



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE
POŽÁRNÍ OTEVŘENOST FASÁD
RADIATION LIMITS OF FACADES IN FIRE

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Integrální bezpečnost staveb

Katedra: Katedra konstrukcí pozemních staveb

Vypracoval: Bc. Ondřej Hrdina

Datum: Leden 2021

Vedoucí práce: Ing. arch. Bc. Petr Hejtmánek, Ph.D.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Hrdina</u>	Jméno: <u>Ondřej</u>	Osobní číslo: <u>458865</u>
Zadávací katedra: <u>K124 - Konstrukce pozemních staveb</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Integrální bezpečnost staveb</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:	<u>Požární otevřenost fasád</u>	
Název diplomové práce anglicky:	<u>Radiation Limits of Facades in Fire</u>	
Pokyny pro vypracování:	<ul style="list-style-type: none">- literární rešerše podstaty šíření požáru radiací a určování reakce fasády na oheň v ČR;- zahraniční alternativy stanovování reakce fasád na oheň;- návrh, příprava, organizace a vyhodnocení fyzikálního modelu;- vypracování matematického modelu a jeho validace na základě provedených zkoušek;- návrh metodiky pro určování požární otevřenosti středněrozměrovou požární zkouškou.	
Seznam doporučené literatury:	<ul style="list-style-type: none">- zahraniční odborné články,- normy řady ČSN,- REICHEL, Vladimír. Zabraňujeme škodám, navrhování požární bezpečnosti staveb díl II. B.m.: Česká státní pojišťovna. Praha 1979;- MÓDER, István, Ádám VARGA, Péter GEIER, Bálint VÁGÓ a Edit RAJNA. Brief summary of the Hungarian test method (MSZ 14800-6:2009) of fire propagation on building façades [online]. B.m.: EDP Sciences. 2016. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/301902132_Brief_summary_of_the_Hungarian_test_method_MSZ_14800-62009_of_fire_propagation_on_building_facades- ÖSTMAN, Birgit a Lazaros TSANTARIDIS. Fire performance of multi-storey wooden facades [online]. B.m.: EDP Sciences. 2013. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/The-model-of-the-SP-Fire-105-facade-fire-test_fig1_301902386.	
Jméno vedoucího diplomové práce:	<u>Petr Hejtmánek</u>	
Datum zadání diplomové práce:	<u>29.9.2020</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>3.1.2020</u>
		<i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
_____	_____	_____
Podpis vedoucího práce		Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

_____	_____
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Ondřej Hrdina

Název diplomové práce: Požární otevřenost fasád

Základní část: _____ podíl: 100 %

Formulace úkolů:

- literární rešerše podstaty šíření požáru radiací a určování reakce fasády na oheň v ČR;
- zahraniční alternativy stanovování reakce fasád na oheň;
- návrh, příprava, organizace a vyhodnocení fyzikálního modelu;
- vypracování matematického modelu a jeho validace na základě provedených zkoušek;
- návrh metodiky pro určování požární otevřenosti středněrozměrovou požární zkouškou.

Podpis vedoucího DP: Datum:

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

2. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta: Datum:

3. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta: Datum:

4. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta: Datum:

Poznámka:

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



OBSAH

PROHLÁŠENÍ	III
PODĚKOVÁNÍ	IV
ABSTRAKT	V
ABSTRACT	VI
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	VII
1 ÚVOD	1
1.1 MOTIVACE	1
1.2 STANOVENÍ VÝZKUMNÉ OTÁZKY	2
1.3 CÍLE PRÁCE	2
2 ZÁKLADNÍ POJMY K PROBLEMATICE	3
2.1 MNOŽSTVÍ UVOLNĚNÉHO TEPLA	3
2.2 HUSTOTA TEPELNÉHO TOKU	3
2.3 RYCHLOST UVOLŇOVÁNÍ TEPLA HRR (HEAT RELEASE RATE)	4
2.4 INDEX ROZVOJE HOŘENÍ FIGRA	4
2.5 CELKOVÉ UVOLNĚNÉ TEPLA THR	5
2.6 SPALNÉ TEPLA (Q_{PCS})	6
2.7 VÝHŘEVNOST (Q_{PCI})	6
2.8 EFEKTIVNÍ VÝHŘEVNOST (ΔH_{EFF})	6
2.9 TŘÍDA REAKCE NA OHEŇ	6
2.10 INDEX ŠÍŘENÍ PLAMENE PO POVRCHU	8
2.11 DRUH KONSTRUKCE Z POŽÁRNÍHO HLEDISKA	8
3 POŽÁRNÍ OTEVŘENOST	10
3.1 PŘÍKLAD STANOVENÍ POŽÁRNÍ OTEVŘENOSTI	11
3.1.1 Stanovení pomocí hustoty tepelného toku na líci obvodové stěny	11
3.1.2 Stanovení pomocí množství uvolněného tepla	12
3.1.3 Shrnutí	12
3.2 POŽÁRNÍ OTEVŘENOST V MINULOSTI	13
4 POROVNÁNÍ POŽÁRNÍCH ZKOUŠEK V RÁMCI EVROPY	15
4.1 VELKÁ BRITÁNIE, IRSKO	15
4.2 NĚMECKO	16
4.3 ŠVÝCARSKO, RAKOUSKO	17
4.4 FRANCIE	18
4.5 MAĎARSKO	20
4.6 ŠVÉDSKO, NORSKO, DÁNSKO	21
4.7 POŽÁRNÍ ZKOUŠKY V ČESKÉ REPUBLICE	22
4.7.1 ČSN ISO 13785-1 [3]	22
4.7.2 ISO 13785-2 [4]	23
4.8 SHRNUÍ	24
5 NÁVRH ZKOUŠKY POŽÁRNÍ OTEVŘENOSTI	25
5.1 ZKUŠEBNÍ VZOREK	25



5.1.1	Měřicí zařízení – termočlánky	27
5.1.2	Měřicí zařízení – přístroje pro tepelný tok	27
5.1.3	Měřicí zařízení – zaznamenávání údajů	27
5.2	ZDROJ POŽÁRU	28
5.3	STANOVENÍ KRITÉRIÍ POŽÁRNÍ OTEVŘENOSTI	28
5.4	POSTUP ZKOUŠKY	31
5.5	VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY	32
6	MATEMATICKÉ MODELY	33
6.1	POPIS MODELOVÉHO PROSTORU	33
6.1.1	Geometrie zkušebního prostoru	34
6.1.2	Měřicí zařízení	34
6.1.3	Výkon hořáku	35
6.2	MODEL 1 - SCÉNÁŘ PRO VÝPOČET VÝKONU HOŘÁKU	35
6.2.1	Výsledky měření výkonu hořáku	37
6.3	MODEL 2 - SCÉNÁŘ PRO VÝPOČET VLIVU HOŘÁKU NA MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ	38
6.3.1	Výsledky měření ovlivu hořáku na měřicí zařízení	39
6.4	MODEL 3 - SCÉNÁŘ PRO OVĚŘENÍ HYPOTÉZY POŽÁRNÍ OTEVŘENOSTI	40
6.4.1	Výsledky simulace požární zkoušky	42
7	OVĚŘOVACÍ ZKOUŠKY STŘEDNÍHO ROZMĚRU	43
7.1	GEOMETRIE POŽÁRNÍCH ZKOUŠEK	43
7.1.1	Zkušební rám:	43
7.1.2	Zkušební těleso:	44
7.1.3	Ventilační podmínky:	44
7.1.4	Měřicí zařízení	44
7.1.5	Zdroj požáru:	45
7.2	KOREKCE MATEMATICKÝCH MODELŮ	46
7.3	POŽÁRNÍ ZKOUŠKA PRO OVĚŘENÍ VLIVU HOŘÁKU NA MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ	46
7.3.1	Výsledky požární zkoušky	48
7.3.2	Fotodokumentace požární zkoušky	50
7.4	POŽÁRNÍ ZKOUŠKA PRO OVĚŘENÍ HYPOTÉZY POŽÁRNÍ OTEVŘENOSTI	51
7.4.1	Výsledky požární zkoušky	53
7.4.2	Fotodokumentace požární zkoušky	54
8	VYHODNOCENÍ A SHRUTÍ PROBLEMATIKY	56
8.1	ZHODNOCENÍ MATEMATICKÝCH MODELŮ	56
8.2	ZHODNOCENÍ PROVEDENÝCH POŽÁRNÍCH ZKOUŠEK	57
9	ZÁVĚR	58
	ZDROJOVÝ KÓD ZE SOFTWARE FDS PRO MODEL 1	60
	ZDROJOVÝ KÓD ZE SOFTWARE FDS PRO MODEL 2	63
	ZDROJOVÝ KÓD ZE SOFTWARE FDS PRO MODEL 3	66
	SEZNAM OBRÁZKŮ	70
	SEZNAM TABULEK	72
	LITERATURA	73



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. arch. Petra Hejtmánka, Ph.D. a všechny použité prameny a literatura jsou uvedeny v seznamu citované literatury.

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

V Praze dne

.....

Ondřej Hrdina

.....



Poděkování

Chtěl bych poděkovat celé své rodině za podporu a poskytnutí skvělých podmínek při studiu. Dále bych chtěl poděkovat Bc. Dominikovi Dvořákovi a Bc. Zbyňkovi Tučkovi za cenné rady a pomoc s realizací požárních zkoušek.

Zvláštní poděkování patří Ing. arch. Petru Hejtmánkovi, Ph.D. za skvělý přístup, za odborné vedení mé diplomové práce a za trpělivost. Chtěl bych poděkovat i za předané znalosti a zkušenosti z profesního oboru a jeho pomoc s realizací požárních zkoušek.



Abstrakt

Práce pojednává o problematice určení požární otevřenosti fasád ve vztahu s požárními zkouškami fasádních systémů, normovými postupy a inženýrským přístupem. Prvními kapitolami jsou úvod a motivace, kde je stručný přehled nynějších poznatků k řešenému tématu a další možný postup, jak by se k problému dalo přistupovat. V následujících kapitolách je shrnutí základních pojmů, které se dané problematice týkají a které jsou následně použity v možných řešeních. Pro širší okruh poznatků ohledně požárních zkoušek fasádních systémů byly přezkoumány zahraniční požární zkoušky se zaměřením na požární otevřenost a následně shrnuty v další kapitole. Pro možnost stanovit požární otevřenost při požární zkoušce se další kapitola zabývala modifikací tuzemské středněrozměrové požární zkoušky, tak aby bylo mimo jiné i stanoveno typ požární otevřenosti zkoušeného vzorku. V neposlední řadě jsou popsány matematické modely, které měly sloužit k předběžnému určení měřených hodnot. Pro ověření matematických modelů byly realizovány požární zkoušky středního rozměru, které jsou popsány a vyhodnoceny v následující kapitole. Závěrem byla shrnuta problematika řešené požární otevřenosti s ohledem na výsledky z matematických modelů a požárních zkoušek s popisem dalšího možného řešení.

Klíčová slova

Požární otevřenost; odstupové vzdálenost; požárně nebezpečný prostor; tepelný tok; fasáda; sálání; požární zkouška; provětrané fasády



Abstract

The work discusses the issue of determining the protected and unprotected areas of facades in relation to fire tests of facade systems, standard procedures and an engineering approach. The first chapters are introduction and motivation, where there is a brief overview of the current knowledge on the subject addressed and another possible course of action on how the problem could be approached. In the following chapters is a summary of the basic concepts relevant to the issue, which are then used in possible solutions. Foreign fire tests focusing on protected and unprotected areas were reviewed for a wider range of knowledge regarding the fire testing of the facade system and then summarized in the next chapter. For the possibility of establishing protected and unprotected areas in a fire test, the next chapter looked at modifying the domestic medium-dimensional fire test, to establish, among other things, the type of protected or unprotected areas of the test sample. Last but not least, the mathematical models are described, which were to be used for the preliminary determination of measured values. For the verification of mathematical models, mid-size fire tests have been carried out and they are described and evaluated in the following chapter. Finally, the issue of addressed protected and unprotected area were summarised in the light of results from mathematical models and fire tests with a description of another possible solution.

Keywords

Protected area; unprotected area; fire separation distances; fire unprotected area; heat flux; façade; radiation; fire test; air façade



Seznam použitých symbolů a zkratek

Latinské symboly

A	Plocha	m^2
c	Měrná tepelná kapacita	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Q	Celkové uvolněné teplo z m^2 fasády	$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$
M	Plošná hmotnost	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$
d_i	Tloušťka i -té vrstvy	m
H	Výhřevnost materiálu	$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$
I	Hustota tepelného toku	$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$
I_0	Hustota tepelného toku ozařované plochy	$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$
T_N	Teplota hořících plynů	$^{\circ}\text{C}$
T_0	Okolní teplota	$^{\circ}\text{C}$
$HRR_{av}(t)$	Střední hodnota rychlosti uvolňování tepla	kW
THR	Celkové uvolněné teplo z výrobku	MJ
$HRR(t)$	Rychlost uvolňování tepla v časovém kroku	kW
Δt	Zvolený časový krok	s
p_v	Výpočtové požární zatížení	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$
t	Čas od začátku požární zkoušky	min
HRR_{PUA}	Hořící plocha v softwaru FDS	$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$

Řecké symboly

λ	Součinitel tepelné vodivosti	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
ρ	Objemová hmotnost	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
τ_e	Ekvivalentní doba trvání požáru	min
σ	Stefan-Boltzmannova konstanta	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$
ε	Emisivita	-
\emptyset	Polohový faktor	-

**Zkratky**

ČSN	Česká technická norma
EN	European standard – Evropská norma
ISO	International organization for standardization – Mezinárodní organizace pro standardizaci
HRR	Heat release rate – Rychlost uvolňování tepla
THR	Total heat release – Celkové uvolněné teplo
FIGRA	Fire growth rate – Index rychlosti rozvoje hoření
PUP	Požárně uzavřená plocha
ČPOP	Částečně požárně otevřená plocha
POP	Požárně otevřená plocha
CFD	Computational Fluid Dynamics
FDS	Fire Dynamics Simulator (software)
UCEEB	Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT v Praze



1 Úvod

1.1 Motivace

V současné době při projektování objektů z hlediska požární bezpečnosti je důležitou složkou stanovení odstupových, popř. bezpečnostních vzdáleností a vymezení požárně nebezpečného prostoru, jeho zhodnocení a posouzení vzhledem k okolní zástavbě. Hlavní smysl spočívá v zamezení šíření požáru na okolní budovy, volné sklady a pozemky ve vlastnictvích jiných majitelů.

Základním kamenem pro stanovení odstupových vzdáleností je určení požární otevřenosti konstrukcí, popř. jejich částí. V současném znění českých technických norem jsou definovány tři druhy požární otevřenosti, podle kterých se v závislosti na typu stanovují odstupové vzdálenosti. Požární otevřenost se při projektování zjednodušeně řeší vzhledem k hustotě tepelného toku na líci konstrukce, příp. její části a v závislosti na typu konstrukce také podle množství uvolněného tepla, jež je zmíněno v ČSN 73 0802 [1] a ČSN 73 0804 [2], kde nám stanoví zda se jedná o požárně uzavřenou plochu, částečně nebo zcela požárně otevřenou plochu.

Normativní postupy stanovení požární otevřenosti jsou nejběžnější a bez jakýchkoliv dalších důkazů nám přesně definují typ požární otevřenosti, ale jako v každém normativním dokumentu je výpočet na straně bezpečnosti, což svým způsobem může omezit volný trh s použitými materiály na obvodové konstrukce, ale především s použitými materiály na jejich částech jako jsou například fasády. Pro stanovení přesnějších hodnot určujících požární otevřenost lze využít požární zkoušky. V České republice jsou dva základní normativní dokumenty, které popisují zkušební metodiku fasád celkově, a to středněrozměrová zkouška podle ČSN ISO 13785-1 [3] a velkorozměrová zkouška podle ISO 13785-2 [4], která sice není v České republice harmonizovaná, ale najdeme o ní zmínku v ČSN 73 0810 [5], kde je popsáno, že normu lze využít k ověření alternativního řešení fasády. Tuzemské požární zkoušky fasád ale bohužel neřeší požární otevřenost. Zkoušené fasádní systémy lze tedy zařadit do požární otevřenosti pouze podle normativních výpočtů v projekčních normách i přesto, že absolvují reálnou požární zkoušku.



1.2 Stanovení výzkumné otázky

Ve zkušebních normách pro fasádní systémy, které se používají v České republice, není přesně definováno, jak ověřit, zda je zkoušená fasáda např. požárně uzavřená plocha či nikoliv. Požární otevřenost v současné době lze ověřit pouze pomocí konzervativních výpočtů uvedených v projekčních kmenových normách požárního kodexu.

Otázkou bude stanovení požární otevřenosti fasádních systémů pomocí sálavého tepelného toku, který bude uvolněný během požáru. Pro zhodnocení bude důležité stanovit kritéria, která budou určovat jednotlivé hranice požární otevřenosti. K výpočtu bude využito všeobecných poznatků k dané problematice a validačního experimentu.

