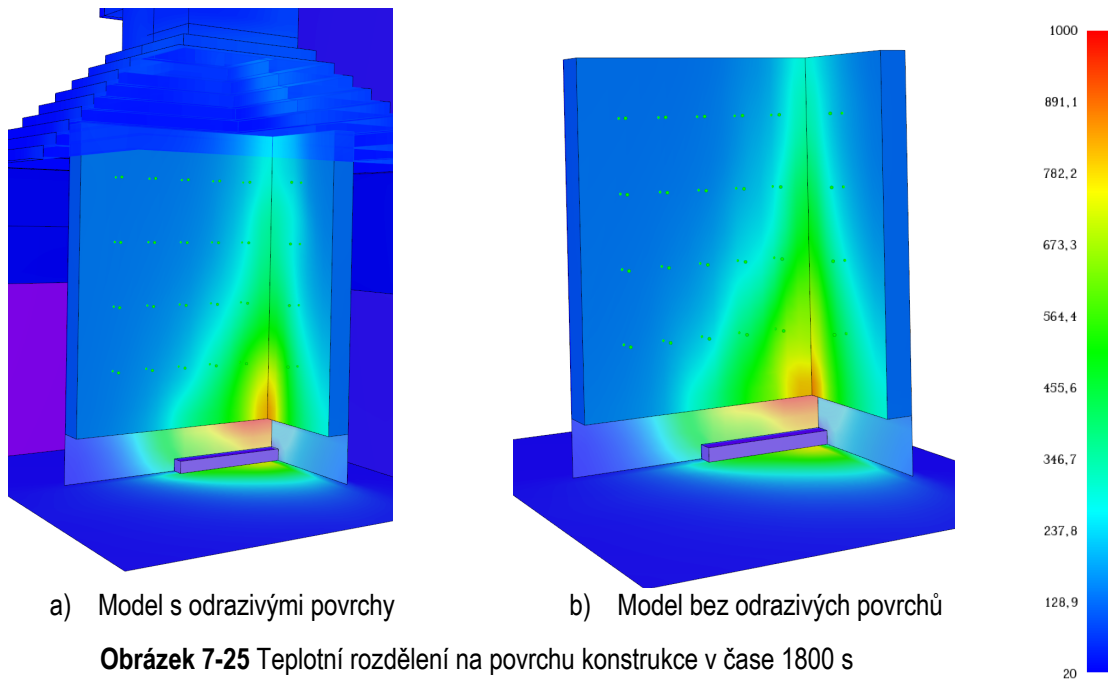
Menší rozdíly v hustotě tepelného toku je možné pozorovat na obr. 7-24. Jedná se o radiometr, který je umístěn v nejvyšší vodorovné linii ve výšce 2000 mm nad spodním okrajem zkušební vzorku. Model bez odrazivých stěn vykazuje hustotu tepelného toku o průměrné hodnotě 1 $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Zatímco model s odrazivými povrchy dosahuje hodnot o cca 0,4 $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$ vyšších. Zde je také možno vidět účinek zpětné radiace od okolních povrchů odsávacího zvonu, který se projevuje většími hodnotami dopadajícího tepelného toku. Je však nutné zmínit, že výsledné hodnoty jsou ve srovnání s radiometrem č. 04 výrazně nižší.



Obrázek 7-24 Průběh hustoty tepelného toku – radiometr č. 19

Vizuální výstupy – hrubší výpočetní síť (0,1 m × 0,1 m × 0,1 m)

Vizuální výstupy z numerických modelů (obr. 7-25) lépe vykreslují plošné teplotní rozdělení po povrchu zkušební sestavy. Jedná se o teplotní rozdělení v čase 1800 s, přičemž v ostatních časech jsou výstupy zobrazeny ve vizuální příloze k této diplomové práci. Z výstupů je zřejmé, že teplotní rozdělení je u obou modelů téměř totožné. Nejtmavší oblasti (oranžovo-červené) se vyskytují v místech přímo nad plynovým hořákem. Zde je vidět, že tato nejteplejší část je u modelu bez okolních povrchů mírně širší. V obou modelech je viditelné podobné rozložení teploty ve svislém směru okolo styku hlavního a bočního křídla. V modelu s odrazivými povrchy dochází vlivem zpětné radiace od konstrukce odsávacího zvonu k větší kumulaci tepla ve vyšších částech zkušební vzorku. Teplotní rozdíly jsou však mnohem lépe viditelné na výsledcích z jednotlivých měřicích bodů viz výše.



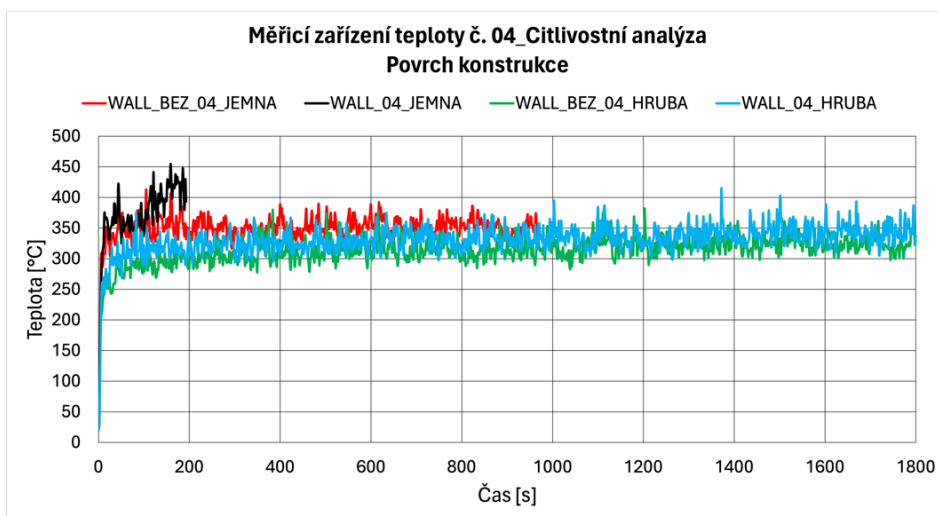
Obrázek 7-25 Teplotní rozdělení na povrchu konstrukce v čase 1800 s

Citlivostní analýza – porovnání jemnější a hrubší výpočetní sítě

Velikost výpočetní sítě je klíčová pro získání spolehlivých výsledků. Čím více je v modelu výpočetních buněk, tím delší bývá výpočetní doba. Pro porovnání výsledků jsou vytvořeny modely s jemnější výpočetní sítí (0,05 m × 0,05 m × 0,05 m), kde celkový počet výpočetních buněk činí 324 000. Výpočet obou modelů v programu FDS byl spuštěn na výkonném počítači na Fakultě stavební ČVUT v Praze. Vzhledem k výpočtu trvajícím několik desítek hodin byl výpočet ukončen v čase 192,6 s pro model s odrazivými povrchy a v čase 966,6 s pro model bez odrazivých povrchů. Výsledky jsou reprezentovány na následujících grafech. Jako reprezentativní měřicí body teploty jsou vybrány termočlánky č. 04 a č. 19. Křivky jsou doplněny u modelů s hrubší výpočetní sítí (0,1 m × 0,1 m × 0,1 m) popisem „HRUBA“ a u modelů s jemnější výpočetní sítí popisem „JEMNA“. Model bez odrazivých povrchů je doplněn popisem „BEZ“. Popis „WALL“ indikuje měřicí bod na povrchu konstrukce.

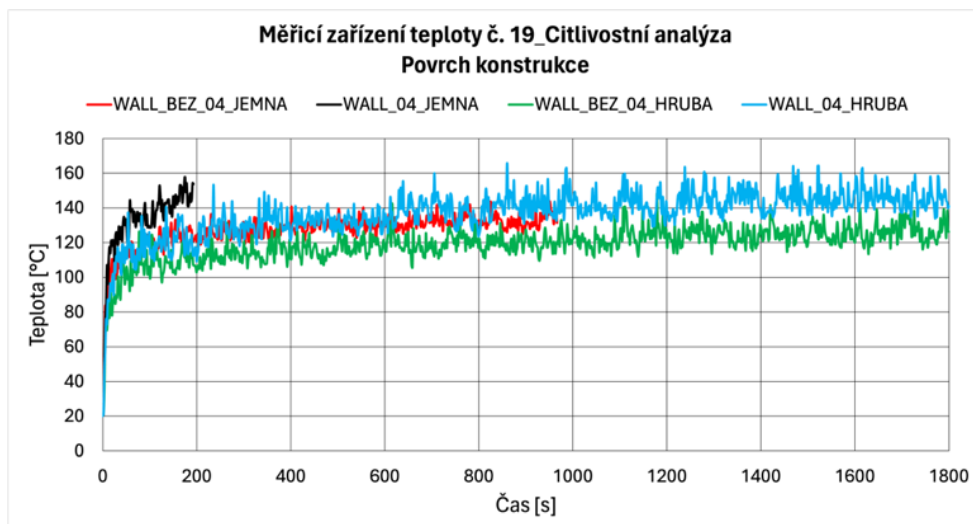
Na obr. 7-26 je vyznačen průběh teploty v měřicím bodě č. 04. Na první pohled je vidět, že průběh teploty u modelu s odrazivou sítí v jemnější výpočetní sítí (černě) dosahuje nejvyšších hodnot. I když se jedná pouze o průběh za dobu 192,6 sekund, je zde zřejmý jednoznačný nárůst teploty od samého počátku. V maximech atakuje hranici 450 °C. Rozdíl oproti modelu bez odrazivě

konstrukce ve stejně jemné výpočetní síti (červeně) činí okolo 50 °C. Oproti identickému modelu s odrazivými povrchy a s hrubší výpočetní sítí (modře) činí teplotní rozdíl cca 100 °C. Rozdíl v teplotách, u modelů bez odrazivých povrchů (červeně × zeleně) ale s jinou velikostí výpočetní sítě, činí cca 20–50 °C. Velikost výpočetní sítě tedy hraje důležitou roli při interpretaci výsledných hodnot. Modely s jemnější výpočetní sítí vykazují vyšší teploty v porovnání s identickými modely v hrubší síti.



Obrázek 7-26 Citlivostní analýza – měřicí bod teploty č. 04

Měřicí zařízení teploty č. 19 vykazuje velmi podobné průběhy teplot jako u měřicího zařízení č. 04. Nejvyšších hodnot dosahuje během prvních 200. výpočetních sekund model s odrazivými konstrukcemi a s jemnou výpočetní sítí (černě). Hodnoty od počátku strmě stoupají a blíží se k hranici 160 °C. Z obr. 7-27 lze také vyčíst, že průběh teplot pro model s odrazivými povrchy v hrubší výpočetní síti (modře) vykazuje vyšší hodnoty než model bez odrazivých konstrukcí s jemnější sítí (červeně), což je rozdíl oproti obr. 7-26. Výsledné teploty z modelů s odrazivými povrchy jsou tedy vyšší v porovnání s modely bez odrazivých povrchů. Zde je vidět jednoznačný účinek zpětné radiace od okolních odrazivých povrchů, kdy dochází k odrazu a větší akumulaci tepla s přibývajícím výškou na zkušebním vzorku.