1.3 Cíle práce

Hlavní cíle práce jsou:

- 1) Porovnání zkušebních metod pro fasády v rámci Evropy včetně zkoumaných vlastností
- 2) Stanovení kritérií, které budou určovat jednotlivé hranice požární otevřenosti
- 3) Návrh na doplnění zkušební metodiky pro fasádní systémy
- 4) Predikce naměřených hodnot pomocí matematických modelů
- 5) Ověření matematických modelů pomocí požárních zkoušek středního rozměru



2 Základní pojmy k problematice

2.1 Množství uvolněného tepla

K určení požární otevřenosti lze v českých technických normách využít princip uvolněného tepla z 1 m² plochy, kde jsou obsažené hořlavé výrobky v závislosti na druhu konstrukce, tedy lze využít pouze pro konstrukce druhu DP1 a DP2. Jde však o hodnotu teoretickou, protože nebudou hořet všechny hořlavé výrobky ve skladbě ve stejný okamžik, tzn. zanedbává vliv odhořívání a tepelné uvolňování v čase viz rovnice (1).

$$Q = \sum_{i=1}^j M_i \cdot H_i = \sum_{i=1}^j \rho_i \cdot d_i \cdot H_i \quad (1)$$

Kde:	Q	celkové uvolněné teplo z m ² fasády [MJ·m ⁻²]
	M_i	plošná hmotnost i-té vrstvy [kg·m ⁻²]
	ρ_i	objemová hmotnost i-té vrstvy [kg·m ⁻³]
	d_i	tloušťka i-té vrstvy [m]
	H_i	výhřevnost materiálu použitého v i-té vrstvě [MJ·m ⁻²]

2.2 Hustota tepelného toku

Přesnější výpočet pro požární otevřenost fasád se stanoví pomocí Stefan-Boltzmanova zákona. Sálavý tepelný tok se spočítá z rovnice (2), která stanoví tepelný tok podle nejvyšší naměřené teploty na neohřívané straně.

$$I = \sigma \cdot \varepsilon \cdot \varnothing \cdot [(T_N + 273)^4 - (T_0 + 273)^4] \quad (2)$$

Kde:	I	hustota tepelného toku [kW·m ⁻²]
	σ	Stefan-Boltzmannova konstanta [W·m ⁻² ·K ⁻⁴], $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-11}$
	ε	emisivita [-], pro požár se uvažuje $\varepsilon = 1$
	\varnothing	polohový faktor [-]
	T_N	teplota hořících plynů [°C]



T_0 počáteční teplota [°C]

Při požáru je rozdíl mezi počáteční teplotou a teplotou hořících plynů ve stovkách °C a čtvrtá mocnina tento rozdíl navíc mnohokrát zvětšuje, proto bývá počáteční teplota zanedbávána a rovnice (3) je používána v poupravené verzi:

$$I = \sigma \cdot \varepsilon \cdot \varnothing \cdot (T_N + 273)^4 \quad (3)$$

Kde:

- I hustota tepelného toku [kW·m⁻²]
- σ Stefan-Boltzmannova konstanta [W·m⁻²·K⁻⁴], $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-11}$
- ε emisivita [-], pro požár se uvažuje $\varepsilon = 1$
- \varnothing polohový faktor [-]
- T_N teplota hořících plynů [°C], nejvyšší naměřená teplota

2.3 Rychlost uvolňování tepla HRR (Heat release rate)

Rychlost uvolňování tepla (dále v textu HRR nebo také v literatuře používané RHR – Rate of heat release) je veličina zkoumaná u některých zkoušek, kde se zjišťuje, jaké teplo je v daný okamžik uvolněné během spalování vzorku. Parametr se zjišťuje u zkoušek dle ISO 5660-1 [6], ČSN EN 13823+A1 [7] a ČSN EN 14390 [8], které jsou založeny na principu využívání kyslíkové kalorimetrie a HRR je počítáno z koncentrace kyslíku ve zplodinách hoření. Na základě pokusů bylo totiž zjištěno, že bez ohledu na spalovaný materiál se při spotřebě jednoho kilogramu kyslíku uvolní přibližně 13,1 MJ tepla s maximální odchylkou zhruba 5 % [9]. Tato hodnota je brána jako konstanta a následně se porovná koncentrace kyslíku ve zplodinách s množstvím vzduchu, které bylo použito při spalování.

2.4 Index rozvoje hoření FIGRA

Index rozvoje hoření (Fire growth rate) je jedna z hodnot, podle které lze zatřídit výrobek do třídy reakce na oheň. Vyjadřuje rychlost nárůstu uvolněného tepla z hořícího výrobku při požární zkoušce a zjednodušeně určuje, jak rychle se zvyšuje intenzita ohně. Index rozvoje hoření je definován v rovnici (4) viz níže.



$$FIGRA = 1000 \cdot \max \left(\frac{HRR_{av}(t)}{t - 300} \right) \quad (4)$$

Kde: $FIGRA$ index rychlosti rozvoje požáru [$W \cdot s^{-1}$]
 $HRR_{av}(t)$ střední hodnota rychlosti uvolňování tepla [kW]

2.5 Celkové uvolněné teplo THR

Celkové uvolněné teplo (Total heat release) je další z veličin, které zařídí výrobek do třídy reakce na oheň. Jedná se o celkové teplo, které výrobek uvolní během sledovaného časového úseku, kde se může jednat například o dobu trvání požární zkoušky. Zjednodušené vyjádření je definováno rovnicí (5), která sčítá jednotlivé HRR v jednotlivých časových úsecích. Celkové uvolněné teplo THR nebo index rozvoje hoření FIGRA viz kapitola 2.4 lze využít pro zařídění výrobků do třídy reakce na oheň podle kritérií uvedených v Tab. 1.

$$THR = \frac{1}{1000} \cdot \sum HRR(t) \cdot \Delta t \quad (5)$$

Kde: THR celkové uvolněné teplo z výrobku [MJ]
 $HRR(t)$ rychlost uvolňování tepla v časovém kroku [kW]
 Δt zvolený časový krok [s]

Tab. 1: Kritéria FIGRA a THR pro klasifikaci výrobku do třídy reakce na oheň dle ČSN EN 13823

	TŘÍDA REAKCE NA OHEŇ						
	A1	A2 ²⁾	B ²⁾	C	D	E	F
FIGRA [$W \cdot s^{-1}$]	¹⁾	< 120	< 120	120-250	250-750	> 750	
THR [MJ]	¹⁾	< 7,5	< 7,5	7,5-15,0	> 15,0	> 15,0	

Pozn.: 1) SBI test (ČSN EN 13823 + A1 [7]) nelze použít pro zařídění do této klasifikace

2) Kritérium THR pro třídy reakce na oheň A2 a B je v SBI testu totožné. Rozdíl mezi těmito třídami lze určit pomocí zkoušky v ISO peci (ČSN EN ISO 1182 [10]), tedy podle vzrůstu teploty, úbytku hmotnosti či doby trvalého plamenného hoření



2.6 Spalné teplo (Q_{PCS})

Spalné teplo charakterizuje, jakou hodnotu tepla [$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$] dokáže uvolnit jednotkové množství paliva při dokonalém spalování. Předpoklad spalného tepla je, že voda, která se uvolní při spalování z výrobku po dokončení procesu opět zkondenzuje a není třeba hodnotu tepla redukovat o skupenské teplo. Toto je zásadní rozdíl oproti výhřevnosti, kde se hodnota tepla redukuje o skupenské teplo předané k odpaření vody a spalné teplo tak bývá vždy větší nebo rovno hodnotě výhřevnosti. Rovnost nastává, pokud při spalování není v palivu obsažená voda.

2.7 Výhřevnost (Q_{PCI})

Výhřevnost látky je hodnota tepla [$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$], kterou dokáže uvolnit jednotkové množství paliva při dokonalém spalování. Jedná se tedy o charakteristiku velmi podobnou spalnému teplu s tím rozdílem, že výhřevnost počítá s odpařením vody obsažené v hořlavé látce. Hodnota výhřevnosti je tedy menší než spalné teplo z důvodu odevzdání energie vodě, která zůstane v plynném skupenství.

2.8 Efektivní výhřevnost (ΔH_{eff})

Efektivní výhřevnost je hodnota tepla [$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$], kterou dokáže uvolnit jednotkové množství paliva při nedokonalém spalování, tzn. při spalování vznikají sekundární produkty jako např. uhlíkaté zbytky, saze, CO atd. Nedokonalé spalování je při hoření zapříčiněno nedostatkem oxidačního činidla.

2.9 Třída reakce na oheň

V České republice známe 7 klasifikačních tříd reakce na oheň pro stavební výrobky. Klasifikaci určuje norma ČSN EN 13501-1 [11] a roztrídí výrobky s ohledem na přispívání k flashover efektu podle hořlavosti. Základní dělení je vyobrazeno v Tab. 2 viz níže. Klasifikace do jednotlivých tříd závisí na výsledcích požárních zkoušek podle převzatých evropských norem:

- ČSN EN ISO 1182 (ISO pec) [10]
- ČSN EN ISO 1716 (zkouška v bombovém kalorimetru) [12]
- ČSN EN 13823 + A1 (Single burning item test, tzn. SBI test) [7]
- ČSN EN ISO 11925-2 (zkouška malým zdrojem plamene) [13]



Tab. 2: Tabulka tříd reakce na oheň s kritérii přijatelnosti dle ČSN EN 13501-1[11]

Nehořlavé výrobky		
Třída	Kritéria přijatelnosti	Požární zkouška
A1	- Spalné teplo PCS $\leq 2,0 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	ČSN EN ISO 1716
	- Vzrůst teploty $\Delta T \leq 30,0 \text{ }^\circ\text{C}$	ČSN EN ISO 1182
	- Úbytek hmotnosti $\Delta m \leq 50,0 \%$	
	- Doba trvalého plamenného hoření $t_f = 0 \text{ s}$	
A2	- Spalné teplo PCS $\leq 3,0 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	ČSN EN ISO 1716
	- Vzrůst teploty $\Delta T \leq 50,0 \text{ }^\circ\text{C}$	ČSN EN ISO 1182
	- Úbytek hmotnosti $\Delta m \leq 50,0 \%$	
	- Doba trvalého plamenného hoření $t_f \leq 20 \text{ s}$	
Hořlavé výrobky		
Třída	Kritéria přijatelnosti	Požární zkouška
B	- Při 30 s působení plamene na povrch nesmí být zaznamenáno žádné rozšíření plamene přesahující vzdálenost 150 mm ve svislém směru od místa aplikace do 60 s po ukončení působení plamene	ČSN EN ISO 11925-2
	- Žádné boční šíření plamene (LFS) ke hraně zkušebního tělesa	ČSN EN 13823 + A1
	- Index rozvoje hoření FIGRA $\leq 120,0 \text{ W}\cdot\text{s}^{-1}$	
	- Celkové uvolněné teplo $\text{THR}_{600\text{s}} \leq 7,5 \text{ MJ}$	
C	- Při 30 s působení plamene na povrch nesmí být zaznamenáno žádné rozšíření plamene přesahující vzdálenost 150 mm ve svislém směru od místa aplikace do 60 s po ukončení působení plamene	ČSN EN ISO 11925-2
	- Žádné boční šíření plamene (LFS) ke hraně zkušebního tělesa	ČSN EN 13823 + A1
	- Index rozvoje hoření FIGRA $\leq 250,0 \text{ W}\cdot\text{s}^{-1}$	
	- Celkové uvolněné teplo $\text{THR}_{600\text{s}} \leq 15,0 \text{ MJ}$	
D	- Při 30 s působení plamene na povrch nesmí být zaznamenáno žádné rozšíření plamene přesahující vzdálenost 150 mm ve svislém směru od místa aplikace do 60 s po ukončení působení plamene	ČSN EN ISO 11925-2
	- Index rozvoje hoření FIGRA $\leq 750,0 \text{ W}\cdot\text{s}^{-1}$	ČSN EN 13823 + A1
E	- Při 15 s působení plamene na povrch nesmí být zaznamenáno žádné rozšíření plamene přesahující vzdálenost 150 mm ve svislém směru od místa aplikace do 20 s po ukončení působení plamene	ČSN EN ISO 11925-2
F	- Nesplňuje výše uvedená kritéria	-



Pozn.: Klasifikace se nevztahuje na klasifikaci podlahových krytin a tepelně izolačních výrobků potrubí

Třídy reakce na oheň jsou zavedeny z důvodu omezení použití určitých stavebních výrobků v určitých typech stavby. Pro příklad lze uvést, že nelze použít výrobky třídy reakce na oheň B až F u vnější tepelné izolace v lůžkových zařízeních jako např. nemocnice.

2.10 Index šíření plamene po povrchu

Index šíření plamene je veličina, která vyjadřuje schopnost stavebních hmot vznítit se a šířit po svém povrchu plamen. Vyjadřuje se podílem délkové jednotky a času, v němž plamen dosáhne určený bod. Je definován v české technické normě ČSN 73 0863 [14] a při navrhování objektů podle kodexu norem požární bezpečnosti může omezovat použití určitých stavebních výrobků. Omezení se může týkat např. shromažďovacích prostor, prostor s větším výskytem osob s omezenou schopností pohybu nebo neschopných samostatného pohybu a může se týkat i vnějšího zateplení či obvodové stěny ležící v požárně nebezpečném prostoru.

2.11 Druh konstrukce z požárního hlediska

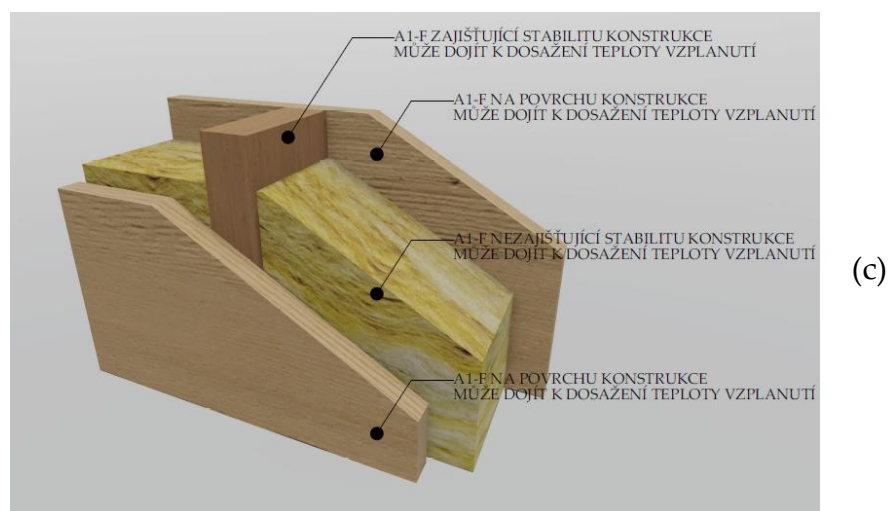
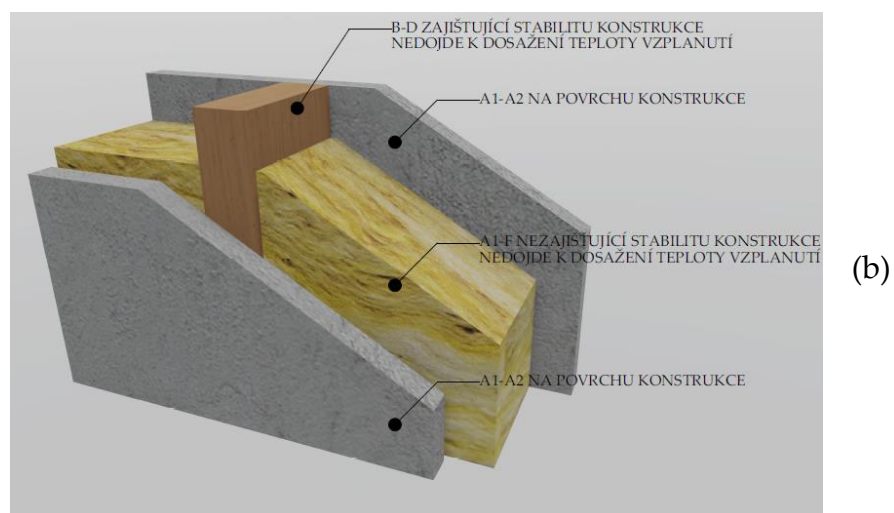
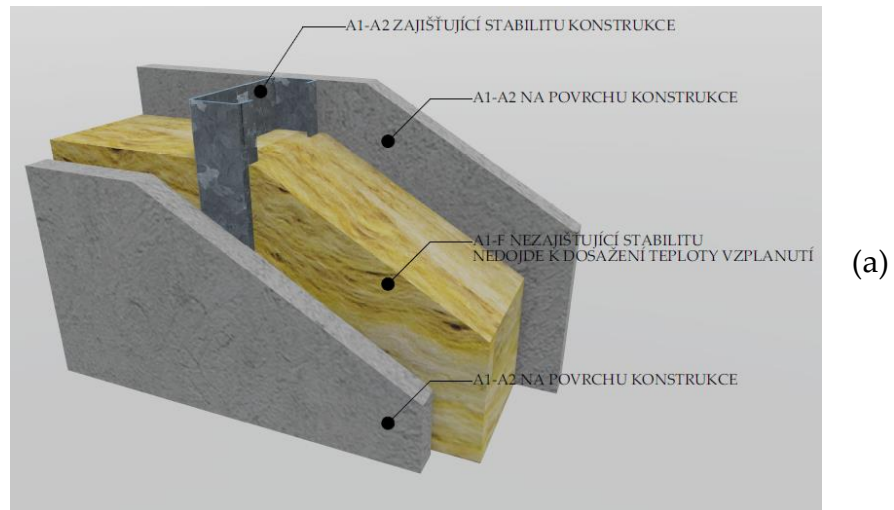
V českých technických normách dělíme konstrukce vzhledem k množství uvolněného tepla, vlivu na stabilitu a únosnosti na konstrukce druhu DP1, DP2 a DP3. Schéma jednotlivých druhů s popisem jsou uvedeny na Obr. 1.