Obrázek 7-27 Citlivostní analýza – měřicí bod teploty č. 19

8 Závěr

8.1 Závěr k rešeršní části

Rešeršní část diplomové práce se zaměřuje na současný stav poznání v oblasti požárních zkoušek fasádních systémů, s důrazem na nově vyvíjenou evropskou metodiku pro velkorozměrové požární zkoušky. Cílem této metodiky je sjednotit zkušební postupy napříč členskými státy EU. Tyto velkorozměrové zkoušky by měly být aplikovatelné pro různé druhy fasádních systémů, jako např. ETICS, větrané fasády či lehké obvodové pláště. Práce se také zabývá analýzou aktuálních aktivit v oblasti velkorozměrových zkoušek v ČR. Rozborové úkoly se zaměřují na posouzení navrhovaných požadavků a revizi požární normy ČSN 73 0810 v souvislosti se zateplovacími systémy. Další část se věnuje analýze okrajových podmínek při požárních zkouškách, na kterou dále navazují numerické CFD modely. Při provádění požárních zkoušek je nutné dbát na to, zda prostředí, ve kterém se zkouška realizuje, je schopno simulovat reálný stav pro získání relevantních a opakovatelných výsledků. Vnitřní požární zkoušky mohou být ovlivněny například okolní teplotou, okolní vlhkostí, přístupem a ventilací vzduchu nebo vlivem okolních blízkých povrchů z hlediska zpětné radiace. Vycházející teplo ze zdroje požáru se pomocí radiace šíří v prostoru, ohřívá okolní povrchy a následně se odráží zpět na zkušební vzorek. Tento jev může negativně působit na zkoušenou fasádu. Poslední část je věnována případové studii požáru bytového domu ve Valencii z roku 2024.

8.2 Závěr k numerickým CFD modelům

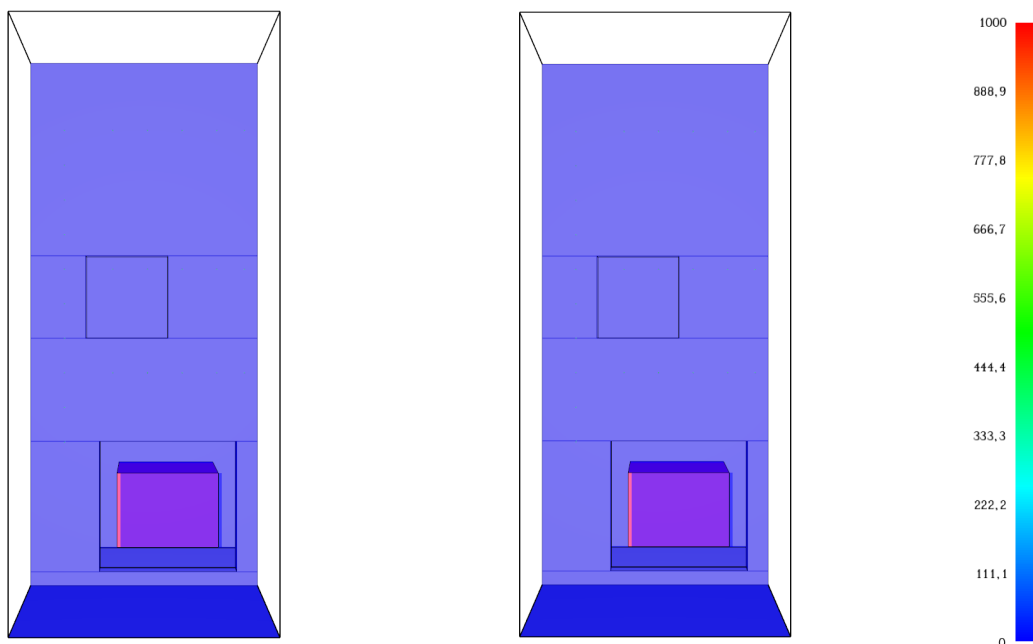
Pro zkoumání možného účinku zpětné radiace jsou vytvořeny jednoduché numerické CFD modely. Princip této analýzy je založen na porovnání vždy dvou identických modelů zkušebních sestav, kdy jeden model je vytvořen s okolními odrazivými konstrukcemi a druhý model bez okolních odrazivých konstrukcí. Výstupní hodnoty by měly prokázat účinek zpětné radiace. Modelována je jak zkušební sestava velkorozměrové zkoušky dle nové metodiky, tak modifikovaná verze aktuálně platné středněrozměrové požární zkoušky. U velkorozměrové požární zkoušky je modelováno pouze zkušební zařízení a u středněrozměrové zkoušky je zkušebním vzorkem minerální vata. Stěžejním posuzovaným kritériem je teplota. Výsledky jsou interpretovány pomocí teplot získaných z měřicích bodů a také pomocí grafických vizualizací teplotního rozložení na konstrukcích. Z výstupních dat se dá tvrdit, že účinek zpětné radiace se projevil. Teploty u modelů s odrazivými povrchy dosahují většinou vyšších hodnot než teploty v modelu bez odrazivých povrchů. V modelech s odrazivými povrchy dochází vlivem zpětné radiace od okolních povrchů k většímu účinku vodorovného šíření požáru než u modelů bez odrazivých povrchů. Rozdíl je také vidět v hustotě dopadajícího tepelného toku, kdy měřicí zařízení u modelu s odrazivými povrchy vykazují hodnoty vyšší. Je však nutné zmínit, že rozdíl v teplotách je v několika případech velmi malý či dokonce model bez odrazivých povrchů vykazuje nečekaně teploty vyšší. To může být způsobeno několika vlivy, jako např. velikostí výpočetní sítě či účinkem ventilace. Cílem těchto modelů bylo poukázat na to, že účinek zpětné radiace není zanedbatelný a že může ovlivňovat zkušební vzorky, což může vést k méně relevantním výsledkům.

8.3 Doporučení pro navazující výzkum

Jak bylo výše zmíněno, tak v numerických CFD modelech se prozatím uvažovalo pouze s fasádou z minerální vaty či jenom se zkušebními zařízeními. Do budoucna by bylo přínosem provést další numerické výpočty, kde by zkušební sestava byla tvořena např. dřevěnou fasádou či jiným hořlavým materiálem. U modifikované středněrozměrové zkoušky, která je modelována v prostředí pod odsávacím zvonem, by bylo vhodné provést výpočet a zahrnout zde také požární roletu. Požární roleta, kterou je možno v požární laboratoři použít, nebyla v uskutečněném numerickém modelu uvažována. Dále je důležité sledovat aktuální vývoj nové evropské metodiky a reflektovat případné změny ve výpočetních modelech. Jedná se o velmi důležitý návrh, který může v blízké době proměnit velkorozměrové testování v Evropě. Nezbytné je také monitorovat aktuální aktivity v oblasti velkorozměrových zkoušek v ČR, které mohou vést k revizi ČSN 73 0810.

9 Vizuální příloha k CFD modelům

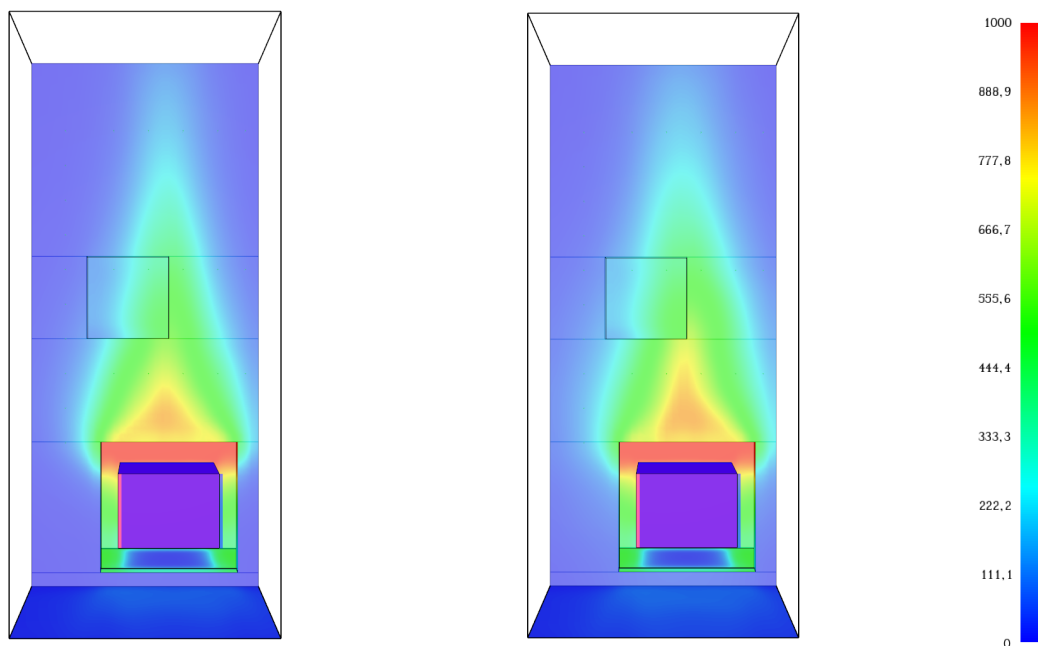
Model velkorozměrové požární zkoušky



a) Model bez odrazivé stěny

b) Model s odrazivou stěnou

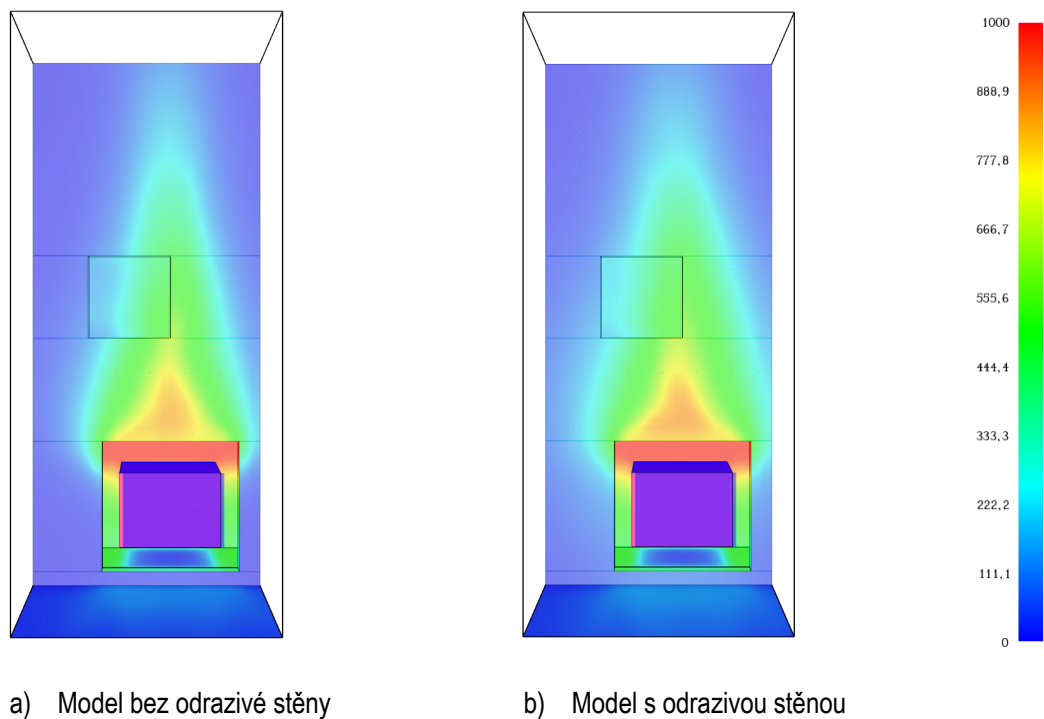
Obrázek 9-1 Teplota na povrchu konstrukce v čase 0 s – velkorozměrová zkouška



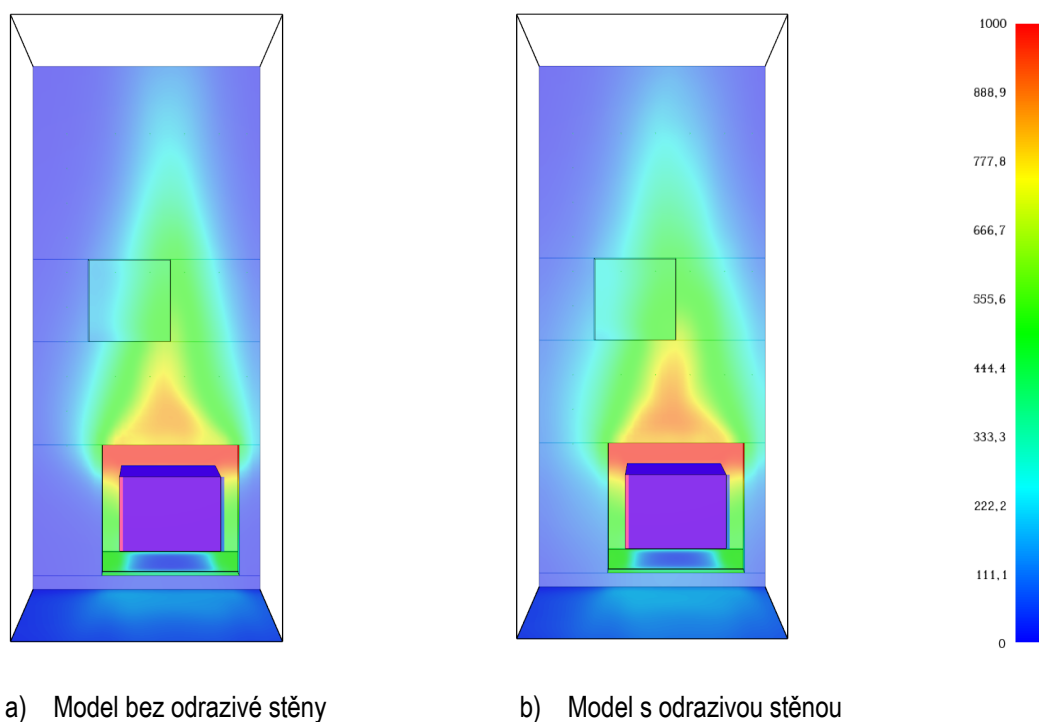
a) Model bez odrazivé stěny

b) Model s odrazivou stěnou

Obrázek 9-2 Teplota na povrchu konstrukce v čase 300 s – velkorozměrová zkouška

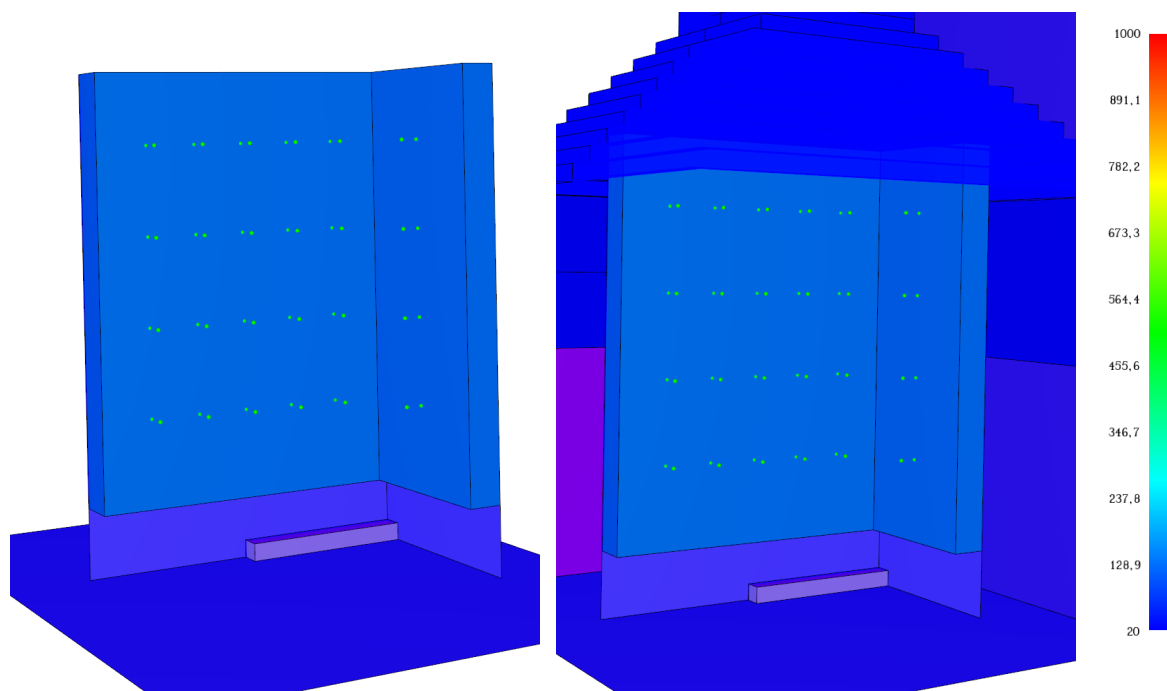


Obrázek 9-3 Teplota na povrchu konstrukce v čase 600 s – velkorozměrová zkouška



Obrázek 9-4 Teplota na povrchu konstrukce v čase 900 s – velkorozměrová zkouška

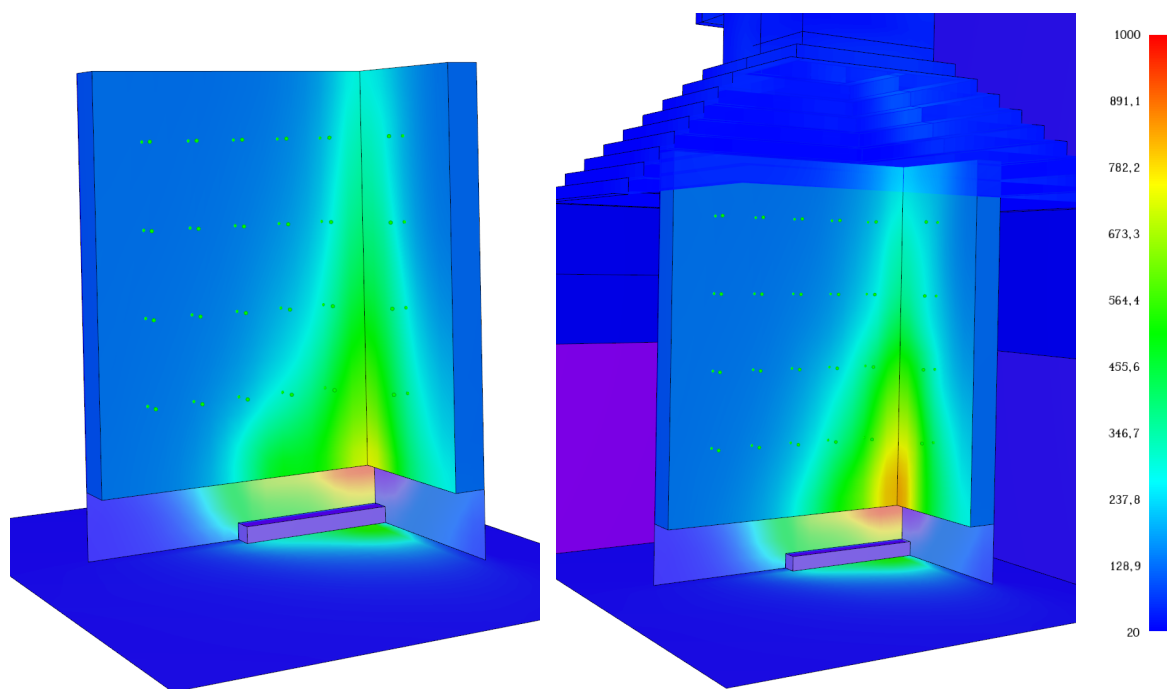
Model modifikované středněrozměrové zkoušky



a) Model bez odrazivých povrchů

b) Model s odrazivými povrchy

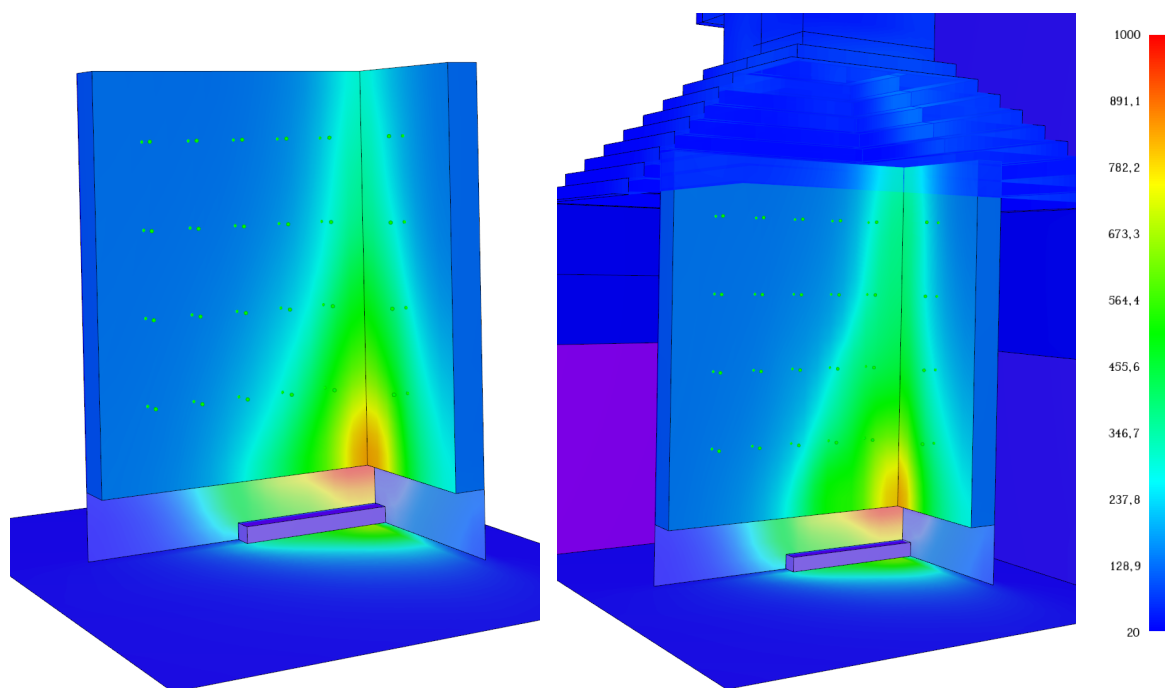
Obrázek 9-5 Teplota na povrchu konstrukce v čase 0 s – středněrozměrová zkouška



a) Model bez odrazivých povrchů

b) Model s odrazivými povrchy

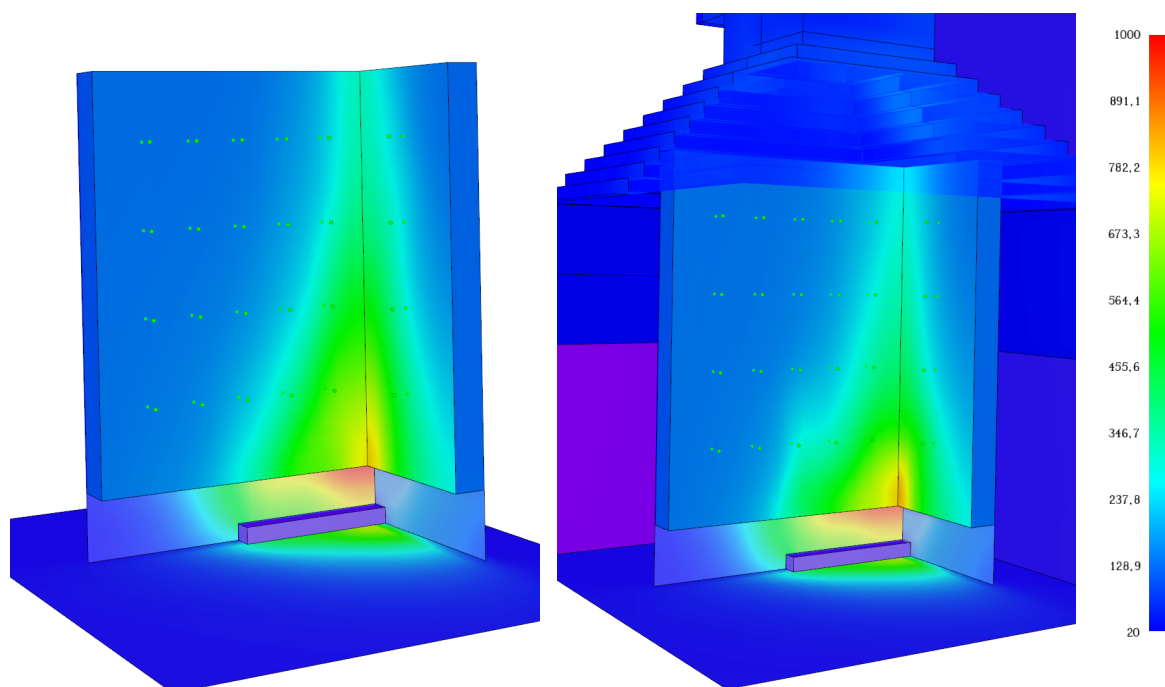
Obrázek 9-6 Teplota na povrchu konstrukce v čase 300 s – středněrozměrová zkouška