Konstrukce druhu DP1 nezvyšují v požadované požární odolnosti intenzitu požáru, tj. u žádného z použitých materiálů teplota nepřesáhne jejich teplotu vzplanutí a jsou především z nehořlavých výrobků tzn. třídy reakce na oheň A1/A2. Konstrukce však může být tvořena i výrobky hořlavými tzn. třídy reakce na oheň B až F, ale tyto výrobky musí být uvnitř konstrukce a nesmějí se podílet na stabilitě či únosnosti. Výjimku tvoří pouze konstrukce definované v ČSN 73 0810 [5].

Konstrukce druhu DP2 mohou tvořit výrobky hořlavé tzn. B až D, které se podílejí na stabilitě a únosnosti, avšak jsou však umístěny uvnitř konstrukce a během požární odolnosti u nich nebude dosažena teplota vzplanutí. Povrchové výrobky musí mít třídu reakce na oheň A1/A2 tzn. musí být nehořlavé. Celá konstrukce by neměla v požadované době požární odolnosti zvyšovat intenzitu požáru.



Konstrukce druhu DP3 nesplňují požadavky na předchozí druhy a v požadované době požární odolnosti zvyšují intenzitu požáru.



Obr. 1: Druhy konstrukčních částí: (a) DP1; (b) DP2; (c) DP3;



3 Požární otevřenost

Současná tuzemská legislativa rozlišuje tři druhy požární otevřenosti: zcela požárně otevřenou plochu, částečně požárně otevřenou plochu a požárně uzavřenou plochu.

Zcela požárně otevřená plocha je definována:

- Plocha obvodové stěny nebo její části (např. dřevěný obklad), která vykazuje v rovině vnějšího líce obvodové stěny hustotu tepelného toku větší než $60 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$
- Plochy s požární odolností menší než 15 minut
- Konstrukce DP3, u kterých se neprokáže, že jejich další ochranou či úpravou není snížena hustota tepelného toku při hoření pod $60 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$
- Stěny DP1 či DP2, které mají vnější povrch z výrobku třídy reakce na oheň B až D a celkové uvolněné teplo vnějšího povrchu je větší než $350 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ nebo povrch třídy reakce na oheň E či F, který vykazuje uvolněné teplo větší než $150 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$

Částečně požárně otevřená plocha je definována:

- Plocha obvodové stěny nebo její části, která vykazuje hustotu tepelného toku v rozmezí 15 až $60 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$
- Stěny DP1 či DP2, které mají vnější povrch z výrobku třídy reakce na oheň B až D a celkové uvolněné teplo vnějšího povrchu je v rozmezí 150 až $350 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$

Požárně uzavřená plocha je definována:

- Plocha obvodové stěny nebo její části, která vykazuje v rovině vnějšího líce obvodové stěny hustotu tepelného toku menší než $15 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$
- Stěny DP1 či DP2, které mají vnější povrch z výrobku třídy reakce na oheň B až D a celkové uvolněné teplo vnějšího povrchu je menší než $150 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$

Podle zatřídění požární otevřenosti se dále stanovují odstupové vzdálenosti, které jsou závislé na požárním zatížení. Pro zcela požárně otevřené plochy se započítává výpočtové požární zatížení přilehlého požárního úseku, které se může zvýšit dle konstrukčního systému o 5, 10 nebo $15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Částečně požárně otevřené plochy jsou charakterizovány hustotou tepelného toku $60 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, což odpovídá výpočtovému požárnímu zatížení $15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. V kmenových normách ČSN 73 0802 [1] a ČSN 73 0804 [2] je uvedena rovnice, která přepočítá výpočtové požární zatížení, popř. ekvivalentní dobu



trvání požáru na teplotu plynů v hořícím prostoru. Tato teplota se dále použije pro výpočet hustoty tepelného toku, která je uvedena v rovnici (3). Teplota plynů v hořícím prostoru je definována touto rovnicí:

$$T_N = 20 + 345 \log(8 \cdot p_v + 1) \quad (6)$$

$$T_N = 20 + 345 \log(8 \cdot \tau_e + 1) \quad (7)$$

Kde: T_N teplota plynů v hořícím prostoru [°C]
 p_v výpočtové požární zatížení [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$]
 τ_e ekvivalentní doba trvání požáru [min]

Požární otevřenost můžeme stanovit dle kritérií uvedených výše, nicméně jsou to spíše konzervativní výsledky, protože bez požární zkoušky, u které by se hustota tepelného toku měřila, nedefinujeme, jakou přesnou hustotu tepelného toku máme na lící fasády a množství uvolněného tepla zase zanedbává odhořívání materiálu v čase.

3.1 Příklad stanovení požární otevřenosti

Pro demonstraci lze uvést příklad požární otevřenosti konstrukce druhu DP1 s dřevěným obkladem na vnějším povrchu, tedy s vnějším povrchem třídy reakce na oheň D. Konstrukce bude ohraničovat požární úsek ve II. SPB a požadavek na konstrukci bude REW 30 DP1. Bude uvažováno dřevo o objemové hmotnosti $\rho = 600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a rychlosti odhořívání $0,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ dle přílohy G ČSN 73 0802 [1]. Vzhledem k výhřevnosti bude uvažováno dřevo s 15 % vlhkostí, které má normovou výhřevnost $17 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ dle ČSN 73 0824 [15]. Tloušťka dřevěného obkladu bude 40 mm. Součinem objemové hmotnosti s rozměry $1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,04 \text{ m}$ bude hmotnost dřevěného obkladu rovna 24 kg na jednotkovém metru čtverečním. Schéma konstrukce je znázorněno na Obr. 2.

3.1.1 Stanovení pomoci hustoty tepelného toku na lící obvodové stěny

Vzhledem k tomu, že na konstrukci je požadavek požární odolnosti 30 minut, tak lze uvažovat množství odhořelého dřeva za 30 minut celkem $15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, což poukazuje na skutečnost, že neodhoří celá tloušťka obkladu. Pokud se hmotnost na jednotkovém metru čtverečním dosadí do rovnice (7), vyjde z rovnice teplota plynů $668,9 \text{ °C}$. Teplota plynů se dosadí do rovnice (3) a vyjde hustota tepelného toku $44,6 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$. S uvažováním



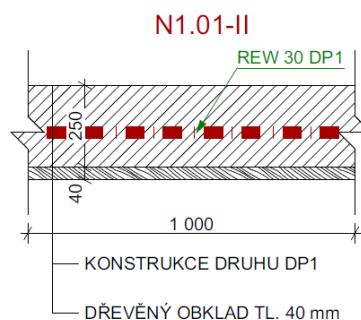
normové teplotní křivky a vlastností uvedených výše se tedy jedná o částečně požárně otevřenou plochu.

3.1.2 Stanovení pomoci množství uvolněného tepla

Pokud se dosadí do rovnice (1) vlastnosti uvedené výše pro celkové uvolněné teplo, vyjde hodnota $Q = 408,0 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$. Tato hodnota je ale konzervativní, neboť při reálném požáru nehoří veškerý hořlavý materiál obsažený ve skladbě v jednom okamžiku a zároveň je hodnota normové výhřevnosti teplo, které vzniklo dokonalým spalováním, k čemuž také při reálném požáru nedojde vzhledem k tvorbě sekundárních činitelů jako např. popel. Podle množství uvolněného tepla se tedy jedná o zcela požárně otevřenou plochu.

3.1.3 Shrnutí

Na demonstrovaném příkladu je patrný rozdíl mezi hustotou tepelného toku a celkovým uvolněným teplem, které uvažuje hoření všech hořlavých materiálů v jednotkovém metru čtverečním. Všechny vlastnosti materiálů, rovnice a kritéria lze nalézt v českých technických normách. Ačkoliv se v obou případech jedná o normový postup, tak je rozdíl patrný a může mít zásadní vliv na stanovení odstupových vzdáleností, které mohou tvořit rozdíl i několik metrů. Tato problematika nemá v tuto chvíli řešení, které by jednoznačně určilo, který z postupů lze uvažovat, neboť oba jsou správné a dostupné v českých technických normách. K jednoznačnému určení typu požární otevřenosti by proto mohla sloužit požární zkouška, která by s přesností určila hustotu tepelného toku na líci fasády a podle kritérií, které jsou již definované by se pak fasáda zatřídila do typu požární otevřenosti. Bohužel žádná dostupná požární zkouška se této problematice v současnosti nevěnuje, z čehož vyplývá, že by se používané zkoušky mohly modifikovat, tak aby se mohly sledovat i zmíněné veličiny.



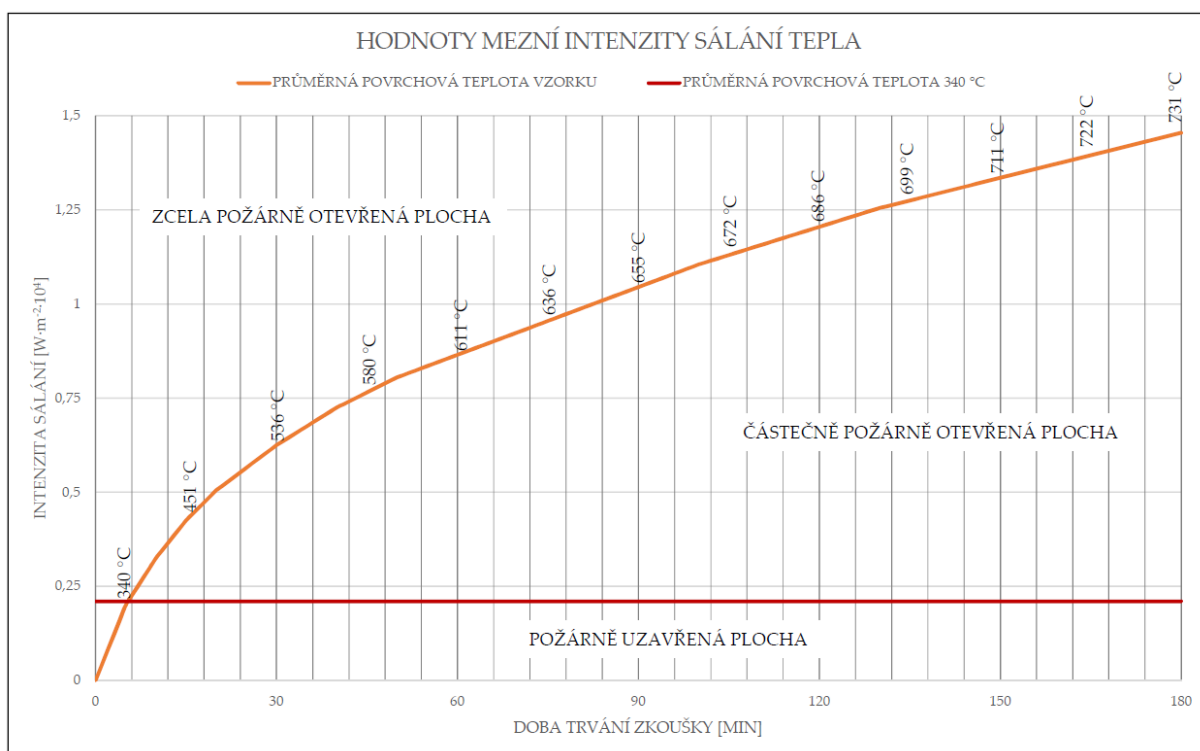
Obr. 2: Schéma řešeného příkladu požární otevřenosti



3.2 Požární otevřenost v minulosti

Požární zkouškou by proto mohla být stanovena i hustota tepelného toku, která by poukazovala na požární otevřenost. Toto řešení bylo donedávna pravdou, kde v české technické normě ČSN 73 0855 [16], bylo měření hustoty tepelného toku nedílnou součástí požární zkoušky. Nicméně norma byla v roce 2004 zrušena a požární otevřenosti se požární zkoušky již nevěnovaly.

Mimo přípravy zkoušky, provedení zkoušky a definování mezních stavů norma ČSN 73 0855 také obsahovala stanovení požární otevřenosti závislé na intenzitě sálání tepla a teplotě povrchu stěny. Jednoduše byl vytvořen diagram, který poukazoval kam jednotlivé zkoušené vzorky zařadit s ohledem na požární otevřenost. Diagram byl přepracován a je uveden na Obr. 3.



Obr. 3: Diagram limitů požární otevřenosti dle ČSN 73 0855 [16]

Diagram definuje v závislosti na teplotě, době trvání zkoušky a intenzitě sálání tepla tři typy požární otevřenosti. Například pokud by povrchová teplota vzorku přesáhla během 5 minut teplotu 340 °C, považoval by se vzorek za zcela požárně otevřenou plochu. Pokud by vzorek nepřesáhl teplotu 340 °C během celé požární zkoušky, tedy 180 minut, považoval by se za požárně uzavřenou plochu atd.



Pro upřesnění tato norma definuje stanovení požární odolnosti obvodových stěn. Teplotní pole stanovené pro požární zkoušku je definované rovnicemi:

- a) Při tepelném namáhání z vnitřní strany

$$T_N = T_0 + 345 \log(8 \cdot t + 1) \quad (8)$$

- b) Při tepelném namáhání z vnější strany

- b.1) Pro $0 < t \leq 10$ minut

$$b.1) T_N = T_0 + 50 \cdot t \quad (9)$$

- b.2) Pro $t > 10$ minut

$$b.2) T_N = T_0 + 500 \quad (10)$$

Kde: T_N teplotní pole v peci [°C]
 T_0 počáteční teplota v peci (uvažováno 20 °C) [°C]
 t čas od začátku požární zkoušky [min]



4 Porovnání požárních zkoušek v rámci Evropy

4.1 Velká Británie, Irsko

Ve Velké Británii a Irsku se používají velkorozměrové zkoušky BS 8414-2 [17]. Velikost hlavní stěny zkušebního zařízení je $2,6 \times 8,0$ m, velikost vedlejšího křídla je $1,5 \times 6,0$ m. Typ paliva je dřevěná hranice o hmotnosti 400 kg s a rozměrech $1,5 \times 1,0 \times 1,0$ m. Zdroj tepla uvolní během 30 minut teplo odpovídající 4500 MJ s maximem okolo $3 \pm 0,5$ MW. Doba trvání zkoušky je 60 minut.

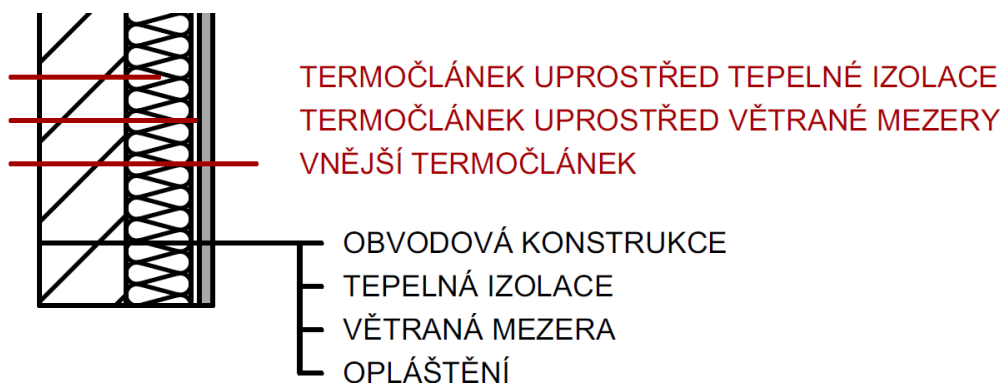
Požární zkouška je neúspěšná, pokud dojde k porušení z následujících kritérií:

- Vnější šíření plamene, tzn. bude dosažena teplota 600 °C na jakémkoliv vnějším termočlátku umístěném ve výšce 5,0 m nad otvorem se zdrojem tepla.
- Vnitřní šíření plamene, tzn. bude dosažena teplota 600 °C na jakémkoliv vnitřním termočlátku umístěném ve výšce 5,0 m nad otvorem se zdrojem tepla.

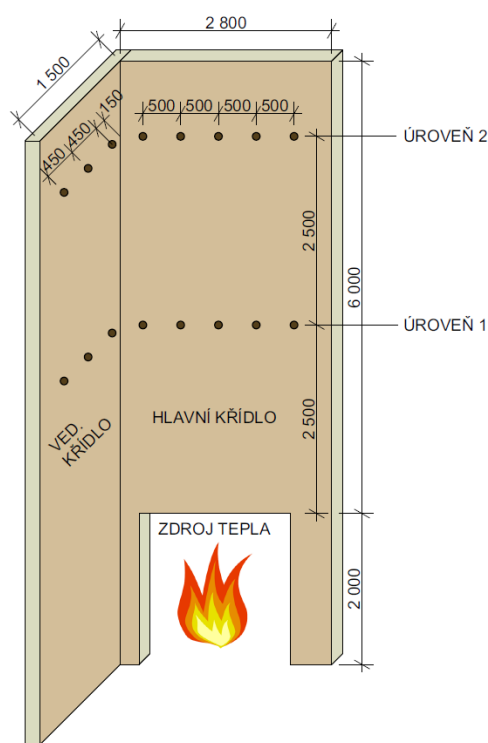
Dále se vizuálně hodnotí některé z kritérií, které by mohly předčasně ukončit požární zkoušku jako např.