a) Model bez odrazivých povrchů

b) Model s odrazivými povrchy

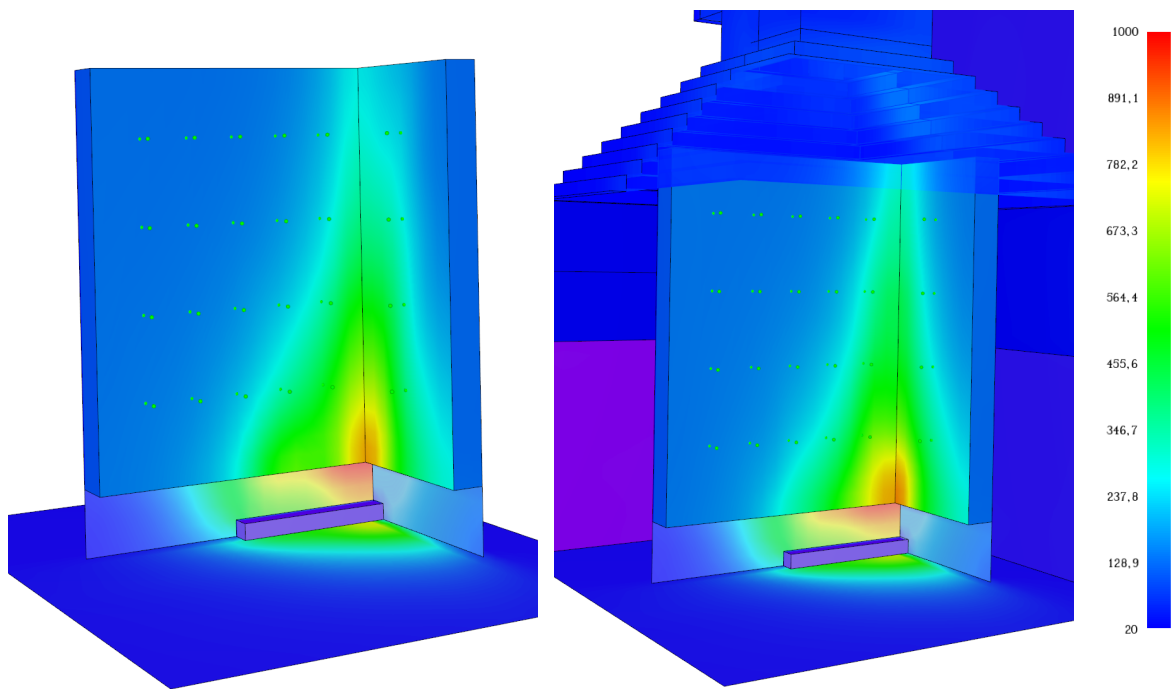
Obrázek 9-7 Teplota na povrchu konstrukce v čase 600 s – středněrozměrová zkouška



a) Model bez odrazivých povrchů

b) Model s odrazivými povrchy

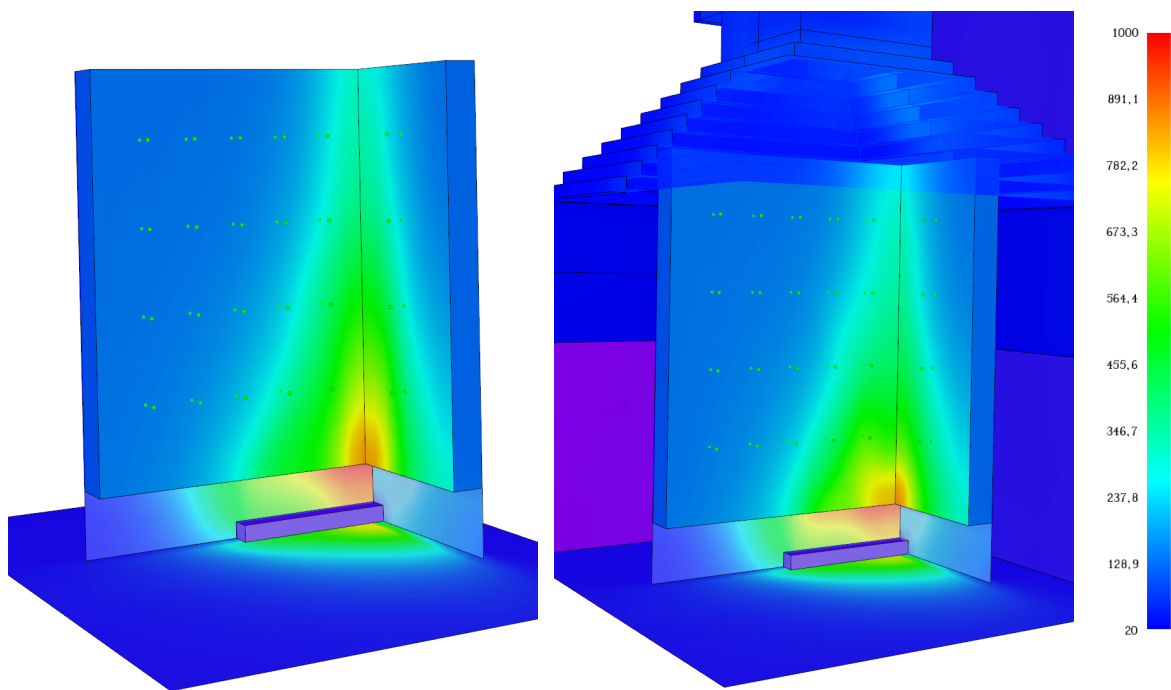
Obrázek 9-8 Teplota na povrchu konstrukce v čase 900 s – středněrozměrová zkouška



a) Model bez odrazivých povrchů

b) Model s odrazivými povrchy

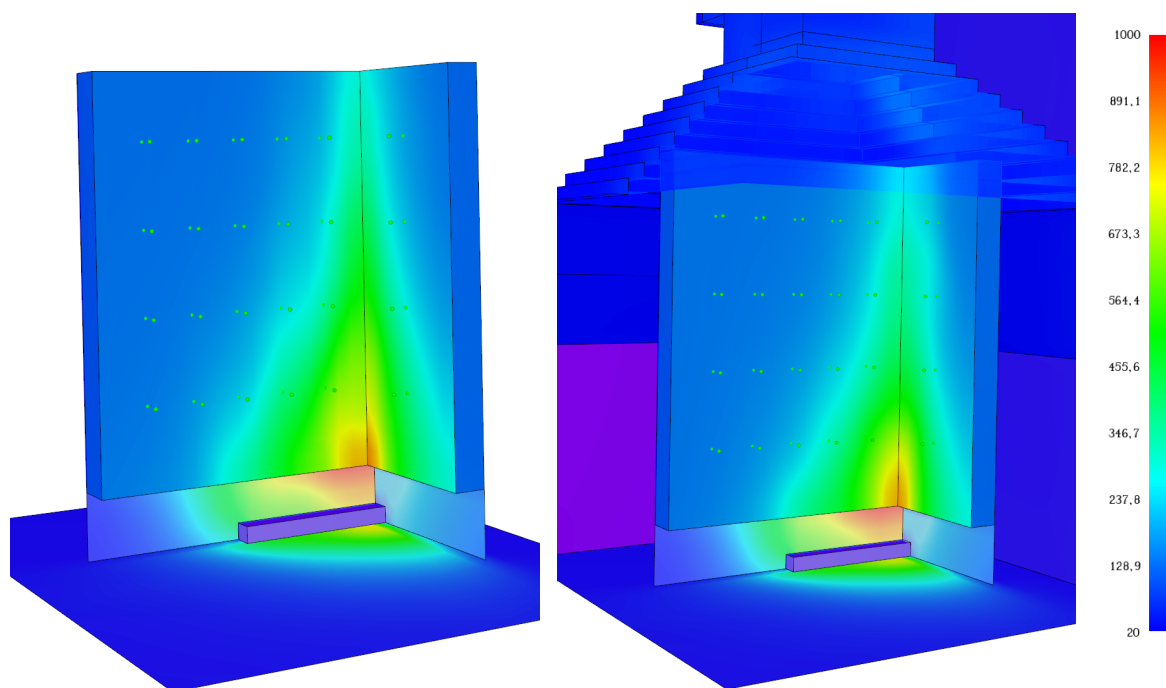
Obrázek 9-9 Teplota na povrchu konstrukce v čase 1200 s – středněrozměrová zkouška



a) Model bez odrazivých povrchů

b) Model s odrazivými povrchy

Obrázek 9-10 Teplota na povrchu konstrukce v čase 1500 s – středněrozměrová zkouška



a) Model bez odrazivých povrchů

b) Model s odrazivými povrchy

Obrázek 9-11 Teplota na povrchu konstrukce v čase 1800 s – středněrozměrová zkouška

Literatura

- [1] POKORNÝ, Marek a Petr HEJTMÁNEK. *Požární bezpečnost staveb: sylabus pro praktickou výuku*. 3. přepracované vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2021. ISBN 978-80-01-06839-7.
- [2] ČSN EN 13501-1 *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [3] ČSN EN ISO 1182. *Zkoušky reakce výrobků na oheň – Zkouška nehořlavosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2023.
- [4] ČSN EN ISO 1716 *Zkoušení reakce výrobků na oheň – Stanovení spalného tepla (kalorické hodnoty)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [5] ČSN EN 13823+A1. *Zkoušení reakce stavebních výrobků na oheň – Stavební výrobky kromě podlahových krytin vystavené tepelnému účinku jednotlivého hořícího předmětu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2022.
- [6] ČSN EN ISO 11925-2:2023 *Zkoušky reakce na oheň – Zápalnost stavebních výrobků vystavených přímému působení plamene Část 2: Zkouška malým zdrojem plamene*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2023.
- [7] *Non-Combustibility Apparatus EN ISO 1182 - Fire Testing Technology* [online]. Dostupné z: <https://www.fire-testing.com/non-combustibility-apparatus/>
- [8] LABORATUVAR. *EN ISO 1716 Reaction to Fire Tests for Products - Determination of Gross Heat of Combustion (Heat Value) Test* [online]. Dostupné z: <https://www.laboratuar.com/en/>
- [9] *Testing, Inspection and Certification Body, fire protection* [online]. Dostupné z: <https://www.ls.tum.de/en/hfm/tum-research-laboratory-wood/testing-laboratory-inspection-body-and-certification-body/testing-inspection-and-certification-body-fire-protection/>
- [10] *Ignitability_test_11925_2_2020_alg.pdf* [online]. Dostupné z: https://efectis.com/app/uploads/2022/03/Ignitability_test_11925_2_2020_alg.pdf
- [11] ČSN 73 0863 *Požárně technické vlastnosti hmot – Stanovení šíření plamene po povrchu stavebních hmot*. Praha: Český normalizační institut, 1991.
- [12] ČSN 73 0810. *Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [13] ČSN 73 0822. *Požárně technické vlastnosti hmot – Šíření plamene po povrchu stavebních hmot*. Praha: Český normalizační institut, 1987.
- [14] ČSN ISO 13785-1. *Zkoušky reakce na oheň pro fasády – Část 1: Zkouška středního rozměru*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [15] Velkorozměrová požární zkouška zateplení stěn dle ISO 13785-2 a její návaznost na aktuální požadavky ČSN 73 0810. www.stavebnictvi3000.cz [online]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/velkorozmerova-pozarni-zkouska-zatepleni-sten-dle-iso-13785-2-a-jeji-navaznost-na-aktualni-pozadavky>
- [16] European approach to assess the fire performance of facades. *RISE* [online]. 12. březen 2020. Dostupné z: <https://www.ri.se/en/what-we-do/projects/european-approach-to-assess-the-fire-performance-of-facades>
- [17] BAIČEV, Matěj. *Analýza skládaných fasádních systémů v podmínkách požáru*. Praha, 2021. ČVUT.
- [18] SMOLKA, Miroslav, Birgitte MESSERSCHMIDT, John SCOTT a Bruce Le MADEC. Semi-natural test methods to evaluate fire safety of wall claddings. *MATEC Web of Conferences* [online]. 2013, 9, 02012. ISSN 2261-236X. Dostupné z: doi:10.1051/mateconf/20130902012

- [19] HEJTMÁNEK, Petr. *Disertační práce – Odstupové vzdálenosti požárně otevřených fasád*. Praha, 2019. ČVUT.
- [20] *ISO 13785-2 Reaction to fire tests for facades – Part 2: Large-scale test*. Geneve: International Organization for Standardization, 2002.
- [21] SP FIRE 105. *External wall assemblies and facade claddings – Reaction to fire* [online]. Dostupné z: https://skalflex.dk/UserFiles/Diverse%20PDF/SP_FIRE_105_Fasader.pdf
- [22] *BS 8414-1 Fire Performance of External Cladding System | LinkedIn* [online]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/bs-8414-1-fire-performance-external-cladding-system-heng-chuan-yap/>
- [23] *Essais de résistance au feu de façade - LEPIR II* [online]. Dostupné z: <https://efectis.com/app/uploads/2016/05/resistancelepir.pdf>
- [24] HARNESK, Krister a Henrik ROSENHALL. Moelven Wood Projekt Hållbar framtid med trä. nedatováno.
- [25] Velkorozměrová požární zkouška zateplení stěn dle ISO 13785-2 a její návaznost na aktuální požadavky ČSN 73 0810. *Materiály pro stavbu* [online]. 2016. Dostupné z: https://imaterialy.cz/rubriky/legislativa/velkorozmerova-pozarni-zkouska-zatepleni-sten-dle-iso-13785-2-a-jeji-navaznost-na-aktualni-pozadavky-csn-73-0810_43564.html/
- [26] *NFPA 285. Standard Fire Test Method for Evaluation of Fire Propagation Characteristics of Exterior Wall Assemblies Containing Combustible Components*. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2023.
- [27] *CAN/ULC S134: Standard Method of Fire Test of Exterior Wall Assemblies* [online]. Dostupné z: <https://www.intertek.com/building/standards/can-ulc-s134/>
- [28] *NFPA 285 – Fire Propagation Testing – ICC NTA* [online]. Dostupné z: <https://www.icc-nta.org/services/testing/nfpa-285/>
- [29] GlasCurtain Becomes First Curtain Wall To Earn CAN/ULC-S134 Certification, Opening Door To Non-Combustible Construction in Canada! *GlasCurtain*. 18. červen 2018.
- [30] *Probíhá debata o úpravě požárních požadavků na ETICS v ČR | Z+i* [online]. Dostupné z: <https://zpravy.ckait.cz/vydani/2023-01/probiha-debata-o-uprave-pozarnich-pozadavku-na-etics-v-cr/>
- [31] *Požární bezpečnost kontaktních zateplovacích systémů (ETICS). Návrh zkušební metodiky. Informativní podklad k jednání TNK27. Veřejná zakázka České agentury pro standardizaci: Rozborové úkoly k řešení problematických oblastí z hlediska požadavků technických norem*. Praha: UCEEB ČVUT, 2022.
- [32] ŠTECHER, Jan. *Požární hledisko dvojitého zateplování ETICS*. Praha, 2024. ČVUT.
- [33] KOPECKÝ, Pavel. *Materiál a konstrukce – Šíření tepla, vzduchu a vlhkosti v budovách a stavebních prvcích*. Praha, 2014. ČVUT.
- [34] HOROVÁ, Kamila a František WALD. Tepelná a mechanická zatížení konstrukcí při požáru. *TZB-info* [online]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/8853-tepelna-a-mechanicka-zatizeni-konstrukci-pri-pozaru>
- [35] *ČSN EN 1991-1-2. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [36] *ČSN 73 0540-1. Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [37] KADLEC, Karel. Teoretické základy bezdotykového měření teploty. *Automa: odborný časopis pro automatizační techniku*. 2014, **20**(02), 13–15.
- [38] What is a Wavelength? Definition from SearchNetworking. *Networking* [online]. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/wavelength>

- [39] ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [40] PELC, František. *Příloha G (ČSN EN 1991-1-2:2004) Polohový faktor* [online]. Dostupné z: <https://www.pelcfrantisek.cz/ostat/RUprilohaG.php>
- [41] *2024 Valencia residential complex fire* [online]. 2024 Dostupné z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=2024_Valencia_residential_complex_fire&oldid=1218943573
- [42] *Valencia fire: Nine bodies found as Spanish police search gutted flats* [online]. Dostupné z: <https://www.bbc.com/news/world-europe-68379253>
- [43] *¿Qué se sabe del edificio incendiado en Valencia? Datos y gráficos* [online]. Dostupné z: <https://www.rtve.es/noticias/20240223/incendio-edificio-valencia-causas-graficos/15983019.shtml>
- [44] CHAUNDLER, Rachel. Fire in Valencia, Spain, Leaves Residents Homeless After Panicked Escapes. *The New York Times* [online]. 2024 ISSN 0362-4331. Dostupné z: <https://www.nytimes.com/2024/02/24/world/europe/fire-valencia-spain.html>
- [45] *FDS-SMV* [online]. Spojené státy americké: National Institute of Standards and Technology. 2000 Dostupné z: <https://pages.nist.gov/fds-smv/>
- [46] *PyroSim* [online]. Spojené státy americké: Thunderhead Engineering. 2007 Dostupné z: <https://www.thunderheadeng.com/pyrosim>
- [47] Cloud HPC CAE - CFD FEM FEA analyses for your simulations. *Cloud HPC* [online]. Dostupné z: <https://cloudhpc.cloud/>
- [48] MCGRATTAN, Kevin B a Glenn P FORNEY. *Fire dynamics simulator (version 6) :: user's guide* [online]. 0 vyd. NIST SP 1019. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology. 2004 Dostupné z: doi:10.6028/NIST.SP.1019
- [49] WALD, František a další. *Modelování dynamiky požáru v budovách*. Praha: ČVUT, 2017. ISBN 978-80-01-05633-2.
- [50] KOBILÍK, Václav. Analýza okrajových podmínek pro velkorozměrovou požární zkoušku fasádních systémů. In: *Sborník 6. studentské vědecké konference. Zapálení 2023*. Praha: České vysoké učení technické, 2023, s. 17–20. ISBN 978-80-01-07161-8.
- [51] *Technický list Fermacell – Protipožární deska Aestuver* [online]. Dostupné z: <https://www.fermacell.cz/getmedia/d6b3e4ec-ee43-49e1-a8de-11741f981d02/cementovlaknita-deska-aestuver-tl.PDF.aspx>
- [52] *Xella – Přehled materiálových vlastností a produktů 2022.pdf* [online]. Dostupné z: https://storefrontapi.commerce.xella.com/medias/sys_master/root/hf0/h47/8941944995870/Xella_Prehled_materialovych_vlastnosti_a_produkту_CZ_2022/Xella-Prehled-materialovych-vlastnosti-a-produktu-CZ-2022.pdf
- [53] *ISO 9705-1:2016 Reaction to fire tests – Room corner test for wall and ceiling lining products Part 1: Test method for a small room configuration*. 2016. vyd. Geneve: International Organization for Standardization, nedatováno.
- [54] *Technický list Isover TF Profi* [online]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/dokumenty/technicke-listy/tl-1.8.2023-isover-tf-profi-cz-1.pdf>