- zda stálý plamen přesahuje zkušební zařízení,
- zda se vyskytují plamenně hořící kapky, které utvoří hořící kaluž,
- zda padající části dopadnou mimo vymezenou plochu apod.

Naskicovaný řez fasádou požární zkoušky, který poukazuje, jak by měly být umístěny termočlánky, je vidět na Obr. 4. Schéma požární zkoušky ve srovnání s fotografií reálné zkoušky je znázorněno na Obr. 5.



Obr. 4: Řez větranou fasádou u požární zkoušky BS 8414-2



(a)



(b)

Obr. 5: Požární zkouška BS 8414-2: (a) Schéma zkušebního vzorku; (b) Fotografie reálné zkoušky
© Efectis, 2020;

4.2 Německo

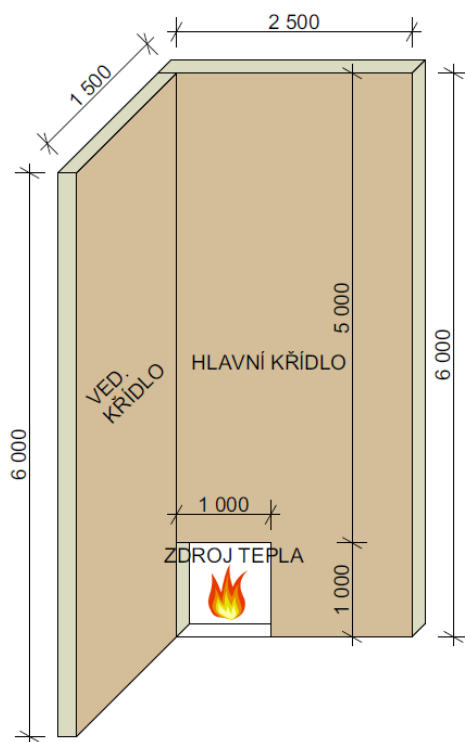
V Německu je jako požární zkouška fasád používána středněrozměrová zkouška DIN 4102-20 [18]. Velikost hlavní stěny zkušebního zařízení je $2,5 \times 6,0$ m, velikost vedlejšího křídla je $1,5 \times 6,0$ m. Zkouška definuje dva typy paliva, a to dřevěnou hranici o půdorysných rozměrech $0,5 \times 0,5 \times 0,5$ m a množstvím dřeva 25 kg nebo plynový hořák o rozměrech $0,80 \times 0,31 \times 0,20$ m. Plyn, který se používá pro hořák je propan s dodávkou $7,4 \pm 5 \%$ $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$. Schéma požární zkoušky ve srovnání s fotografií reálné zkoušky je znázorněno na Obr. 6.

Doba trvání zkoušky je 60 minut a požární zkouška je neúspěšná, pokud dojde k překročení následujících požadavků:

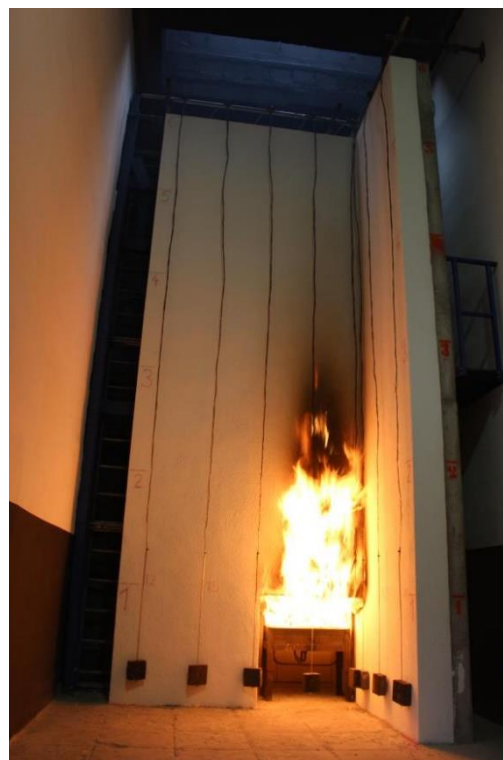
- Teplota překročí $500 \text{ }^\circ\text{C}$ na jakémkoliv termočláncu umístěném uvnitř i vně vzorku ve výšce 3,5 m nad otvorem se zdrojem tepla.
- Stálý plamen po dobu delší než 30 s nesmí přesáhnout hranici 3,5 m nad otvorem se zdrojem tepla.



- Nesmí se objevit plamen přesahující zkušební zařízení.
- Nesmí se objevit poškození vlivem propálení ve výšce nad 3,5 m nad otvorem se zdrojem tepla.
- Nesmí se objevit padání některých částí nebo plamenně hořící kapky 90 sekund po ukončení sálání zdrojem tepla.



(a)



(b)

Obr. 6: Požární zkouška DIN 4102-20: (a) Schéma zkušebního vzorku;

(b) Fotografie reálné zkoušky

© MFPA Leipzig GmbH;

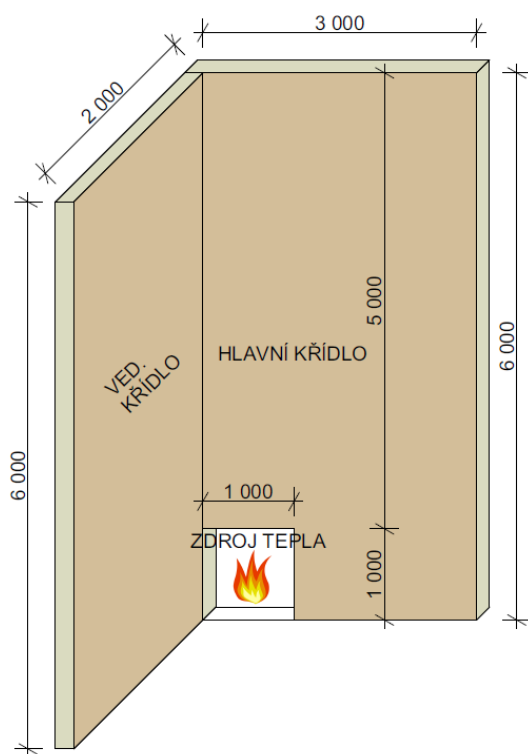
4.3 Švýcarsko, Rakousko

Ve Švýcarsku a Rakousku se používá středněrozměrová zkouška Önorm B 3800-5 [19]. Velikost hlavní stěny zkušebního zařízení je $3,5 \times 6,0$ m, velikost vedlejšího křídla je $2,0 \times 6,0$ m. Jedná se o obdobnou požární zkoušku jako je Německá DIN 4102-20 se stejným zdrojem tepla, tzn. dřevěná hranice nebo plynový hořák. Schéma požární zkoušky ve srovnání s fotografií reálné zkoušky je znázorněno na Obr. 7.



Doba trvání zkoušky je 60 minut a kritéria, které jsou v rámci zkoušky nedostačující, jsou že:

- Požár se nesmí rozšířit přes požární bariéru viz červená čára (Obr. 7). Jako požární bariéru lze použít ocelový plech, vrstvená dřevěná prkna nebo jejich kombinaci.
- Teplota uvnitř větrané mezery musí být ve stejné úrovni nižší než teplota na vnějším líci fasády
- Nesmí odpadávat velké části fasády



(a)



(b)

Obr. 7: Požární zkouška Önorm B 3800-5: (a) Schéma zkušební vzorku;

(b) Fotografie reálného zkušební vzorku

© Martin Teibinger, by EDP Sciences, 2013;

4.4 Francie

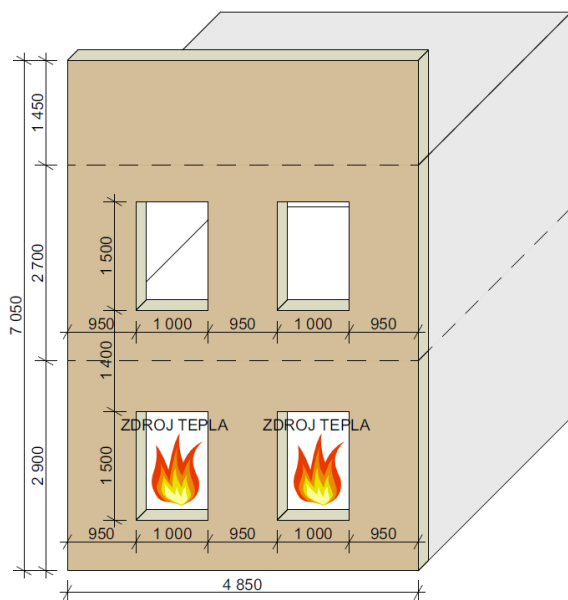
Francouzská požární zkouška se nazývá LEPiR 2 [20] a jedná se o požární zkoušku velkého měřítka. Zkušební vzorek se skládá pouze z jednoho křídla o velikosti $4,85 \times 7,05$ m. Zkouška se snaží nastítnit chování fasády s okny, která jsou umístěna nad otvorem se zdrojem požáru. Zkušební vzorek se skládá ze tří podlaží umístěných nad



sebou, kde jsou umístěny vždy kompletní místnosti. Zdroj tepla jsou dvě dřevěné hranice o rozměrech $1,0 \times 1,0 \times 1,8$ m v celkové hmotnosti 600 kg, které jsou umístěné v 1. podlaží. V prvním a druhém podlaží jsou v čele fasády umístěna vždy dvě okna o rozměrech $1,0 \times 1,5$ m. Schéma požární zkoušky ve srovnání s fotografií reálné zkoušky je znázorněno na Obr. 8.

Doba trvání zkoušky je 30 minut a kritéria, které jsou v rámci zkoušky nedostačující:

- Nesmí se objevit stálý plamen více než 20 sekund na počátku třetího podlaží
- Nesmí se rozšířit plamen po celé šířce zkoušeného vzorku
- Nesmí se rozšířit požár do místnosti umístěné v druhém podlaží
- Teplota plynů uvnitř fasády nesmí překročit $350\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Nesmí být překročena teplota $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ne neexponované straně podlahy v místě 50 mm od vnitřní strany fasády
- Fasáda nesmí být porušena v úrovni stropu nad druhým nadzemním podlažím (tj. ve výšce 5,2 m)
- Nesmí být plamenem zasáhnuta atika ve výšce 7,0 m



(a)



(b)

Obr. 8: Požární zkouška LEPiR 2: (a) Schéma zkušebního vzorku;

(b) Fotografie reálné zkoušky

© CERIB – Centre d'Essai au Feu/Fire Testing Centre;

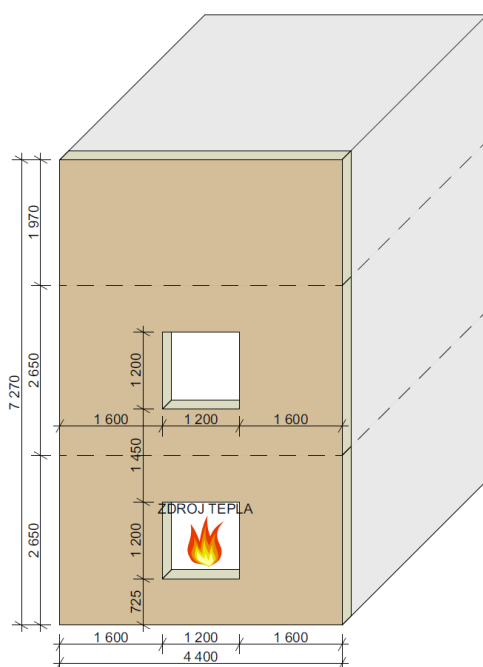


4.5 Maďarsko

Používaná požární zkouška v Maďarsku se jmenuje MSZ 14800-6 [21]. Jedná se o velkorozměrovou zkoušku na jednokřídlém zkušební vzorku. Zkušební vzorek je o rozměrech 4,40 × 7,27 m a má v čele fasády umístěny dva okenní otvory o rozměrech 1,2 × 1,2 m. Jedná se o zkoušku, kde jsou nad sebou umístěny tři místnosti o velikosti 4,30 × 4,00 × 2,65 m. Zdroj tepla je umístěn v 1. podlaží a jedná se o dřevěnou paletu s celkovou hmotností 650 kg dřeva. Schéma požární zkoušky ve srovnání s fotografií reálné zkoušky je znázorněno na Obr. 9.

Doba trvání jedné zkoušky je 45 minut a hodnotí se tato kritéria:

- Plamen nesmí přesáhnout horní hranici zkušebního zařízení
- Šíření plamene nesmí přesáhnout horizontální vzdálenost 1,5 m od otvoru se zdrojem tepla
- Nesmí odpadnout část fasády těžší než 5 kg
- Rozdíl teplot mezi termočlánkem umístěným uprostřed rozpětí oken a termočlánkem umístěným v horním okně nesmí přesáhnout hranici 300 °C.



(a)



(b)

Obr. 9: Požární zkouška MSZ 14800-6: (a) Schéma zkušebního vzorku;

(b) Fotografie reálné zkoušky

© István Móder, by EDP Sciences, 2016;

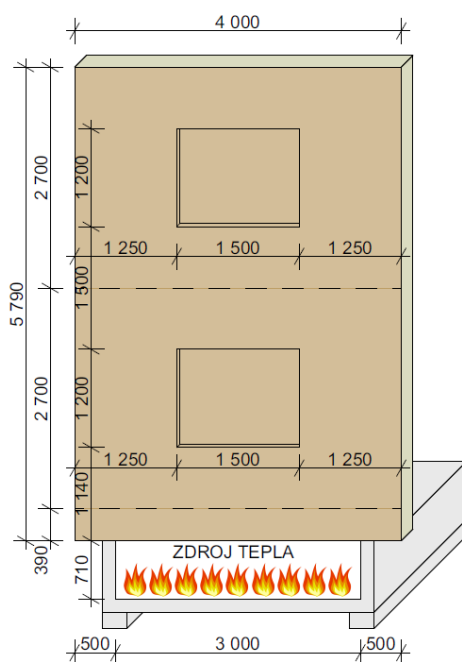


4.6 Švédsko, Norsko, Dánsko

V severských státech je pro posuzování využívána velkorozměrová zkouška SP Fire 105 [22]. Jedná se o zkoušku s jedním čelním křídlem o velikosti $4,0 \times 6,0$ m, které zaujímá 3 podlaží. V čelní stěně jsou tři otvory. Otvor se zdrojem tepla, který má rozměry $3,0 \times 0,7$ m a dvě simulovaná okna nad sebou o rozměrech $1,5 \times 1,2$ m. Jako zdroj tepla je využito nádrže s 60 litry heptanu. Schéma požární zkoušky ve srovnání s fotografií reálné zkoušky je znázorněno na Obr. 10.

Doba požární zkoušky je 16 až 18 minut a jsou hodnocena tato kritéria:

- Nesmí vzniknout stálý plamen mimo zdroj požáru
- Nesmí být překročena teplota $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve větrané mezeře po dobu 2 minut nebo $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ pod dobu 10 minut
- Nesmí být překročen tepelný tok $80\text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ v úrovni nižšího okna
- Nesmí se vyskytovat zuhelnatěná vrstva výše než spodní část horního okna
- Nesmí vzniknout plamenně hořící kapky a nesmí odpadnout část fasády větší než $0,1\text{ m}^2$



(a)



(b)

Obr. 10: Požární zkouška SP Fire 105: (a) Schéma zkušební vzorku;

(b) Fotografie reálné zkoušky

© Thomas Bengtsson, woodsafe.com;



4.7 Požární zkoušky v České republice

4.7.1 ČSN ISO 13785-1 [3]

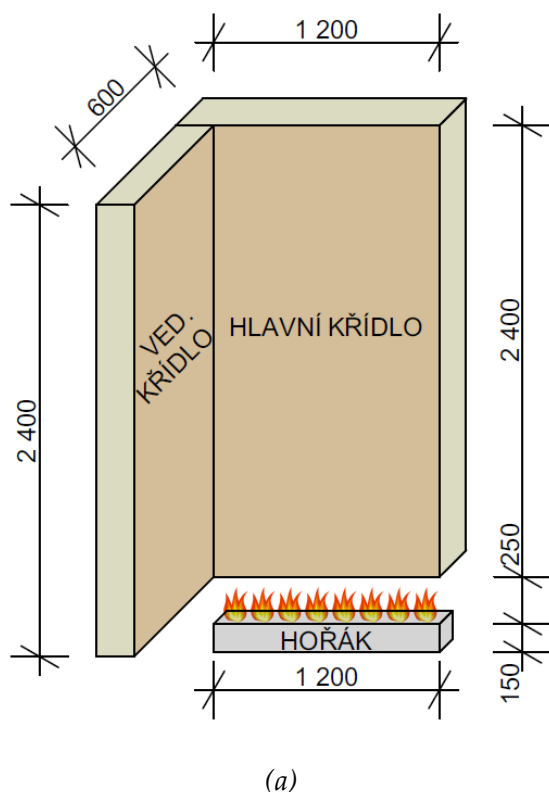
Již v úvodu je napsáno, že se jedná o zkoušku středního rozměru, která má být použita pouze pro ověření nebo pro zhodnocení dílčích komponentů či skupin stejnorodých výrobků. Z hlediska konečného použití ve výstavbě by měla být pro fasádní systém zkouška ve skutečném měřítku, tedy ISO 13785-2 [4], která však doposud nebyla zavedena do českých technických norem. Zkouška by měla být použita pouze pro zajištění existence určité kvality chování, mající vliv na požární chování fasád obecně a pro žádný jiný účel. Schéma požární zkoušky ve srovnání s fotografií reálné zkoušky je znázorněno na Obr. 11.

Zkušební vzorek je definován dvěma křídly, jako nejhorší možný scénář, kde velikost hlavního křídla je 1,2 × 2,4 m a velikost vedlejšího křídla je 0,6 × 2,4 m. Pod zkušební vzorek je umístěn hořák, který musí mít během celé zkoušky tepelný výkon 100 ± 5 kW. Jako palivo pro hořák je použit propan.

Požární zkouška trvá 30 minut a jsou zkoumaná tato kritéria:

- Kdy dojde ke vznícení zkušební vzorku
- Kdy dojde k rozšíření plamene po povrchu ve výškových úrovních 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 a 2,4 m
- Kdy dojde k proniknutí plamene z možné dutiny za vnějším povrchem zkušební vzorku

Další požadavky nebo spíše zjednodušení zkoušky jsou uvedena v národní příloze NA, kde je uvedeno, že pro splnění požadavků nešíření plamene po vnějším povrchu, tepelnou izolací nebo dutinou zadního křídla stačí splnit požadavek naměřené teploty. Průměrná teplota naměřená na třech termočláncích umístěných na povrchu, uvnitř izolačního materiálu nebo dutiny nesmí v průběhu zkoušky překročit 350 °C.



(a)



(b)

Obr. 11: Požární zkouška ČSN ISO 13785-1: (a) Schéma zkušební vzorku;

(b) Fotografie reálné zkoušky

© Ing. Pavel Rydlo;

4.7.2 ISO 13785-2 [4]

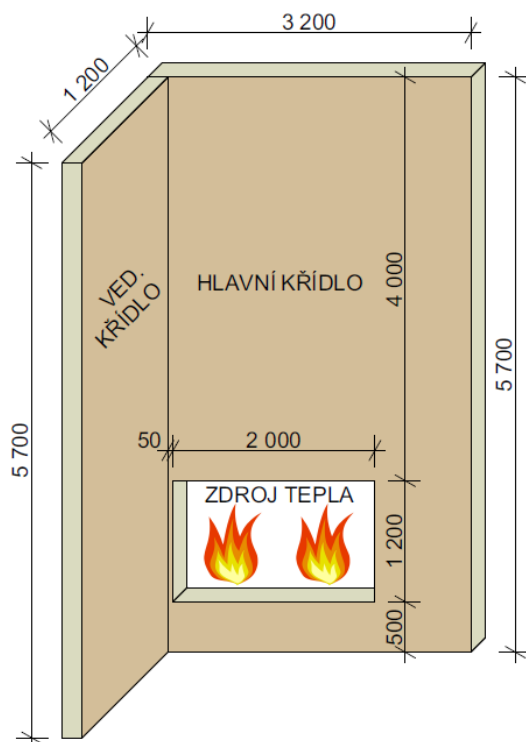
Ačkoliv není tato norma převzata do souboru českých technických norem, tak je přímo navazující na jedinou normu pro zkoušení fasád používanou v České republice a jako neharmonizovaná je ukotvena i v ČSN 73 0810 [5].

Zkušební vzorek má dvě křídla, kde velikost hlavního křídla je $3,0 \times 5,7$ m a vedlejší křídlo má rozměry $1,2 \times 5,7$ m. V hlavním křídle je otvor velikosti $2,0 \times 1,2$ m, ve kterém je umístěn zdroj tepla. Jako zdroj tepla je používán plynový hořák, u kterého je typický plyn propan, příp. lze použít heptan. Alternativní zdroj tepla je dřevěná hranice s celkovou hmotností dřeva 400 kg. Schéma požární zkoušky ve srovnání s fotografií reálné zkoušky je znázorněno na Obr. 12.

Doba trvání zkoušky je zhruba 25 minut, kde rostoucí fáze trvá 4 až 6 minut, dále je 15 minut plně rozvinutý požár a 4 až 6 minut trvá fáze dohořívání. Během testu jsou zkoumaná kritéria jako:



- Teploty na termočláncích umístěných rovnoběžně 50 mm od horního okraje otvoru se zdrojem tepla
- Měření tepelného toku ve výšce 3,6 m od horního okraje otvoru se zdrojem tepla
- Vizuální pozorování šíření ohně vertikálně i horizontálně



(a)



(b)

Obr. 12: Požární zkouška ISO 13785-2: (a) Schéma zkušební vzorku; (b) Fotografie reálné zkoušky
© Ing. Pavel Rydlo;

4.8 Shrnutí

Požární zkoušky v rámci Evropy posuzují především interní záležitosti fasád, jako je např. šíření požáru v nebo vně fasády, odpadávání hořících částí, výšku plamene nebo dosažení určitých teplot. Žádná ze zkoušek ovšem nezohledňuje hustotu tepelného toku, který má vliv na odstupové vzdálenosti a šíření požáru na jiné pozemky, popř. objekty. V zásadě víme, jaké chování bude mít fasáda na posuzovaném objektu, ale nevíme, zda toto chování nebude mít vliv na okolní zástavbu. Vzhledem k finanční náročnosti požárních zkoušek by se nabízela možnost osazení radiometrů navíc, které by měřily hustotu tepelného toku, tak aby se zároveň stanovila požární otevřenost zkoušených fasád.



5 Návrh zkoušky požární otevřenosti

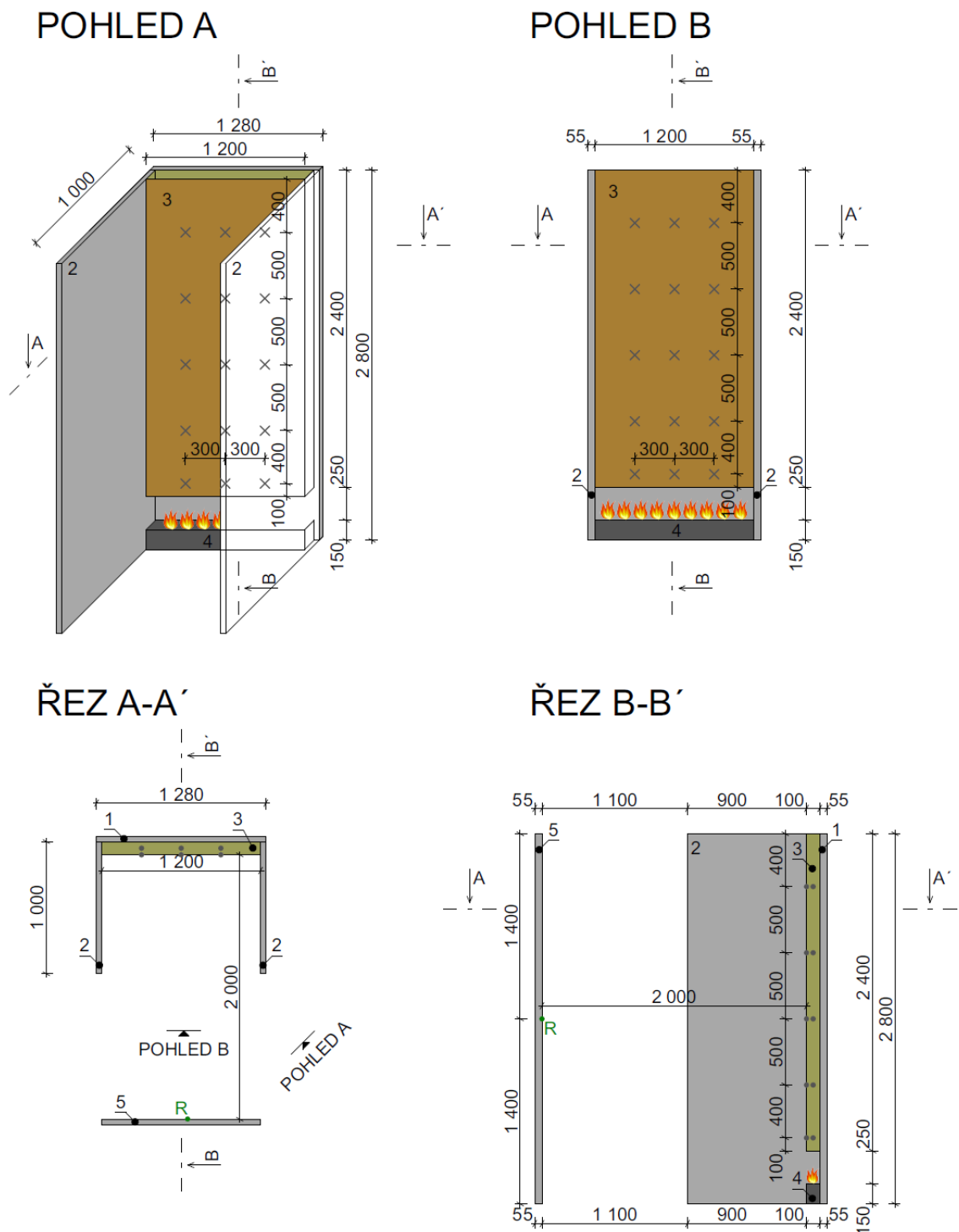
Práce je zaměřená na chování fasádních systému za požáru, konkrétně tedy požární otevřenosti fasád, která má vliv na odstupové vzdálenosti a tím i požárně nebezpečný prostor. Návrh požární zkoušky vychází ze stávajícího platného předpisu, konkrétně zkušební normy ČSN ISO 13785-1 [3]. Požární zkouška bude upravena tak, aby mohla být co nejúčelněji stanovena požární otevřenost. Úpravy se budou týkat především geometrie a měřících zařízení.

Jak již bylo řečeno, požární zkoušky jsou finančně velmi náročné, a proto by měly zastřešovat co nejvíce zkoumaných vlastností, které se od fasád mohou požadovat. Pro účely hypotézy, kde se předpokládá, že ani fasáda s hořlavým povrchem např. dřevěným nemusí být nutně požárně otevřená plocha, budou doplněny další zkoumané vlastnosti, jako je např. měření hustoty tepelného toku. Práce se bude zabývat vlastnostmi a kritérii, které by mohly zpřesnit a doplnit stávající předpisy o hodnocení požární otevřenosti.

5.1 Zkušební vzorek

Pro účely experimentu bude geometrie vzorku převzatá z ČSN ISO 13785-1[3] upravena tak, aby umožnila zkoumat požadované vlastnosti lépe a bez zkreslení. Zkušební vzorek se bude skládat z rámu ohraničujícího zkušební prostor, fasády, hořáku a měřících zařízení.

Zkušební vzorek bude tvořit zadní stěna držáku zkušební tělesa o rozměrech $1,2 \times 2,8$ m, na kterou budou navazovat boční stěny držáku zkušební tělesa o rozměrech $1,0 \times 2,8$ m. Dále je těleso samotné, tedy fasáda běžně používaná v praxi, která se skládá pouze z hlavního křídla o rozměrech $1,2 \times 2,4$ m umístěného ve výšce 0,4 m nad podlahou. Pod zkušebním tělesem je umístěný hořák o rozměrech $1,2 \times 0,15 \times 0,1$ m, který bude simulovat požár. Další část je stěna nebo konstrukce, na které je umístěn radiometr ve vzdálenosti 2,0 m od líce zkušební tělesa. Schéma požární zkoušky je uvedeno na Obr. 13.



LEGENDA:

- 1 HLAVNÍ RAMENO DRŽÁKU ZKUŠEBNÍHO TĚLESA
- 2 BOČNÍ RAMENO DRŽÁKU ZKUŠEBNÍHO TĚLESA
- 3 HLAVNÍ KŘÍDLO ZKUŠEBNÍHO TĚLESA
- 4 HOŘÁK
- 5 STĚNA DRŽÁKU RADIOMETRU
- ×● TERMOČLÁNKY
- RADIOMETR

Obr. 13: Schéma navržené požární zkoušky



5.1.1 Měřicí zařízení – termočlánky

Typ a umístění termočlánků principiálně vychází z normy ČSN ISO 13785-1 [3]: Budou umístěny termoelektrické články ve vzdálenostech 0,1; 0,5; 1,0; 1,5 a 2,0 m od spodního líce fasády a v horizontálním dělení po 0,3 m od okraje zkušební vzorku.

Zkušební normou jsou definovány termočlánky, které musí být umístěny na vnějším povrchu zkušebního zařízení, uprostřed tepelně izolační vrstvy, a pokud by zkušební těleso obsahovalo větranou mezeru, tak uprostřed větrané mezery. Pro účely této práce jsou důležité pouze termočlánky umístěné na vnějším povrchu zkušební vzorku a termočlánky uvnitř tepelně izolační vrstvy, případně uvnitř větrané mezery nebudou instalovány.

Budou použity plášťové termočlánky třídy 1 dle IEC 60584-2. Plášťové termočlánky musí být typu chromel/alumel z nerezové oceli, s průměrem drátu 0,3 mm a vnějším průměrem $1,5 \pm 0,1$ mm. Horký spoj musí být izolovaný a neuzemněný. Svařované termočlánky musí mít průměr $\leq 0,3$ mm a horké spoje na vnějším povrchu panelů se musí dotýkat povrchu panelu.

5.1.2 Měřicí zařízení – přístroje pro tepelný tok

Vzhledem k definovanému účelu práce, a tedy měření hustoty tepelného toku, bude ve zkušebním prostoru umístěn radiometr, který bude ve vzdálenosti 2,0 m od líce zkoušeného tělesa ve výšce 1,4 m od podlahy. Umístění radiometru určuje geometrický střed zkušebního prostoru. Radiometr musí být umístěn rovnoběžně, s povrchem ve stejné svislé rovině jako svislá strana zkušebního tělesa.

Radiometr musí být fóliového nebo termočláňkového typu s měřicím rozsahem 0 až $50 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Terčik snímající tepelný tok musí být plochý, kruhový, o průměru nejvýše 10 mm, s trvanlivou matnou černou povrchovou úpravou.

5.1.3 Měřicí zařízení – zaznamenávání údajů

Pro zaznamenávání údajů z termočlánků a radiometru bude použita ústředna schopná zapisovat a ukládat vstupní data v intervalu menším než 10 sekund.

Po měření času se použijí hodiny s přesností jedné sekundy a s dělením po jedné sekundě.



5.2 Zdroj požáru

Zdrojem hoření bude plynový hořák, který bude jako palivo využívat propan. Hořák má rozměry $1,2 \times 0,15 \times 0,10$ m (délka \times výška \times šířka) a vrchní plochu bude tvořit vrstva inertního materiálu (např. písek). Konstrukce musí zajišťovat rovnoměrný tok plynu po celé ploše otvoru. Hořák je umístěn na podlaze rovnoběžně s hlavním křídlem zkušebního tělesa a stěny hořáku se musejí dotýkat stěn držáku zkušebního zařízení. Propan pro hoření bude použit s 95 % čistotou a přítok plynu se bude měřit s přesností nejméně na ± 3 %.

Vzhledem k umístění fasády ve vnějším prostředí bude vzorek zatížen mírnějšími podmínkami požáru oproti normové teplotní křivce. Tepelný výkon hořáku bude simulovat průběh rozvinutého vnějšího požáru tzn. dle maxima křivky vnějšího požáru. Křivka vnějšího požáru je definována dle ČSN EN 1363-2 [23] konkrétně kapitolou 5 této normy. Teplotní křivka vnějšího požáru je definována následujícím vztahem:

$$T = 660 \cdot [1 - 0,687 \cdot e^{-0,32t} - 0,313 \cdot e^{-3,8t}] + T_0 \quad (11)$$

Kde:	T_N	teplota hořících plynů [°C]
	t	doba od začátku zkoušky [min]
	T_0	počáteční teplota [°C]

Křivka má stejný nárůst v počáteční fázi jako normová teplotní křivka, nicméně zhruba v 15. minutě dosáhne maximálních teplot plynů a to 680 °C. Abychom byli schopní využít maxima křivky vnějšího požáru, kterou bude zatížen zkušební vzorek, musí být nastaven výkon hořáku tak, aby se průměrná teplota ze tří termočlánků umístěných ve vzdálenosti 0,1 m od spodního líce fasády pohybovala v rozmezí $680 \pm 10,0$ °C. Pro předběžné definování výkonu hořáku bude využit matematický model v softwaru FDS, který simulací požární zkoušky odhadne potřebný výkon hořáku.

5.3 Stanovení kritérií požární otevřenosti

Základní hodnoty pro určení kritérií požární otevřenosti budou převzaty z kmenových norem požárního kodexu. Můžeme tedy uvažovat, že požárně uzavřená plocha nepřekročí na lící hustotu tepelného toku $15 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, částečně požárně otevřená plocha bude na lící vykazovat hodnoty v rozmezí 15 až $60 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, a pokud bude horní hranice



překročena, bude se jednat o požárně otevřenou plochu. Měření hustoty tepelného toku na lící fasády však není relevantní vzhledem k velkému ovlivnění hodnot od plamenů z hořáku, které jsou nestálé a v určitých mezích by mohly ovlivňovat výsledky. Pro redukování vlivu hořáku je navržen radiometr ve vzdálenosti 2,0 m od líce fasády, který je svojí plochou v rovnoběžné dispozici s plochou zkušební vzorku.