Příloha 1 – Zdrojový kód FDS pro velkorozměrovou požární zkoušku

Model velkorozměrové požární zkoušky s odrazivou stěnou

```
&HEAD CHID='VELKOROZMEROVA'/
&TIME T_END=900.0/
&DUMP DT_RESTART=300.0, DT_SL3D=0.25/

&MESH ID='MESH01', IJK=48,22,42, XB=2.8,5.2,3.5,4.6,0.7,2.8/
&MESH ID='MESH02', IJK=33,22,76, XB=2.0,5.3,1.3,3.5,0.5,8.1/

&SPEC ID='REAC_FUEL', FORMULA='C6.3H7.1O2.1'/
&REAC ID='drevo',
  FYI='drevo_data z NFPA Handbook Babrauskas',
  FUEL='REAC_FUEL',
  SOOT_YIELD=8.0E-3/

&MATL ID='YTONG',
  FYI='TZBinfo',
  SPECIFIC_HEAT=1.0,
  CONDUCTIVITY=0.13,
  DENSITY=500.0/
&MATL ID='CONCRETE',
  FYI='NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation',
  SPECIFIC_HEAT=1.04,
  CONDUCTIVITY=1.8,
  DENSITY=2280.0/
&MATL ID='Aestuver',
  SPECIFIC_HEAT=0.9,
  CONDUCTIVITY=0.21,
  DENSITY=680.0,
  EMISSIVITY=0.8/
&SURF ID='Stena',
  RGB=226,217,199,
  DEFAULT=.TRUE.,
  BACKING='INSULATED',
  MATL_ID(1,1)='YTONG',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=0.2/
&SURF ID='Beton',
  COLOR='GRAY 40',
  MATL_ID(1,1)='CONCRETE',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=0.2/
&SURF ID='Aestuver',
  MATL_ID(1,1)='Aestuver',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=0.03/

&SURF ID='Ohen1.5',
  COLOR='RED',
  HRRPUA=478.0,
  RAMP_Q='Ohen1.5_RAMP_Q'/
&RAMP ID='Ohen1.5_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='Ohen1.5_RAMP_Q', T=60.0, F=1.0/
&RAMP ID='Ohen1.5_RAMP_Q', T=1800.0, F=1.0/
&SURF ID='Ohen1.1',
  RGB=255,170,74,
  HRRPUA=651.0,
```

```

RAMP_Q='Ohen1.1_RAMP_Q'/
&RAMP ID='Ohen1.1_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='Ohen1.1_RAMP_Q', T=60.0, F=1.0/
&RAMP ID='Ohen1.1_RAMP_Q', T=1800.0, F=1.0/
&SURF ID='Ohen1.65',
  RGB=255,103,169,
  HRRPUA=434.0,
  RAMP_Q='Ohen1.65_RAMP_Q'/
&RAMP ID='Ohen1.65_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='Ohen1.65_RAMP_Q', T=60.0, F=1.0/
&RAMP ID='Ohen1.65_RAMP_Q', T=1800.0, F=1.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=2.0,5.3,3.3,3.5,0.5,0.7, SURF_ID='Stena'/
&OBST ID='Obstruction', XB=2.0,3.0,3.3,3.5,0.7,2.6, SURF_ID='Stena'/
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,5.3,3.3,3.5,0.7,2.6, SURF_ID='Stena'/
&OBST ID='Obstruction', XB=2.0,5.3,3.3,3.5,2.6,4.1, SURF_ID='Stena'/
&OBST ID='Drevo', XB=3.25,4.75,3.5,4.5,1.0,2.1, PERMIT_HOLE=.FALSE.,
SURF_ID6='Ohen1.1','Ohen1.1','Ohen1.65','Ohen1.65','INERT','Ohen1.5'/
&OBST ID='Obstruction', XB=2.0,5.3,3.3,3.5,5.3,8.1, SURF_ID='Stena'/
&OBST ID='Obstruction', XB=2.0,2.8,3.3,3.5,4.1,5.3, SURF_ID='Stena'/
&OBST ID='Obstruction', XB=4.0,5.3,3.3,3.5,4.1,5.3, SURF_ID='Stena'/

&VENT ID='Mesh Vent: MESH01 [XMAX]', SURF_ID='Stena', XB=5.2,5.2,3.5,4.6,0.7,2.8/
&VENT ID='Mesh Vent: MESH01 [XMIN]', SURF_ID='Stena', XB=2.8,2.8,3.5,4.6,0.7,2.8/
&VENT ID='Mesh Vent: MESH01 [YMAX]', SURF_ID='Stena', XB=2.8,5.2,4.6,4.6,0.7,2.8/
&VENT ID='Mesh Vent: MESH01 [ZMAX]', SURF_ID='Stena', XB=2.8,5.2,3.5,4.6,2.8,2.8/
&VENT ID='Mesh Vent: MESH01 [ZMIN]', SURF_ID='Stena', XB=2.8,5.2,3.5,4.6,0.7,0.7/
&VENT ID='Vent', SURF_ID='Beton', XB=2.0,5.3,1.3,3.5,0.5,0.5/
&VENT ID='Vent01', SURF_ID='Aestuver', XB=2.0,5.3,1.3,1.3,0.5,8.1/
&VENT ID='Vent02', SURF_ID='OPEN', XB=5.3,5.3,1.3,3.3,0.5,8.1/
&VENT ID='Vent03', SURF_ID='OPEN', XB=2.0,2.0,1.3,3.3,0.5,8.1/
&VENT ID='Vent04', SURF_ID='OPEN', XB=2.0,5.3,1.3,3.3,8.1,8.1/
&VENT ID='Vent05', SURF_ID='Stena', XB=2.8,4.0,3.5,3.5,4.1,5.3/

&DEVC ID='THCP_00', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.5,3.2,2.6/
&DEVC ID='THCP_01', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.5,3.2,3.1/
&DEVC ID='THCP_02', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.5,3.2,3.6/
&DEVC ID='THCP_03', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.5,3.2,4.1/
&DEVC ID='THCP_04', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.5,3.2,4.6/
&DEVC ID='THCP_05', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.5,3.2,5.1/
&DEVC ID='THCP_06', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.5,3.2,5.6/
&DEVC ID='THCP_07', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.5,3.2,6.1/
&DEVC ID='THCP_08', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.5,3.2,6.6/
&DEVC ID='THCP_09', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.5,3.2,7.1/
&DEVC ID='THCP_10', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=3.2,3.2,7.1/
&DEVC ID='THCP_11', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=3.7,3.2,7.1/
&DEVC ID='THCP_12', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=4.2,3.2,7.1/
&DEVC ID='THCP_13', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=4.7,3.2,7.1/
&DEVC ID='THCP_14', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.1,3.2,7.1/
&DEVC ID='THCP_15', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.1,3.2,3.6/
&DEVC ID='THCP_16', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=4.7,3.2,3.6/
&DEVC ID='THCP_17', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=4.2,3.2,3.6/
&DEVC ID='THCP_18', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=3.7,3.2,3.6/
&DEVC ID='THCP_19', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=3.2,3.2,3.6/
&DEVC ID='THCP_20', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.1,3.2,5.1/
&DEVC ID='THCP_21', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=3.2,3.2,5.1/
&DEVC ID='THCP_22', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=3.7,3.2,5.1/
&DEVC ID='THCP_23', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=4.2,3.2,5.1/
&DEVC ID='THCP_24', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=4.7,3.2,5.1/

```

&DEVC ID='INT_00', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=2.5,3.2,2.6, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_01', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=2.5,3.2,3.1, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_02', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=2.5,3.2,3.6, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_03', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=2.5,3.2,4.1, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_04', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=2.5,3.2,4.6, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_05', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=2.5,3.2,5.1, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_06', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=2.5,3.2,5.6, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_07', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=2.5,3.2,6.1, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_08', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=2.5,3.2,6.6, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_09', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=2.5,3.2,7.1, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_10', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=3.2,3.2,7.1, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_11', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=3.7,3.2,7.1, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_12', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=4.2,3.2,7.1, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_13', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=4.7,3.2,7.1, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_14', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.1,3.2,7.1, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_15', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.1,3.2,3.6, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_16', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=4.7,3.2,3.6, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_17', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=4.2,3.2,3.6, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_18', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=3.7,3.2,3.6, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_19', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=3.2,3.2,3.6, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_20', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.1,3.2,5.1, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_21', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=4.7,3.2,5.1, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_22', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=4.2,3.2,5.1, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_23', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=3.2,3.2,5.1, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/
&DEVC ID='INT_24', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=3.7,3.2,5.1, ORIENTATION=0.0,-1.0,0.0/

&DEVC ID='WALL_00', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=2.5,3.3,2.6, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL_01', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=2.5,3.3,3.1, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL_02', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=2.5,3.3,3.6, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL_03', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=2.5,3.3,4.1, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL_04', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=2.5,3.3,4.6, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL_05', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=2.5,3.3,5.1, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL_06', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=2.5,3.3,5.6, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL_07', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=2.5,3.3,6.1, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL_08', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=2.5,3.3,6.6, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL_09', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=2.5,3.3,7.1, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL_10', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=3.2,3.3,7.1, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL_11', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=3.7,3.3,7.1, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL_12', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=4.2,3.3,7.1, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL_13', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=4.7,3.3,7.1, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL_14', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,3.3,7.1, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL_15', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,3.3,3.6, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL_16', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=4.7,3.3,3.6, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL_17', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=4.2,3.3,3.6, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL_18', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=3.7,3.3,3.6, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL_19', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=3.2,3.3,3.6, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL_20', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,3.3,5.1, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL_21', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=4.7,3.3,5.1, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL_22', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=4.2,3.3,5.1, IOR=-2/

&DEVC ID='RAD_00', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=2.5,3.3,2.6, IOR=-2/
&DEVC ID='RAD_01', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=2.5,3.3,3.1, IOR=-2/
&DEVC ID='RAD_02', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=2.5,3.3,3.6, IOR=-2/
&DEVC ID='RAD_03', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=2.5,3.3,4.1, IOR=-2/
&DEVC ID='RAD_04', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=2.5,3.3,4.6, IOR=-2/
&DEVC ID='RAD_05', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=2.5,3.3,5.1, IOR=-2/
&DEVC ID='RAD_06', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=2.5,3.3,5.6, IOR=-2/

&DEVC ID='RAD_07', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=2.5,3.3,6.1, IOR=-2/
 &DEVC ID='RAD_08', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=2.5,3.3,6.6, IOR=-2/
 &DEVC ID='RAD_09', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=2.5,3.3,7.1, IOR=-2/
 &DEVC ID='RAD_10', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=3.2,3.3,7.1, IOR=-2/
 &DEVC ID='RAD_11', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=3.7,3.3,7.1, IOR=-2/
 &DEVC ID='RAD_12', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=4.2,3.3,7.1, IOR=-2/
 &DEVC ID='RAD_13', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=4.7,3.3,7.1, IOR=-2/
 &DEVC ID='RAD_14', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,3.3,7.1, IOR=-2/
 &DEVC ID='RAD_15', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,3.3,3.6, IOR=-2/
 &DEVC ID='RAD_16', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=4.7,3.3,3.6, IOR=-2/
 &DEVC ID='RAD_17', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=4.2,3.3,3.6, IOR=-2/
 &DEVC ID='RAD_18', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=3.7,3.3,3.6, IOR=-2/
 &DEVC ID='RAD_19', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=3.2,3.3,3.6, IOR=-2/
 &DEVC ID='RAD_20', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,3.3,5.1, IOR=-2/
 &DEVC ID='RAD_21', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=4.7,3.3,5.1, IOR=-2/
 &DEVC ID='RAD_22', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=4.2,3.3,5.1, IOR=-2/

&BNDF QUANTITY='BACK WALL TEMPERATURE'/
 &BNDF QUANTITY='GAS TEMPERATURE'/
 &BNDF QUANTITY='GAUGE HEAT FLUX'/
 &BNDF QUANTITY='GAUGE HEAT FLUX GAS'/
 &BNDF QUANTITY='HRRPUA'/
 &BNDF QUANTITY='HEAT TRANSFER COEFFICIENT'/
 &BNDF QUANTITY='INCIDENT HEAT FLUX'/
 &BNDF QUANTITY='NET HEAT FLUX'/
 &BNDF QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX'/
 &BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/
 &BNDF QUANTITY='RADIOMETER'/

&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE=400.0,500.0,600.0,700.0,800.0/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='X = 2,0 m: Temperature', PBX=2.0/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='X = 2,5 m: Temperature', PBX=2.5/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='X = 3,0 m: Temperature', PBX=3.0/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='X = 3,2 m: Temperature', PBX=3.2/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='X = 3,7 m: Temperature', PBX=3.7/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='X = 4,2 m: Temperature', PBX=4.2/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='X = 4,7 m: Temperature', PBX=4.7/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='X = 4,0 m: Temperature', PBX=4.0/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='X = 5,0 m: Temperature', PBX=5.0/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='X = 5,1 m: Temperature', PBX=5.1/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='X = 5,3 m: Temperature', PBX=5.3/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='Z = 3,0 m: Temperature', PBZ=3.0/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='Z = 4,0 m: Temperature', PBZ=4.0/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='Z = 5,0 m: Temperature', PBZ=5.0/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='Y = 2,0 m: Temperature', PBY=2.0/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='Y = 3,0 m: Temperature', PBY=3.0/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='Y = 3,2 m: Temperature', PBY=3.2/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='Y = 4,0 m: Temperature', PBY=4.0/
 &SLCF QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', VECTOR=.TRUE., ID='X = 2,0 m: Integrated Intensity', PBX=2.0/
 &SLCF QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', VECTOR=.TRUE., ID='X = 4,0 m: Integrated Intensity', PBX=4.0/
 &SLCF QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', VECTOR=.TRUE., ID='X = 5,0 m: Integrated Intensity', PBX=5.0/
 &SLCF QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', VECTOR=.TRUE., ID='X = 3,0 m: Integrated Intensity', PBX=3.0/
 &SLCF QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', VECTOR=.TRUE., ID='Z = 3,0 m: Integrated Intensity', PBZ=3.0/


```
&SLCF QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', VECTOR=.TRUE., ID='Z = 4,0 m: Integrated Intensity',  
PBZ=4.0/  
&SLCF QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', VECTOR=.TRUE., ID='Z = 5,0 m: Integrated Intensity',  
PBZ=5.0/  
&SLCF QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', VECTOR=.TRUE., ID='Y = 3,0 m: Integrated Intensity',  
PBY=3.0/  
&SLCF QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', VECTOR=.TRUE., ID='Y = 3,2 m: Integrated Intensity',  
PBY=3.2/  
&SLCF QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', VECTOR=.TRUE., ID='Y = 1,2 m: Integrated Intensity',  
PBY=1.2/  
  
&TAIL /
```