Hodnoty určující hranice požární otevřenosti jsou přepočteny pomocí rovnice, kde vstupuje polohový součinitel viz rov. (12), který zohledňuje vzdálenost mezi hustotou tep. toku na lící fasády a hustoty tep. toku na radiometru. Rovnice je převzata z publikace „Zabraňujeme škodám“ [25].

$$I_0 = I \cdot \phi \quad (12)$$

Kde: I_0 hustota tepelného toku ozařované plochy [$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$]

I hustota tepelného toku sálavé plochy [$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$]

ϕ polohový součinitel [-]

Polohový součinitel pro námi řešený případ s uvažovanou sálavou plochou celého zkušební vzorku je roven $\phi = 0,178$, což nám po dosazení do rovnice (12) stanoví hodnoty ve vzdálenosti 2,0 m a to:

- Hranice $15,0 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ je ve vzdálenosti 2,0 m rovna $2,67 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$
- Hranice $60,0 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ je ve vzdálenosti 2,0 m rovna $10,67 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$

Hodnoty ve vzdálenosti 2,0 m jsou uvedeny bez vlivu hořáku, přičemž hořák do těchto hodnot prokazatelně zasahuje, neboť se jedná o sálavé teplo, které je na radiometru zaznamenáváno společně se sálavým teplem zkoumaného tělesa. Pro představu lze užit příklad, kdy ve zkušebním prostoru nebude umístěno žádné těleso a bude zde pouze hořák. Hodnoty na radiometru umístěném 2,0 m od hořáku by nebyly v žádném případě nulové mimo případ, kdy by měl hořák nulový výkon.

Vzhledem k tomu, že v případě požáru nenastává hned na počátku fáze plného rozvinutí, ale je zde fáze rozhořívání, kterou lze konzervativně uvažovat jako nárůst normové teplotní křivky, pak lze uvažovat, že nárůst teploty a tím i hustoty tepelného toku na fasádě bude respektovat počáteční fázi křivky. Nemůže dojít k situaci, kdy například vzorek s částečně požárně otevřenou plochou bude v počáteční fázi vykazovat hustotu tepelného toku vyšší než $60 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Touto úvahou jsou eliminovány hodnoty,



kteřé nemohou v reálné situaci nastat, protože jde v prvních minutách požáru o rozhořívání použitých materiálu, případně zahřívání použitých materiálů.

Křivka, která definuje hranici mezi požárně uzavřenou plochou a částečně požárně otevřenou plochou, vychází z rovnice (13). Do této rovnice se dosadí konstantní hodnoty a po úpravě vychází rovnice (14), kde jedinou proměnou je čas. Hodnota z této rovnice se následně dosadí do rovnice (15), která zohledňuje vzdálenost mezi sálavou a příjmovou plochou a vliv hořáku na měřené hodnoty. Křivka, která definuje hranici mezi částečně požárně otevřenou plochou a zcela požárně otevřenou plochou, vychází ze stejné rovnice s jediným rozdílem a to, že na pravé straně je hodnota $60 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$.

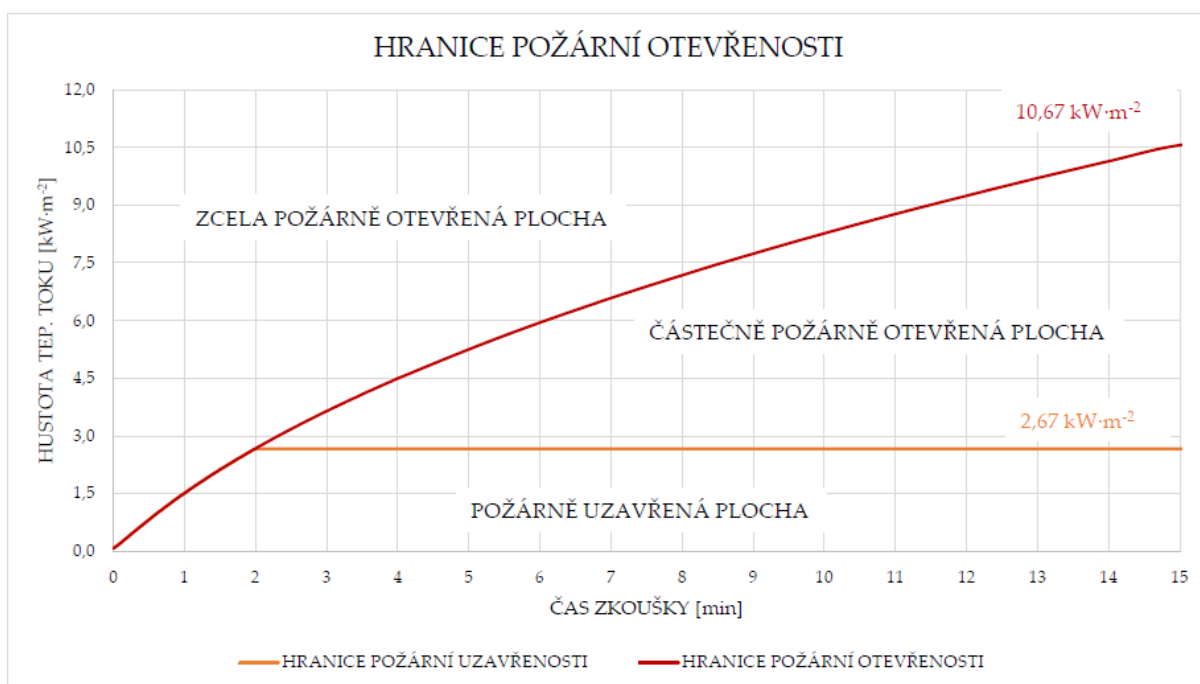
$$I = \sigma \cdot \varepsilon \cdot \Phi_F \cdot \{[T_0 + 345 \log(8t + 1)] + 273\}^4 \leq 15 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2} \quad (13)$$

$$I = 5,67 \cdot 10^{-11} \cdot \{[20 + 345 \log(8t + 1)] + 273\}^4 \leq 15 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2} \quad (14)$$

$$I_R = (I \cdot \Phi_R) + I_H \quad (15)$$

Kde:	I	hustota tepelného toku na fasádě [$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$]
	σ	Stefan-Boltzmannova konstanta [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$], $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-11}$
	ε	emisivita [-], pro požár se uvažuje $\varepsilon = 1$
	Φ	polohový faktor [-], na fasádě $\Phi_F = 1$, na radiometru $\Phi_R = 0,178$
	T_0	počáteční teplota vzorku, uvažována se $T_0 = 20$ [$^{\circ}\text{C}$]
	t	čas od začátku požární zkoušky [min]
	I_R	hustota tepelného toku na radiometru [$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$]
	I_H	naměřený vliv hořáku na radiometr [$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$]

Po dosazení do jednotlivých rovnic (14) a (15) dostaneme křivky definující jednotlivé hranice požární otevřenosti. Graf, který znázorňuje hranice požární otevřenosti je uveden na Obr. 14. Nutno podotknout fakt, že se jedná o hodnoty, které jsou uvažovány bez vlivu hořáku, který je v grafu uvažován jako nulový. Vliv hořáku na měřící zařízení bude zjištěn nejprve z matematických modelů a následně ověřen reálnou požární zkouškou.



Obr. 14: Graf znázorňující jednotlivé hranice požární otevřenosti.

5.4 Postup zkoušky

- a) Zkušební těleso se osadí do rámu podle pokynů výrobce
- b) Na zkušební těleso se nakreslí viditelné příčné značkovací čáry v intervalu 0,5 m, jako pomůcka pro vizuální sledování šíření plamene po povrchu během zkoušky
- c) Umístí se zdroj zapalování a přístroje pro měření teploty a tepelného toku
- d) Nejméně 2 minuty před zapálením hořáku se zapnou záznamová a měřicí zařízení a jejich údaje se zaznamenají
- e) Zapálí se plamen a hořák se během 10 sekund od tohoto okamžiku seřídí na výkon, který bude definovaný referenční zkouškou podle matematického modelu
- f) Průběh zkoušky se zaznamená fotograficky nebo na video. Na všech záběrech musí být patrné hodiny udávající čas na nejbližší sekundu
- g) Během zkoušky se zaznamenají následující pozorování, včetně času, kdy k nim došlo:
 - 1) Vznícení zkušebního tělesa
 - 2) Rozšíření plamene na zkušebním tělese do výšky 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 a 2,4 m



- 3) Objevení plamene z možné dutiny za vnějším povrchem na horním líci zkušebního tělesa
 - h) Zaznamená se jakékoliv neobvyklé chování
 - i) Zkouška se ukončí, jakmile horní okraj zkušebního tělesa extenzivně hoří plamenem, nebo po 15 minutách; rozhodující je jev, k němuž dojde jako k prvnímu
 - j) Hořící zkušební těleso se uhasí

5.5 Vyhodnocení zkoušky

Během zkoušky se sledují a zaznamenávají údaje v souladu s kapitolou 5.4. Pro zařídění požární otevřenosti bude využit diagram, který v závislosti na době trvání zkoušky a intenzitě sálání tepla vymezuje hranice požární otevřenosti, viz Obr. 14. Diagram je založený na intenzitě sálání tepla pomocí Stefan-Boltzmannova zákona. Podle diagramu lze definovat jednotlivé typy požární otevřenosti pro zkoušené těleso, které jsou definovány takto:

Požárně uzavřená plocha

- Hustota tepelného toku naměřená na radiometru nepřesáhne hodnoty uvedené na křivce „HRANICE POŽÁRNÍ UZAVŘENOSTI“, tzn. po dobu požární zkoušky nebude hustota tepelného toku větší, než udává tato křivka.

Částečně požárně otevřená plocha

- Hustota tepelného toku naměřená na radiometru nepřesáhne hodnoty uvedené na křivce „HRANICE POŽÁRNÍ OTEVŘENOSTI“ a zároveň bude přesahovat hodnoty křivky „HRANICE POŽÁRNÍ UZAVŘENOSTI“, tzn. po dobu požární zkoušky bude hustota tepelného toku nabývat hodnot mezi těmito křivkami.

Požárně otevřená plocha

Hustota tepelného toku naměřená na radiometru přesahuje hodnoty uvedené na křivce „HRANICE POŽÁRNÍ OTEVŘENOSTI“, tzn. po dobu požární zkoušky bude hustota tepelného toku větší, než udává tato křivka.



6 Matematické modely

Vzhledem k časové a finanční náročnosti požární zkoušky byl nejprve proveden výpočet v softwaru, který předem odhadnul výkon hořáku, tak aby bylo splněno rozmezí teplot pro maximum křivky vnějšího požáru, tzn. $680 \pm 10,0$ °C.

Pro simulaci navržené požární zkoušky bylo využito softwaru FDS (Fire Dynamics Simulator), který využívá model typu CFD (Computational Fluid Dynamics). Tento model je založený na výpočtech proudění tekutin v síti buněk vytvářejících prostorovou výpočetní síť. Pro každou jednotlivou buňku jsou počítány stavové rovnice a rovnice zachování energie, hmoty a hybnosti. Náročnost výpočtu prostorové sítě tedy závisí na počtu buněk a s tím související „jemnost“ sítě. K zobrazení vizuálních výstupů ze softwaru FDS byl využit software Smokeview, který slouží k zobrazení numerických prognóz softwaru FDS nebo CFAST. K modelování byly využity aktuální verze programů, které jsou volně dostupné na webu a tedy FDS 6.7.4 a SMV 6.7.14.

Matematických modelů bylo využito k předběžnému zjištění jednotlivých hledaných hodnot pro doplnění požární zkoušky. První model měl za úkol definovat výkon hořáku, tak aby bylo na fasádě dosaženo kýžených teplot. Tento model bude dále nazýván „Model 1“. Druhým modelem byla snaha zjistit jaký vliv bude mít hořák na měřící zařízení. Pro přehlednost bude dále nazýván „Model 2“. Třetí model měl sloužit pro ověření hypotézy, že normový výpočet požární otevřenosti je konzervativní, a dále bude nazýván „Model 3“.

6.1 Popis modelového prostoru

Modelový prostor byl totožný pro všechny tři modely, které se lišily pouze definováním zkušebního tělesa a počtem výpočetních buněk. Pro účelnost byla dispozice požární zkoušky redukována na oblast zájmu. Oblast zájmu byla definována zkušebním vzorkem, ohraničujícími stěnami držáku zkušebního tělesa a stěnou, na které je připevněný radiometr. Schéma modelu využitého v softwaru je vyobrazeno na Obr. 15.

Výpočetní síť byla pro zvolené scénáře uvažována tak, aby každý bod zájmu ležel na hranici buňky. Vzhledem ke složitosti výpočtu byl počet buněk nastaven tak, aby výsledky byly co nejrelevantnější a zároveň nebyl výpočetní čas příliš dlouhý. Velikost



jednotlivých buněk a celkový počet buněk pro jednotlivé provedené scénáře je popsán v Tab. 3.

Tab. 3: Tabulka „jemnosti“ výpočetní sítě pro jednotlivé scénáře

Scénář	Velikost buněk ve směru osy X	Velikost buněk ve směru osy Y	Velikost buněk ve směru osy Z	Celkový počet buněk
Model 1	75 mm	100 mm	50 mm	18 816
Model 2	75 mm	100 mm	50 mm	18 816
Model 3	50 mm	15 mm	50 mm	188 160

6.1.1 Geometrie zkušebního prostoru

Zkušební prostor byl v softwaru FDS nadefinován pomocí příkazů „OBST“, které tvořily jednotlivé objekty jako stěny držáku zkušebního tělesa, zkušební těleso a stěnu držáku radiometru. K jednotlivým objektům byly přiřazeny vlastnosti pomocí příkazů „SURF“, které definovaly tepelnou vodivost, měrnou tepelnou kapacitu aj. Rozměry zkušebního prostoru v softwaru byly $1,2 \times 2,0 \times 2,8$ m (šířka \times délka \times výška). Tento prostor byl ohraničen stěnami z cementovláknitých desek s rozměry podle návrhu požární zkoušky definované v kapitole 5.1. Dále zde bylo zkušební těleso s rozměry podle návrhu stejné kapitoly. Schéma zkušebního prostoru v softwaru je znázorněno na Obr. 15.

6.1.2 Měřicí zařízení

V modelu požární zkoušky použitým v softwaru FDS byla umístěna všechna měřicí zařízení navržená v kapitolách 5.1.1 a 5.1.2, tzn. termočlánky definované v softwaru příkazem „TEMPERATURE“ měřící teplotu plynu v daném bodě byly umístěny na hlavním křídle zkušebního tělesa v horizontálním dělení po 0,3 m a ve vertikálním rozdělení byly ve vzdálenosti 0,1, 0,5, 1,0, 1,5 a 2,0 m od spodního líce fasády. Termočlánky umístěné 0,1 m od spodního líce fasády sloužily primárně k měření teplot pro aplikaci maxima křivky vnějšího požáru. Dále zde byly umístěny dva radiometry, které byly orientovány směrem ke zkušebnímu vzorku a byly ve vzdálenosti 1,2 a 2,0 m od líce fasády ve výšce 1,4 m od podlahy. Radiometry byly zadány příkazem „RADIATIVE HEAT FLUX“ a „RADIATIVE HEAT FLUX GAS“. Byly nastaveny



s orientací směrem ke zkušebnímu vzorku, kde orientace radiometrů byla nastavena příkazem „IOR=+2“ a „ORIENTATION=0.0,1.0,0.0“, což znamená že radiometry byly orientovány v kladném směru osy Y. Radiometr ve vzdálenosti 1,2 m od líce fasády („RADIATIVE HEAT FLUX GAS“) sloužil pro validaci tepelného toku podle provedené požární zkoušky v laboratoři UCEEB z listopadu 2019, která byla podobného rozsahu jako navržený model [24].

Další definované měřící veličiny jsou isoplochy, které v programu smokeview znázorňují aktuální teplotní křivku pro zadanou zkoumanou teplotu. Jedná se především o vizuální hodnocení veličiny a jsou to spíše pomocné prvky, neboť nezaznamenávají žádné teploty v čase.

6.1.3 Výkon hořáku

Výkon hořáku byl v počáteční fázi stanoven na 150 kW a jako palivo byl využit propan. V softwaru FDS je výkon hořáku definovaný zápisem HRRPUA, který vytvoří plochu, kde je požár o určitém výkonu vztažený k jednomu čtverečnímu metru. Pro správné definování výkonu hořáku je tedy nutné přepočítat výkon hořáku vzhledem k ploše, kterou zaujímá. HRRPUA je definována následujícím vztahem:

$$HRRPUA = \frac{HRR}{S} \quad (16)$$

Kde: $HRRPUA$ hořící plocha v softwaru FDS [kW·m⁻²]

HRR výkon hořáku [kW]

S plocha na které je požár [m²]

V našem případě je hořící plocha rovna $S = 1,2 \cdot 0,1 = 0,12 \text{ m}^2$ a HRRPUA je tedy rovna $HRRPUA = HRR \cdot S^{-1} = 150 \cdot 0,12^{-1} = 1250 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$.