Příloha 2 – Zdrojový kód FDS pro modifikovanou středněrozměrovou zkoušku

Modifikovaný model středněrozměrové zkoušky s okolními konstrukcemi

```
&HEAD CHID='stred_modifikovana'/  
&TIME T_END=1800.0/
```

```
&MESH ID='MESH', IJK=30,30,45, XB=3.8,6.8,-0.3,2.7,0.0,4.5/
```

```
&REAC ID='FDS6 PROPANE',  
  FYI='FDS6 Predefined',  
  FUEL='PROPANE',  
  CO_YIELD=0.02,  
  SOOT_YIELD=0.01/
```

```
&MATL ID='IZOLACE',  
  SPECIFIC_HEAT=0.8,  
  CONDUCTIVITY=0.035,  
  DENSITY=80.0/
```

```
&MATL ID='CEMENTDESK',  
  SPECIFIC_HEAT=0.9,  
  CONDUCTIVITY=0.21,  
  DENSITY=680.0,  
  EMISSIVITY=0.8/
```

```
&MATL ID='CONCRETE',  
  FYI='NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation',  
  SPECIFIC_HEAT=1.04,  
  CONDUCTIVITY=1.8,  
  DENSITY=2280.0/
```

```
&MATL ID='POROBETON',  
  SPECIFIC_HEAT=1.0,  
  CONDUCTIVITY=0.12,  
  DENSITY=500.0/
```

```
&MATL ID='NEREZOVY_PLECH',  
  SPECIFIC_HEAT=0.46,  
  CONDUCTIVITY=15.0,  
  DENSITY=7850.0,  
  EMISSIVITY=0.95/
```

```
&SURF ID='Ventilator',  
  COLOR='BLACK',  
  VOLUME_FLOW=3.5/
```

```
&SURF ID='Horak',  
  COLOR='RED',  
  HRRPUA=3000.0,  
  TMP_FRONT=0.0/
```

```
&SURF ID='IZOLACE',  
  RGB=0,204,3,  
  MATL_ID(1,1)='IZOLACE',  
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,  
  THICKNESS(1)=0.2/
```

```
&SURF ID='CEMENTDESK',
```

```
MATL_ID(1,1)='CEMENTDESK',  
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,  
THICKNESS(1)=0.03/
```

```
&SURF ID='BETON',  
RGB=96,48,36,  
MATL_ID(1,1)='CONCRETE',  
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,  
THICKNESS(1)=0.2/
```

```
&SURF ID='POROBETON',  
RGB=235,10,102,  
MATL_ID(1,1)='POROBETON',  
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,  
THICKNESS(1)=0.2/
```

```
&SURF ID='PLECH',  
RGB=0,2,102,  
MATL_ID(1,1)='NEREZOVY_PLECH',  
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,  
THICKNESS(1)=2.0E-3/
```

```
&OBST ID='Zvon_lryt', XB=4.8,5.8,0.7,1.7,4.4,4.4, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='odvod1', XB=3.8,4.8,1.0,1.0,3.9,4.3, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='odvod2', XB=3.8,4.8,1.4,1.4,3.9,4.3, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='odvod3', XB=3.8,4.8,1.0,1.4,3.9,3.9, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='odvod4', XB=3.8,4.8,1.0,1.4,4.3,4.3, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='odvod', XB=3.8,3.9,1.0,1.4,3.9,4.3, RGB=150,150,150, TRANSPARENCY=0.494118,  
SURF_ID='INERT'/
```

```
&OBST ID='zvon_bariera', XB=4.8,5.3,0.7,1.7,3.9,3.9, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='zvon_bariera2', XB=5.2,5.8,0.7,1.7,3.5,3.5, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon0H', XB=3.8,3.9,-0.2,2.6,2.5,2.5, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon0H', XB=3.8,5.3,-0.3,-0.2,2.5,2.5, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon0H', XB=3.8,5.3,2.6,2.7,2.5,2.5, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon0H', XB=5.3,6.8,-0.3,-0.2,2.5,2.5, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon0H', XB=5.3,6.8,2.6,2.7,2.5,2.5, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon0H', XB=6.7,6.8,-0.2,2.6,2.5,2.5, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon1V', XB=3.9,5.3,-0.2,-0.2,2.5,2.6, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon1V', XB=3.9,5.3,2.6,2.6,2.5,2.6, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon1V', XB=3.9,3.9,-0.2,2.6,2.5,2.6, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon1V', XB=5.3,6.7,-0.2,-0.2,2.5,2.6, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon1V', XB=5.3,6.7,2.6,2.6,2.5,2.6, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon1V', XB=6.7,6.7,-0.2,2.6,2.5,2.6, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon1H', XB=3.9,4.0,-0.1,2.5,2.6,2.6, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon1H', XB=3.9,5.3,-0.2,-0.1,2.6,2.6, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon1H', XB=3.9,5.3,2.5,2.6,2.6,2.6, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon1H', XB=5.3,6.7,-0.2,-0.1,2.6,2.6, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon1H', XB=5.3,6.7,2.5,2.6,2.6,2.6, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon1H', XB=6.6,6.7,-0.1,2.5,2.6,2.6, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon2V', XB=4.0,5.3,-0.1,-0.1,2.6,2.7, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon2V', XB=4.0,5.3,2.5,2.5,2.6,2.7, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon2V', XB=4.0,4.0,-0.1,2.5,2.6,2.7, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon2V', XB=5.3,6.6,-0.1,-0.1,2.6,2.7, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon2V', XB=5.3,6.6,2.5,2.5,2.6,2.7, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon2V', XB=6.6,6.6,-0.1,2.5,2.6,2.7, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon2H', XB=4.0,4.1,0.0,2.4,2.7,2.7, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon2H', XB=4.0,5.3,-0.1,0.0,2.7,2.7, SURF_ID='PLECH'/  
&OBST ID='Zvon2H', XB=4.0,5.3,2.4,2.5,2.7,2.7, SURF_ID='PLECH'/
```

&OBST ID='Zvon2H', XB=5.3,6.6,-0.1,0.0,2.7,2.7, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon2H', XB=5.3,6.6,2.4,2.5,2.7,2.7, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon2H', XB=6.5,6.6,0.0,2.4,2.7,2.7, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon3V', XB=4.1,5.3,0.0,0.0,2.7,2.8, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon3V', XB=4.1,5.3,2.4,2.4,2.7,2.8, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon3V', XB=4.1,4.1,0.0,2.4,2.7,2.8, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon3V', XB=5.3,6.5,0.0,0.0,2.7,2.8, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon3V', XB=5.3,6.5,2.4,2.4,2.7,2.8, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon3V', XB=6.5,6.5,0.0,2.4,2.7,2.8, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon3H', XB=4.1,4.2,0.1,2.3,2.8,2.8, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon3H', XB=4.1,5.3,0.0,0.1,2.8,2.8, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon3H', XB=4.1,5.3,2.3,2.4,2.8,2.8, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon3H', XB=5.3,6.5,0.0,0.1,2.8,2.8, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon3H', XB=5.3,6.5,2.3,2.4,2.8,2.8, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon3H', XB=6.4,6.5,0.1,2.3,2.8,2.8, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon4V', XB=4.2,5.3,0.1,0.1,2.8,2.9, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon4V', XB=4.2,5.3,2.3,2.3,2.8,2.9, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon4V', XB=4.2,4.2,0.1,2.3,2.8,2.9, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon4V', XB=5.3,6.4,0.1,0.1,2.8,2.9, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon4V', XB=5.3,6.4,2.3,2.3,2.8,2.9, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon4V', XB=6.4,6.4,0.1,2.3,2.8,2.9, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon4H', XB=4.2,4.3,0.2,2.2,2.9,2.9, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon4H', XB=4.2,5.3,0.1,0.2,2.9,2.9, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon4H', XB=4.2,5.3,2.2,2.3,2.9,2.9, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon4H', XB=5.3,6.4,0.1,0.2,2.9,2.9, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon4H', XB=5.3,6.4,2.2,2.3,2.9,2.9, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon4H', XB=6.3,6.4,0.2,2.2,2.9,2.9, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon5V', XB=4.3,5.3,0.2,0.2,2.9,3.0, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon5V', XB=4.3,5.3,2.2,2.2,2.9,3.0, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon5V', XB=4.3,4.3,0.2,2.2,2.9,3.0, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon5V', XB=5.3,6.3,0.2,0.2,2.9,3.0, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon5V', XB=5.3,6.3,2.2,2.2,2.9,3.0, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon5V', XB=6.3,6.3,0.2,2.2,2.9,3.0, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon5H', XB=4.3,4.4,0.3,2.1,3.0,3.0, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon5H', XB=4.3,5.3,0.2,0.3,3.0,3.0, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon5H', XB=4.3,5.3,2.1,2.2,3.0,3.0, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon5H', XB=5.3,6.3,0.2,0.3,3.0,3.0, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon5H', XB=5.3,6.3,2.1,2.2,3.0,3.0, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon5H', XB=6.2,6.3,0.3,2.1,3.0,3.0, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon6V', XB=4.4,5.3,0.3,0.3,3.0,3.1, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon6V', XB=4.4,5.3,2.1,2.1,3.0,3.1, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon6V', XB=4.4,4.4,0.3,2.1,3.0,3.1, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon6V', XB=5.3,6.2,0.3,0.3,3.0,3.1, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon6V', XB=5.3,6.2,2.1,2.1,3.0,3.1, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon6V', XB=6.2,6.2,0.3,2.1,3.0,3.1, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon6H', XB=4.4,4.5,0.4,2.0,3.1,3.1, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon6H', XB=4.4,5.3,0.3,0.4,3.1,3.1, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon6H', XB=4.4,5.3,2.0,2.1,3.1,3.1, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon6H', XB=5.3,6.2,0.3,0.4,3.1,3.1, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon6H', XB=5.3,6.2,2.0,2.1,3.1,3.1, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon6H', XB=6.1,6.2,0.4,2.0,3.1,3.1, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon_komin', XB=4.8,5.3,0.7,0.7,3.4,4.4, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon_komin', XB=4.8,5.3,1.7,1.7,3.4,4.4, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon_komin', XB=4.8,4.8,0.7,1.7,3.4,4.4, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon_komin', XB=5.3,5.8,0.7,0.7,3.4,4.4, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon_komin', XB=5.3,5.8,1.7,1.7,3.4,4.4, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon_komin', XB=5.8,5.8,0.7,1.7,3.4,4.4, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon7V', XB=4.5,5.3,0.4,0.4,3.1,3.2, SURF_ID='PLECH'/
 &OBST ID='Zvon7V', XB=4.5,5.3,2.0,2.0,3.1,3.2, SURF_ID='PLECH'/