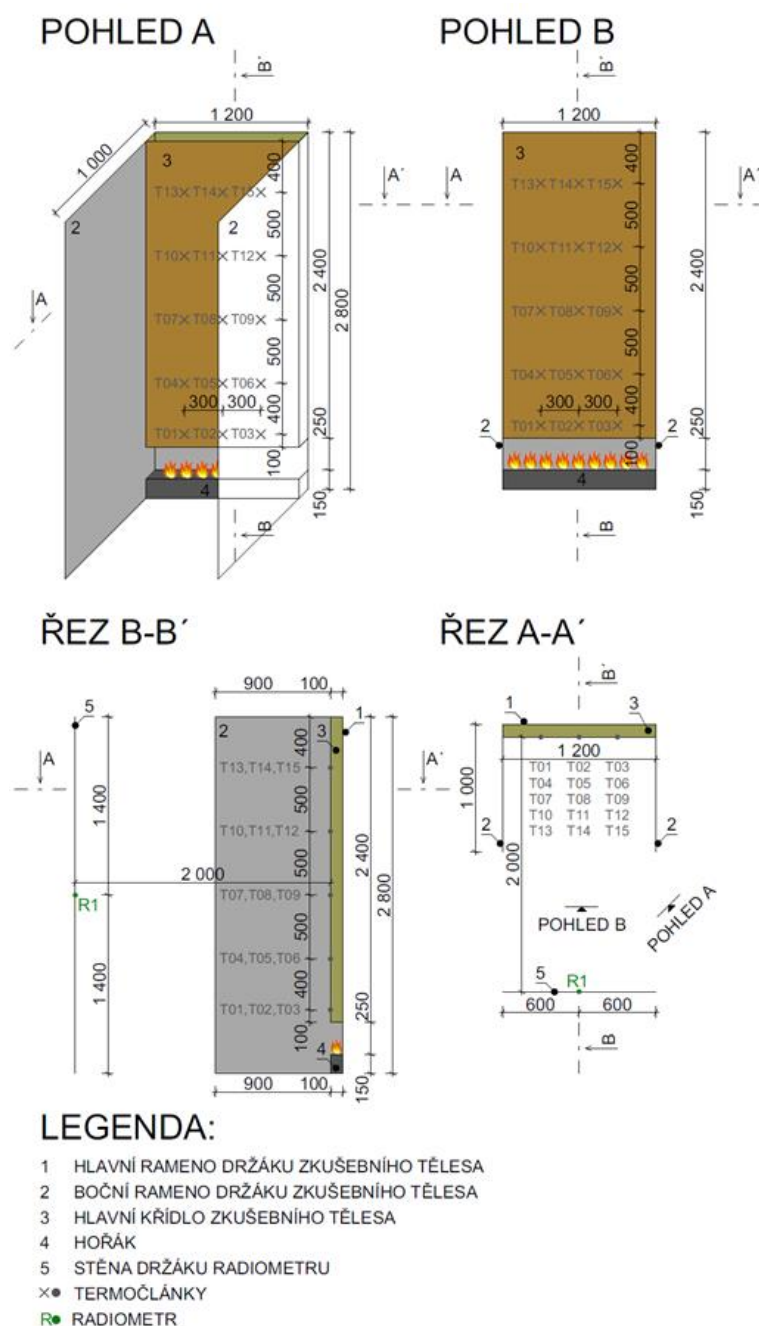
6.2 Model 1 - scénář pro výpočet výkonu hořáku

Pro tento model bylo pro zkušební těleso využito výhradně nehořlavých materiálů a inertních ploch, tak aby námi zjištěné výsledky byly co nejrelevantnější. Inertní materiály byly zvoleny z důvodu zjištění potřebného výkonu hořáku, tak aby kýžené teploty generoval pouze hořák a nebyly teploty ovlivňovány použitým materiálem. Zkouška



byla simulována po dobu 15 minut a výhradním cílem prvního modelu bylo zjištění výkonu hořáku. Vizualní výstup ze softwaru Smokeview je znázorněn na Obr. 16.

Bylo provedeno několik výpočtů, tak aby hodnoty naměřené na termočláncích byly v rozmezí definovaném kapitolou 5.2, tzn. $680 \pm 10,0$ °C. Výkon hořáku byl při každém výpočtu zvyšován o $50 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ a výsledný výkon hořáku, při kterém byla na termočláncích umístěných 0,1 m od spodního líce fasády naměřena teplota $680 \pm 10,0$ °C, byl 300 kW , tzn. $\text{HRRPUA} = 2500 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$.

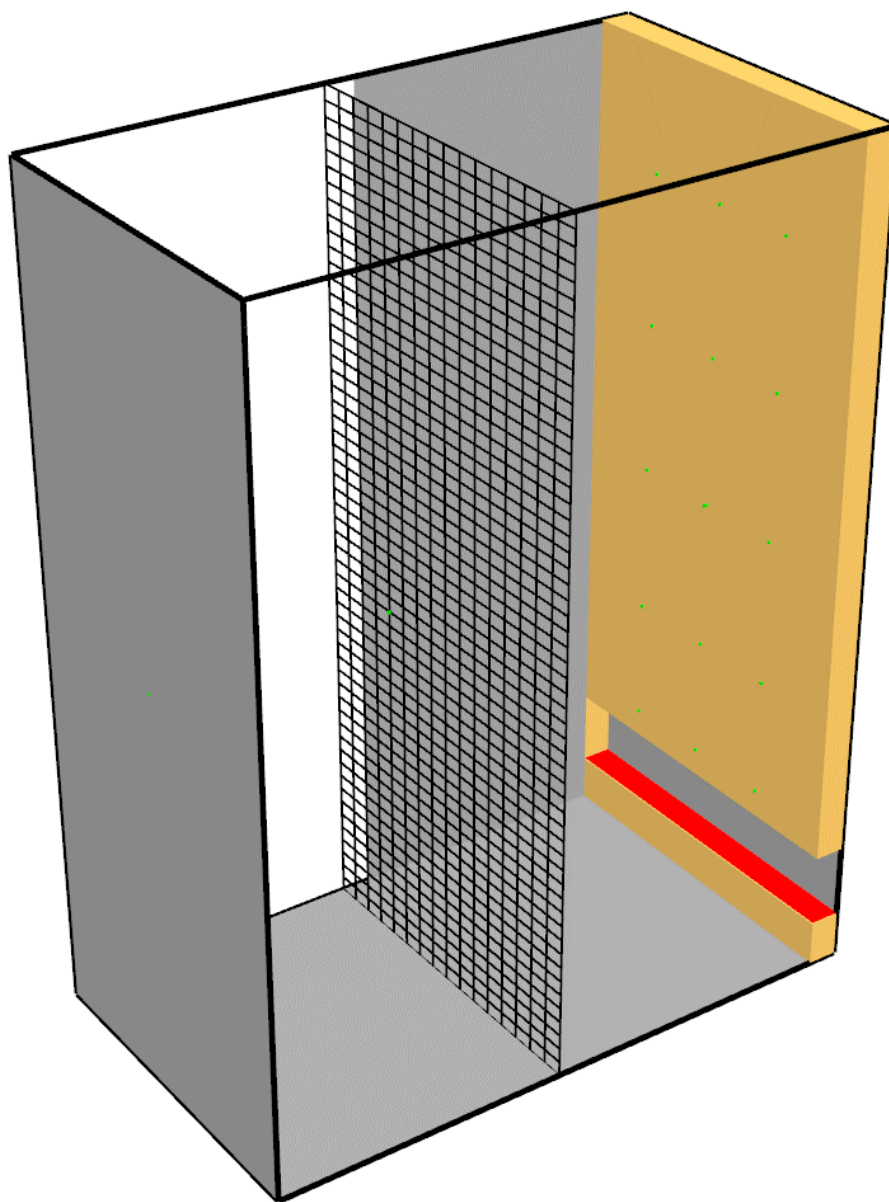


Obr. 15: Schéma požární zkoušky využité v FDS



6.2.1 Výsledky měření výkonu hořáku

Primárním cílem prvního modelu v softwaru FDS bylo zjištění výkonu hořáku, tak abychom byli schopní aplikovat na zkušební těleso maximální teploty vnějšího požáru. Teploty byly měřeny po dobu 15 minut na termočláncích umístěných ve vzdálenosti 0,1 m od spodního líce zkušební tělesa. Při výkonu hořáku 300 kW ($HRR_{PUA} = 2500 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$) byl proveden výpočet a průměrná teplota ze tří termočlánců po dobu modelové zkoušky byla vypočtena na 648,1 °C. Vliv výkonu hořáku na radiometr umístěný ve vzdálenosti 2,0 m od líce fasády byl zprůměrován z doby zkoušky a vypočten na 1,44 $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Hodnoty jsou převedeny do grafu a uvedeny na Obr. 17.



Obr. 16: Zkušební prostor Modelu 1 ze softwaru FDS



6.3 Model 2 - scénář pro výpočet vlivu hořáku na měřící zařízení

Pro stanovení vlivu hořáku na měřící zařízení byl využit další model v softwaru FDS, který zkoumal vliv hořáku na radiometr umístěný ve vzdálenosti 2,0 m od líce fasády. Vzhledem k tomu, že v prvním scénáři bylo využito výhradně inertních ploch, které jsou vůči okolnímu prostředí netečné, nepřijímají žádné teplo, a do výsledku tedy nevstupují, tak byl využit další model, kde byl zkušební vzorek tvořen kontaktním zateplovacím systémem s tepelným izolantem z minerální vlny a s povrchem ze silikátové omítky. Druhý model požární zkoušky měl stanovit přesnější výsledky z důvodu fasády s definovanými tepelně technickými vlastnostmi. Pro námi zvolený účel byla tedy navržena fasáda, která tvořila požárně uzavřenou plochu a neobsahovala stavební hmoty nebo materiály, které by se při požáru mohly vznítit.

Geometrie zkoušky, měřící zařízení i výkon hořáku zůstaly zachovány z původního modelu. Rozdíl tvořil zkušební vzorek, který tvořil kontaktní zateplovací systém s tepelným izolantem z minerální vlny tl. 80 mm. Popis a materiálové vlastnosti jednotlivých prvků jsou popsány v Tab. 4.

Tab. 4: Tabulka tepelně technických vlastností použitých materiálů v Modelu 2

Skladba fasády z exteriéru	Tloušťka materiálu [mm]	Objemová hmotnost v suchém stavu ρ_{dn} [kg·m ⁻³]	Měrná tepelná kapacita v suchém stavu c_{dn} [kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Součinitel tepelné vodivosti λ_{dn} [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Zrnitá silikátová omítky	5	1800	1,05	0,70
Lepící a sěrkový tmel	5	1500	1,30	0,26
Desky z minerálních vláken	80	100	0,80	0,04
Lepící a sěrkový tmel	10	1500	1,30	0,26
Celková tloušťka fasády	100 mm			

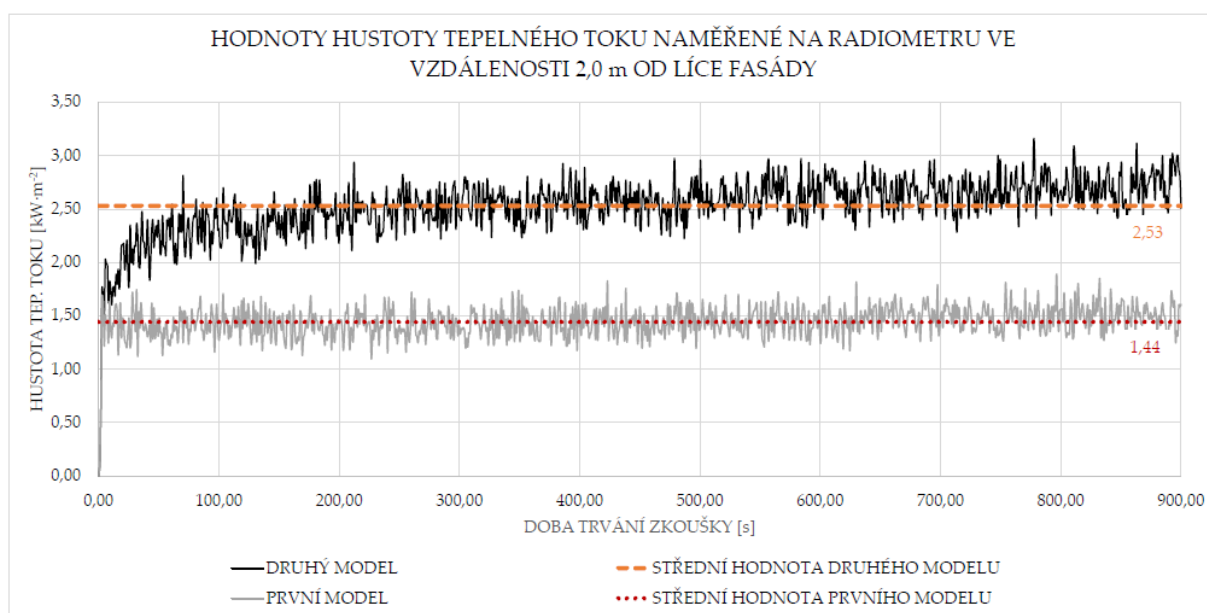
Skladba fasády byla definována v softwaru příkazem „SURF“, kde byly jako vstupní data použity vlastnosti materiálů a tloušťka jednotlivých vrstev dle výše uvedené tabulky. Dále byla fasáda definována příkazem „OBST“, který do modelu vloží objekt o



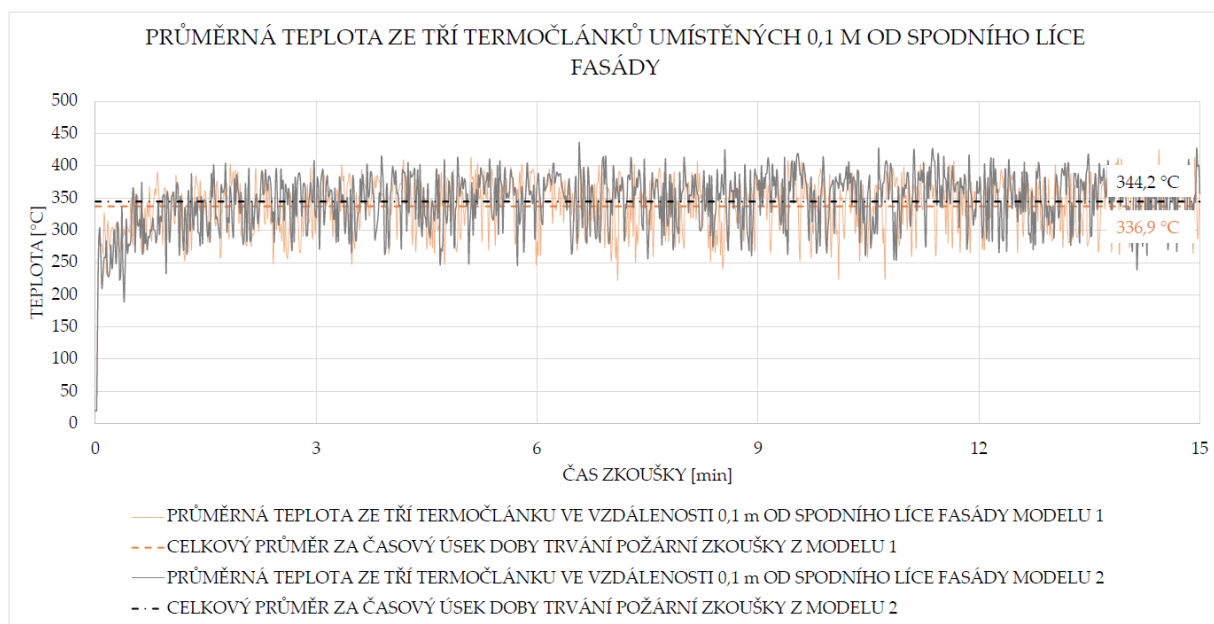
určité definované velikosti. Objektu je přiřazen „SURF“ se skladbou fasády a software již počítá s definovanými tepelně technickými charakteristikami.

6.3.1 Výsledky měření vlivu hořáku na měřící zařízení

Cílem druhého modelu v FDS bylo zjištění vlivu hořáku na měřící zařízení, především vliv na radiometr umístěný ve vzdálenosti 2,0 m od líce zkušební vzorku. Byl proveden výpočet, který trval 15 minut a byly zkoumány hodnoty naměřené na radiometru. Dále byla zkoumána teplota na termočláncích umístěných ve vzdálenosti 0,1 m od spodního líce zkušební vzorku, zda se hodnota rovná kritériím $680,0 \pm 10,0$ °C. Průměrná teplota ze tří termočlánců umístěných ve vzdálenosti 0,1 m od spodního líce zkušební vzorku po dobu 15 minut byla 679,15 °C, což odpovídá zvolenému maximu křivky vnějšího požáru. Hodnoty naměřené na radiometru ve vzdálenosti 2,0 m od líce fasády jsou vyobrazené na grafu viz Obr. 17, kde jsou pro porovnání uvedeny i hodnoty Modelu 1. Střední hodnota z průběhu měření byla stanovena na $2,53 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Průměrná hodnota je vyšší o zhruba $1,0 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ od modelu s inertní fasádou z důvodu akumulace tepla fasádou, která po určité době sálá teplo a vliv na samotný radiometr je tedy větší.