&OBST ID='Zvon7V', XB=4.5,4.5,0.4,2.0,3.1,3.2, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon7V', XB=5.3,6.1,0.4,0.4,3.1,3.2, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon7V', XB=5.3,6.1,2.0,2.0,3.1,3.2, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon7V', XB=6.1,6.1,0.4,2.0,3.1,3.2, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon7H', XB=4.5,4.6,0.5,1.9,3.2,3.2, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon7H', XB=4.5,5.3,0.4,0.5,3.2,3.2, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon7H', XB=4.5,5.3,1.9,2.0,3.2,3.2, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon7H', XB=5.3,6.1,0.4,0.5,3.2,3.2, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon7H', XB=5.3,6.1,1.9,2.0,3.2,3.2, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon7H', XB=6.0,6.1,0.5,1.9,3.2,3.2, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon8V', XB=4.6,5.3,0.5,0.5,3.2,3.3, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon8V', XB=4.6,5.3,1.9,1.9,3.2,3.3, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon8V', XB=4.6,4.6,0.5,1.9,3.2,3.3, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon8V', XB=5.3,6.0,0.5,0.5,3.2,3.3, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon8V', XB=5.3,6.0,1.9,1.9,3.2,3.3, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon8V', XB=6.0,6.0,0.5,1.9,3.2,3.3, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon8H', XB=4.6,4.7,0.6,1.8,3.3,3.3, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon8H', XB=4.6,5.3,0.5,0.6,3.3,3.3, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon8H', XB=4.6,5.3,1.8,1.9,3.3,3.3, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon8H', XB=5.3,6.0,0.5,0.6,3.3,3.3, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon8H', XB=5.3,6.0,1.8,1.9,3.3,3.3, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon8H', XB=5.9,6.0,0.6,1.8,3.3,3.3, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon9V', XB=4.7,5.3,0.6,0.6,3.3,3.4, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon9V', XB=4.7,5.3,1.8,1.8,3.3,3.4, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon9V', XB=4.7,4.7,0.6,1.8,3.3,3.4, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon9V', XB=5.3,5.9,0.6,0.6,3.3,3.4, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon9V', XB=5.3,5.9,1.8,1.8,3.3,3.4, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon9V', XB=5.9,5.9,0.6,1.8,3.3,3.4, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon9H', XB=4.7,4.8,0.7,1.7,3.4,3.4, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon9H', XB=4.7,5.3,0.6,0.7,3.4,3.4, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon9H', XB=4.7,5.3,1.7,1.8,3.4,3.4, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon9H', XB=5.3,5.9,0.6,0.7,3.4,3.4, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon9H', XB=5.3,5.9,1.7,1.8,3.4,3.4, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Zvon9H', XB=5.8,5.9,0.7,1.7,3.4,3.4, SURF_ID='PLECH'/
&OBST ID='Obstruction', XB=4.9,4.9,0.2,2.2,0.0,2.8, SURF_ID='CEMENTDESK'/
&OBST ID='Obstruction', XB=4.9,5.9,2.2,2.2,0.0,2.8, SURF_ID='CEMENTDESK'/
&OBST ID='Obstruction', XB=4.9,5.0,1.2,2.2,0.0,0.1, SURF_IDS='Horak','INERT','INERT'/
&OBST ID='Obstruction', XB=4.9,5.1,0.2,2.0,0.4,2.8, SURF_ID='IZOLACE'/
&OBST ID='Obstruction', XB=4.9,5.9,2.0,2.2,0.4,2.8, SURF_ID='IZOLACE'/

&HOLE ID='Hole', XB=4.7,4.9,1.0,1.4,3.9,4.3/

&VENT ID='Ventilator', SURF_ID='Ventilator', XB=3.9,3.9,1.0,1.4,3.9,4.3, COLOR='BLACK'/
&VENT ID='Vent', SURF_ID='BETON', XB=3.8,6.8,2.7,2.7,0.0,1.5/
&VENT ID='Vent01', SURF_ID='BETON', XB=3.8,6.8,-0.3,2.7,0.0,0.0/
&VENT ID='Vent02', SURF_ID='OPEN', XB=3.8,3.8,0.8,1.6,0.0,2.0/
&VENT ID='Vent04', SURF_ID='OPEN', XB=6.8,6.8,-0.3,2.7,0.0,1.5/
&VENT ID='Vent06', SURF_ID='POROBETON', XB=3.8,3.8,-0.3,0.8,0.0,1.5/
&VENT ID='Vent07', SURF_ID='POROBETON', XB=3.8,3.8,1.6,2.7,0.0,1.5/
&VENT ID='Vent08', SURF_ID='OPEN', XB=3.8,3.8,-0.3,2.7,2.5,4.5/
&VENT ID='Vent09', SURF_ID='BETON', XB=3.8,6.8,2.7,2.7,2.5,4.5/
&VENT ID='Vent10', SURF_ID='OPEN', XB=3.8,6.8,-0.3,-0.3,0.0,1.5/
&VENT ID='Vent11', SURF_ID='OPEN', XB=3.8,6.8,-0.3,-0.3,2.5,4.5/
&VENT ID='Vent03', SURF_ID='BETON', XB=3.8,6.8,-0.3,2.7,4.5,4.5/
&VENT ID='Vent05', SURF_ID='OPEN', XB=6.8,6.8,-0.3,2.7,2.5,4.5/
&VENT ID='Vent12', SURF_ID='PLECH', XB=3.8,6.8,-0.3,-0.3,1.5,2.5/
&VENT ID='Vent13', SURF_ID='PLECH', XB=6.8,6.8,-0.3,2.7,1.5,2.5/
&VENT ID='Vent14', SURF_ID='PLECH', XB=3.8,6.8,2.7,2.7,1.5,2.5/
&VENT ID='Vent16', SURF_ID='PLECH', XB=3.8,3.8,-0.3,0.8,1.5,2.0/

&VENT ID='Vent18', SURF_ID='PLECH', XB=3.8,3.8,1.6,2.7,1.5,2.0/
&VENT ID='Vent19', SURF_ID='PLECH', XB=3.8,3.8,-0.3,2.7,2.0,2.5/

&DEVC ID='THCP_01', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.2,0.5,0.9/
&DEVC ID='THCP_02', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.2,0.8,0.9/
&DEVC ID='THCP_03', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.2,1.1,0.9/
&DEVC ID='THCP_04', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.2,1.4,0.9/
&DEVC ID='THCP_05', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.2,1.7,0.9/
&DEVC ID='THCP_06', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.2,0.5,1.4/
&DEVC ID='THCP_07', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.2,0.8,1.4/
&DEVC ID='THCP_08', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.2,1.1,1.4/
&DEVC ID='THCP_09', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.2,1.4,1.4/
&DEVC ID='THCP_10', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.2,1.7,1.4/
&DEVC ID='THCP_11', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.2,0.5,1.9/
&DEVC ID='THCP_12', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.2,0.8,1.9/
&DEVC ID='THCP_13', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.2,1.1,1.9/
&DEVC ID='THCP_14', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.2,1.4,1.9/
&DEVC ID='THCP_15', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.2,1.7,1.9/
&DEVC ID='THCP_16', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.2,0.5,2.4/
&DEVC ID='THCP_17', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.2,0.8,2.4/
&DEVC ID='THCP_18', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.2,1.1,2.4/
&DEVC ID='THCP_19', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.2,1.4,2.4/
&DEVC ID='THCP_20', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.2,1.7,2.4/
&DEVC ID='THCP_21', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.5,1.9,0.9/
&DEVC ID='THCP_22', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.5,1.9,1.4/
&DEVC ID='THCP_23', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.5,1.9,1.9/
&DEVC ID='THCP_24', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.5,1.9,2.4/
&DEVC ID='II01', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.2,0.5,0.9, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II02', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.2,0.8,0.9, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II03', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.2,1.1,0.9, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II04', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.2,1.4,0.9, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II05', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.2,1.7,0.9, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II06', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.2,0.5,1.4, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II07', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.2,0.8,1.4, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II08', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.2,1.1,1.4, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II09', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.2,1.4,1.4, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II10', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.2,1.7,1.4, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II11', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.2,0.5,1.9, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II12', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.2,0.8,1.9, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II13', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.2,1.1,1.9, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II14', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.2,1.4,1.9, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II15', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.2,1.7,1.9, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II16', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.2,0.5,2.4, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II17', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.2,0.8,2.4, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II18', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.2,1.1,2.4, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II19', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.2,1.4,2.4, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II20', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.2,1.7,2.4, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II21', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.5,1.9,0.9, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II22', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.5,1.9,1.4, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II23', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.5,1.9,1.9, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='II24', QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', XYZ=5.5,1.9,2.4, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='WALL01', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,0.5,0.9, IOR=1/
&DEVC ID='WALL02', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,0.8,0.9, IOR=1/
&DEVC ID='WALL03', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,1.1,0.9, IOR=1/
&DEVC ID='WALL04', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,1.4,0.9, IOR=1/
&DEVC ID='WALL05', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,1.7,0.9, IOR=1/
&DEVC ID='WALL06', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,0.5,1.4, IOR=1/
&DEVC ID='WALL07', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,0.8,1.4, IOR=1/

&DEVC ID='WALL08', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,1.1,1.4, IOR=1/
&DEVC ID='WALL09', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,1.4,1.4, IOR=1/
&DEVC ID='WALL10', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,1.7,1.4, IOR=1/
&DEVC ID='WALL11', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,0.5,1.9, IOR=1/
&DEVC ID='WALL12', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,0.8,1.9, IOR=1/
&DEVC ID='WALL13', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,1.1,1.9, IOR=1/
&DEVC ID='WALL14', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,1.4,1.9, IOR=1/
&DEVC ID='WALL15', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,1.7,1.9, IOR=1/
&DEVC ID='WALL16', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,0.5,2.4, IOR=1/
&DEVC ID='WALL17', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,0.8,2.4, IOR=1/
&DEVC ID='WALL18', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,1.1,2.4, IOR=1/
&DEVC ID='WALL19', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,1.4,2.4, IOR=1/
&DEVC ID='WALL20', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.1,1.7,2.4, IOR=1/
&DEVC ID='WALL21', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.5,2.0,0.9, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL22', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.5,2.0,1.4, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL23', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.5,2.0,1.9, IOR=-2/
&DEVC ID='WALL24', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=5.5,2.0,2.4, IOR=-2/
&DEVC ID='RAD01', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,0.5,0.9, IOR=1/
&DEVC ID='RAD02', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,0.8,0.9, IOR=1/
&DEVC ID='RAD03', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,1.1,0.9, IOR=1/
&DEVC ID='RAD04', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,1.4,0.9, IOR=1/
&DEVC ID='RAD05', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,1.7,0.9, IOR=1/
&DEVC ID='RAD06', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,0.5,1.4, IOR=1/
&DEVC ID='RAD07', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,0.8,1.4, IOR=1/
&DEVC ID='RAD08', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,1.1,1.4, IOR=1/
&DEVC ID='RAD09', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,1.4,1.4, IOR=1/
&DEVC ID='RAD10', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,1.7,1.4, IOR=1/
&DEVC ID='RAD11', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,0.5,1.9, IOR=1/
&DEVC ID='RAD12', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,0.8,1.9, IOR=1/
&DEVC ID='RAD13', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,1.1,1.9, IOR=1/
&DEVC ID='RAD14', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,1.4,1.9, IOR=1/
&DEVC ID='RAD15', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,1.7,1.9, IOR=1/
&DEVC ID='RAD16', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,0.5,2.4, IOR=1/
&DEVC ID='RAD17', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,0.8,2.4, IOR=1/
&DEVC ID='RAD18', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,1.1,2.4, IOR=1/
&DEVC ID='RAD19', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,1.4,2.4, IOR=1/
&DEVC ID='RAD20', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.1,1.7,2.4, IOR=1/
&DEVC ID='RAD21', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.5,2.0,0.9, IOR=-2/
&DEVC ID='RAD22', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.5,2.0,1.4, IOR=-2/
&DEVC ID='RAD23', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.5,2.0,1.9, IOR=-2/
&DEVC ID='RAD24', QUANTITY='RADIOMETER', XYZ=5.5,2.0,2.4, IOR=-2/

&BNDF QUANTITY='GAUGE HEAT FLUX'/
&BNDF QUANTITY='GAUGE HEAT FLUX GAS'/
&BNDF QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX'/
&BNDF QUANTITY='RADIOMETER'/
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE=300.0,400.0,500.0,600.0,700.0,350.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='X = 5,5 m: Temperature', PBX=5.5/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='X = 5,1 m: Temperature', PBX=5.1/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='Z = 0,4 m: Temperature', PBZ=0.4/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='Z = 0,9 m: Temperature', PBZ=0.9/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='Z = 1,4 m: Temperature', PBZ=1.4/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='Z = 1,9 m: Temperature', PBZ=1.9/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='Z = 2,4 m: Temperature', PBZ=2.4/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='X = 6,8 m: Temperature', PBX=6.8/

&SLCF QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', VECTOR=.TRUE., ID='X = 5,1 m: Integrated Intensity',
PBX=5.1/

&SLCF QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY', VECTOR=.TRUE., ID='X = 6,8 m: Integrated Intensity',
PBX=6.8/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='Y = 0,8 m: Temperature', PBY=0.8/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='Y = 0,5 m: Temperature', PBY=0.5/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='Y = 1,1 m: Temperature', PBY=1.1/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='Y = 1,4 m: Temperature', PBY=1.4/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., ID='Y = 1,7 m: Temperature', PBY=1.7/

&TAIL /