Obr. 17: Graf hodnot hustoty tepelného toku naměřených na radiometru 2,0 m od líce fasády



Obr. 18: Graf průměrných teplot ze tří termočlánků umístěných 0,1 m od spodního líce fasády z Modelu 1 a Modelu 2

6.4 Model 3 - scénář pro ověření hypotézy požární otevřenosti

Oblast zájmu již byla definována v kapitole 6.2. Tato oblast byla vymezena na zkušební vzorek, který je ohraničený stěnami držáku zkušebního tělesa a stěnou na které je umístěný radiometr.

Výpočetní síť byla stejně jako v předešlé simulaci zvolena tak, aby každý bod zájmu ležel na hranici buňky. Oproti původním modelům však byl zkušební vzorek členitější a bylo nutné výpočetní síť rozdělit na více buněk. Velikost výpočetních buněk byla nastavena ve směru osy X po 50 milimetrech, ve směru osy Y po 15 milimetrech a ve směru osy Z po 50 milimetrech. Výpočetní síť tedy tvořilo celkem 188 160 buněk, což je 10krát více než v původních dvou modelech.

Pro tento výpočet byla nadefinována dřevěná provětrávaná fasáda s tepelným izolantem z minerální vlny. Celková skladba byla navržena tak, aby tvořila podle výpočtu množství uvolněného tepla, viz rovnici 1, hranici mezi požárně uzavřenou plochou a částečně požárně otevřenou plochou.

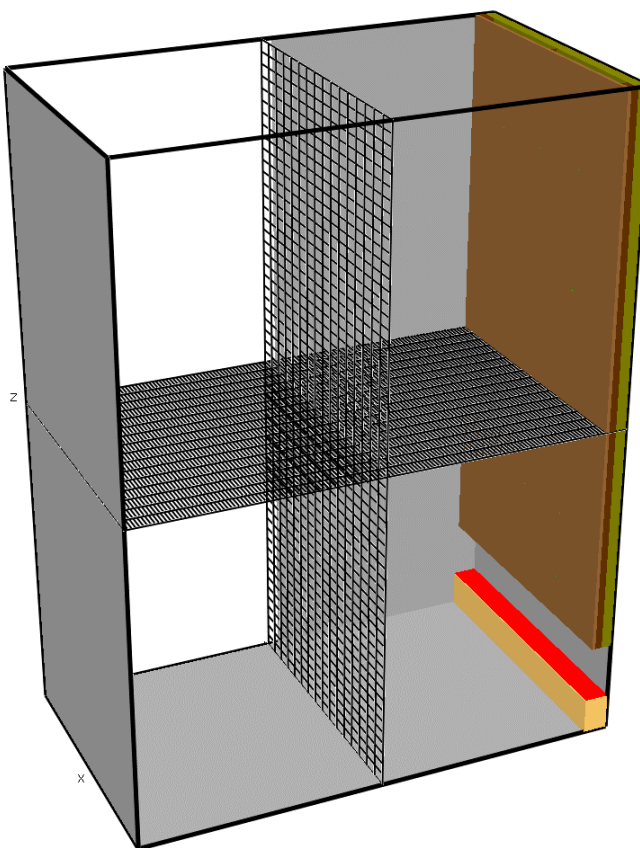
V Tab. 5 je popsána uvažovaná skladba, která byla použita v softwaru.



Tab. 5: Tabulka tepelně technických vlastností použitých materiálů v Modelu 3

Skladba fasády z exteriéru	Tloušťka materiálu [mm]	Objemová hmotnost v suchém stavu ρ_{dn} [kg·m ⁻³]	Měrná tepelná kapacita v suchém stavu c_{dn} [kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Součinitel tepelné vodivosti λ_{dn} [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Dřevěný obklad	15	650	2,51	0,22
Dřevěné latě 30×50 mm	30	650	2,51	0,22
Desky z minerálních vláken	55	100	0,80	0,04
Celková tloušťka fasády	100 mm			

Skladba byla v softwaru FDS nadefinována pomocí příkazů „OBST“, které tvořily jednotlivé objekty jako latě, obklad a izolant. K jednotlivým objektům byly přiřazeny vlastnosti pomocí příkazů „SURF“ s vlastnostmi podle Tab. 5. Schéma fasády v softwaru je znázorněno na Obr. 19, včetně řezů výpočetní sítě se znázorněnými hranicemi jednotlivých buněk.

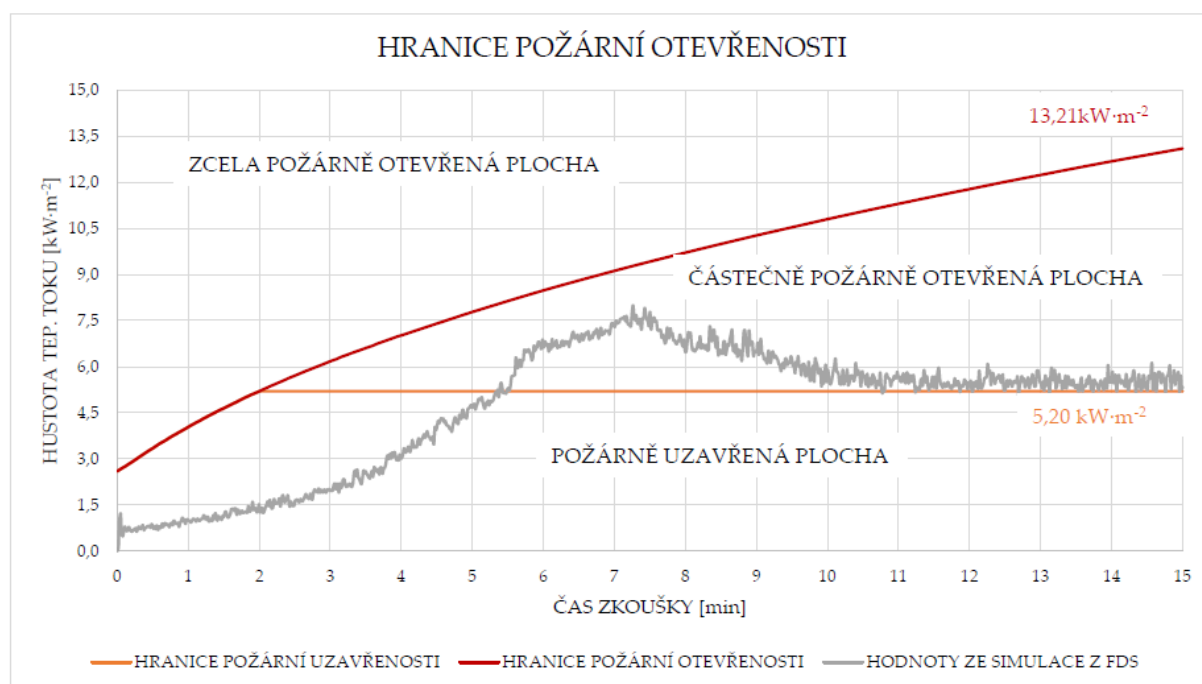


Obr. 19: Schéma výpočetního prostoru Modelu 3 použitého v softwaru FDS



6.4.1 Výsledky simulace požární zkoušky

Byl proveden výpočet v softwaru, který trval 15 minut. Byly zkoumány hodnoty naměřené na radiometru a termočláncích. Hodnoty naměřené na radiometru ve vzdálenosti 2,0 m od líce fasády jsou vyobrazené na grafu viz Obr. 20, kde jsou pro porovnání uvedeny v grafu požární otevřenosti. Hranice požární otevřenosti a uzavřenosti v grafu jsou již navýšené o vliv výkonu hořáku naměřený z Modelu 2. Z grafu je patrné, že nadefinovaná dřevěná fasáda tvoří částečně požárně otevřenou plochu. Maximálních hodnot hustoty tepelného toku dosahuje zhruba mezi šestou až osmou minutou zkoušky, dále pak přibližně kopíruje hranici požární uzavřenosti. Fasáda měla dle předpokladů tvořit hranici mezi částečně požárně otevřenou plochou a požárně uzavřenou plochou. Předpoklad této hranice byl uvažovaný podle normových výpočtů, které však téměř odpovídají simulaci matematického modelu.



Obr. 20: Graf znázorňující výsledky Modelu 3 s navrženými hranicemi požární otevřenosti.



7 Ověřovací zkoušky středního rozměru

Pro validaci softwarových výpočtů, které měly za úkol předběžně zjistit výkon hořáku, vliv hořáku na měřicí zařízení a ověření hypotézy požární otevřenosti, byly provedeny středněrozměrové požární zkoušky. Požární zkoušky byly provedeny 23. listopadu a 10. prosince 2020 v laboratoři FireLAB Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT v Praze. Zkušební prostor byl proveden tak, aby co nejvíce respektoval návrh požární zkoušky s určitou tolerancí jednotlivých prvků, které byly lehce upraveny pro danou situaci. Cílem požárních zkoušek bylo ověření hodnot simulačního softwaru FDS a získání reálných hodnot z provedených zkoušek.

7.1 Geometrie požárních zkoušek

Geometrie požární zkoušky byla provedena podle návrhu kapitoly 5.1 této práce. Zkušební prostor musel být z konstrukčních důvodů mírně upraven, ale tyto úpravy by neměly mít vliv na konečné výsledky.

Zkouška byla provedena v prostoru před požární komorou pod odtahovým zvonem pro Room Corner Test. Prostor je vyhovující pro požadavky dané ČSN ISO 13785-1 [3], kde byly upraveny některé parametry zkoušky, tak aby bylo možné splnit záměr prováděné zkoušky. Navržená zkouška měla následující parametry, které v co nejvyšší míře respektovali zmíněnou zkušební normu.

7.1.1 Zkušební rám:

Zkušební rám tvaru „U“ byl zhotovený z ocelových profilů jekl 40 × 40 mm. Rám se skládal z hlavního ramene a dvou bočních ramen. Rozměry rámu pro zkoušení jsou 1,2 × 1,0 × 2,8 m (šířka hlavního ramene × šířka bočních ramen × výška). Rám byl ve zkušebně již zhotovený pro zmíněnou ČSN ISO 13785-1 [3]. Tento rám, ale neměl totožné rozměry jako navržená zkouška a byl tedy dopraven tak, aby mohl být zkušební prostor požadovaných rozměrů.

Krytí ocelového rámu bylo řešeno pomocí cementovláknitých desek tl. 15 mm v jedné vrstvě. Zkušební prostor byl ohraničen těmito deskami, které byly uchyceny již na upravený rám. Celý rám pak tvořily z jedné strany ocelové podpěry a z druhé strany již vyhotovený rám pro současné platnou požární zkoušku. K odchylce oproti návrhu



požární zkoušky došlo u ohraničujících desek, které byly z jedné části z konstrukčních důvodů pouze do výšky 2,0 m, namísto 2,8 m. Geometrie požární zkoušky je znázorněna na Obr. 21.

7.1.2 Zkušební těleso:

Zkušební těleso o rozměrech 1,2 × 2,4 m bylo uchyceno na vyhotoveného rámu ve výšce 0,4 m nad podlahou. Zkušební těleso bylo z obou stran ohraničeno bočními rameny, která tvořily cementovláknité desky. Z důvodu zamezení tepelného namáhání betonu, jakožto nášlapné vrstvy podlahy byla na podlahu umístěna cementovláknitá deska tloušťky 15 mm. Deska nebyla umístěna pod hořákem, a neměla tak vliv na geometrii požární zkoušky.

7.1.3 Ventilační podmínky:

V prostoru před zkušebnou RCT byl přirozený přívod vzduchu s nuceným odvodem pomocí odtahového zvonu. Zde docházelo k rozdílu oproti simulaci v softwaru FDS, kde byl navržen pouze přirozený odvod i přívod vzduchu. Před začátkem požární zkoušky byl odtahový zvon uveden do provozu a po dobu 2 minut byl spuštěn, aby byly ustáleny ventilační a teplotní podmínky okolo zkušebního tělesa.

7.1.4 Měřicí zařízení

V prostoru zkušební sestavy probíhaly následující měření viz Obr. 21:

- T01, T02, T03: teploty povrchu vzorku, ve výšce 100 mm nad spodní hranou fasádního vzorku, termočlánky plášťové upevněny na povrchu zkušebního vzorku;
- T04, T05, T06: teploty povrchu vzorku, ve výšce 500 mm nad spodní hranou fasádního vzorku; termočlánky plášťové upevněny na povrchu zkušebního vzorku;
- T07, T08, T09: teploty povrchu vzorku, ve výšce 1000 mm nad spodní hranou fasádního vzorku; termočlánky plášťové upevněny na povrchu zkušebního vzorku;
- T10, T11, T12: teploty povrchu vzorku, ve výšce 1500 mm nad spodní hranou fasádního vzorku; termočlánky plášťové upevněny na povrchu zkušebního vzorku;

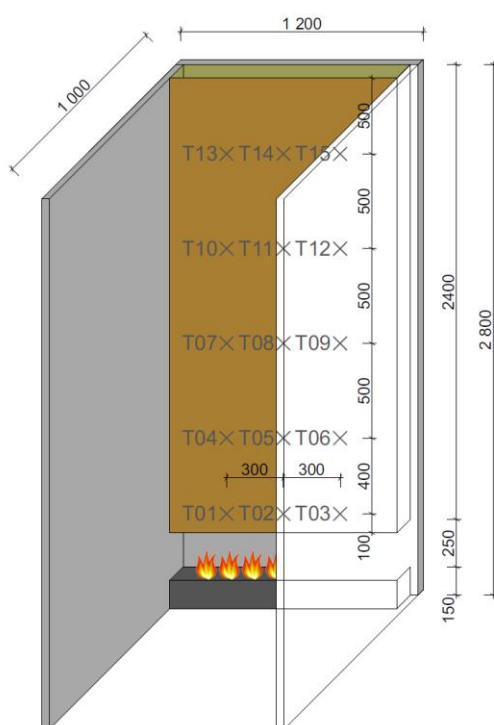


- T13, T14, T15: teploty povrchu vzorku, ve výšce 2000 mm nad spodní hranou fasádního vzorku; termočlánky plášťové upevněny na povrchu zkušební vzorku;
- R1: sálavý tepelný tok 2000 mm před vzorkem, ve výšce 1400 mm nad podlahou, tzn. ve výšce 1000 mm nad spodní hranou fasádního vzorku;

7.1.5 Zdroj požáru:

Zdrojem požáru byl hořák o rozměrech 1,20 × 0,15 × 0,10 m. Spalovaný plyn byl propan 2.5 s čistou výhřevností 46,4 MJ/kg. Výkon hořáku byl na začátku zkoušky nastaven podle předpokladu referenčního modelu ze softwaru FDS na 300 kW. Bohužel nedocházelo k dokonalému spalování plynu, který byl veden do hořáku a plyn „protékal“ mimo hořák, kde docházelo ke vzniku plamenně hořících kapek mimo zkušební prostor a k následnému hromadění plynu, kdy mohlo vzniknout v prostoru výbušné prostředí. Hořák byl na 30 vteřin odstaven a došlo k vizuální kontrole zkušebního prostoru. Poté byl hořák nastaven na výkon 100 kW podle původní hodnoty definované v ČSN ISO 13785-1 [3]. Hořák byl na tento výkon nastaven po dobu trvání zkoušky a tedy 15 minut.

NÁVRH POŽÁRNÍ ZKOUŠKY



PROVEDENÍ POŽÁRNÍ ZKOUŠKY



Obr. 21: Návrh a provedení požární zkoušky



7.2 Korekce matematických modelů

Původní matematické modely byly vypočteny s výkonem hořáku 300 kW. Tento výkon hořáku však nebylo možné na reálném hořáku generovat a musel být upraven na výkon 100 kW. Aby bylo možné porovnat matematické modely s provedenými požárními zkouškami středního rozměru, bylo nutné matematické modely přepočítat. Modely zůstaly zcela totožné s výjimkou výkonu hořáku, který byl nově nastaven na 100 kW. Matematické modely s tímto výkonem nevykazovaly kýžené teploty na termočláncích umístěných 0,1 m od spodního líce fasády. Porovnání nově přepočteného Modelu 1 a Modelu 2 s reálnou požární zkouškou jsou uvedeny na Obr. 23.

7.3 Požární zkouška pro ověření vlivu hořáku na měřicí zařízení

Zkušební vzorek fasády byl zhotoven podle běžných konstrukčních pravidel jako kontaktní zateplovací systém s tepelným izolantem z minerální vlny. V Tab. 6 a na Obr. 22, které jsou uvedeny níže, je popsána skladba fasády s popisem jednotlivých materiálů. Kontaktní zateplovací systém byl z hlediska kmenových norem požární bezpečnosti hodnocen jako požárně uzavřená plocha, přičemž nedocházelo k odhořívání jednotlivých materiálů a docházelo pouze k akumulaci uvolněného tepla jednotlivými prvky.

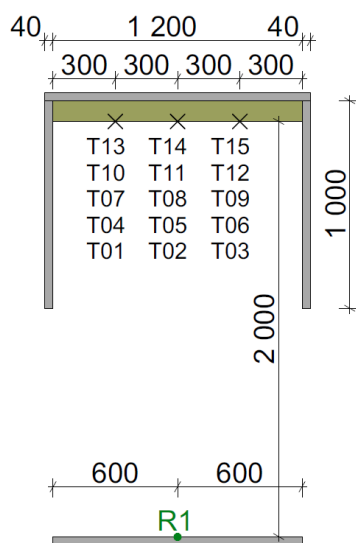
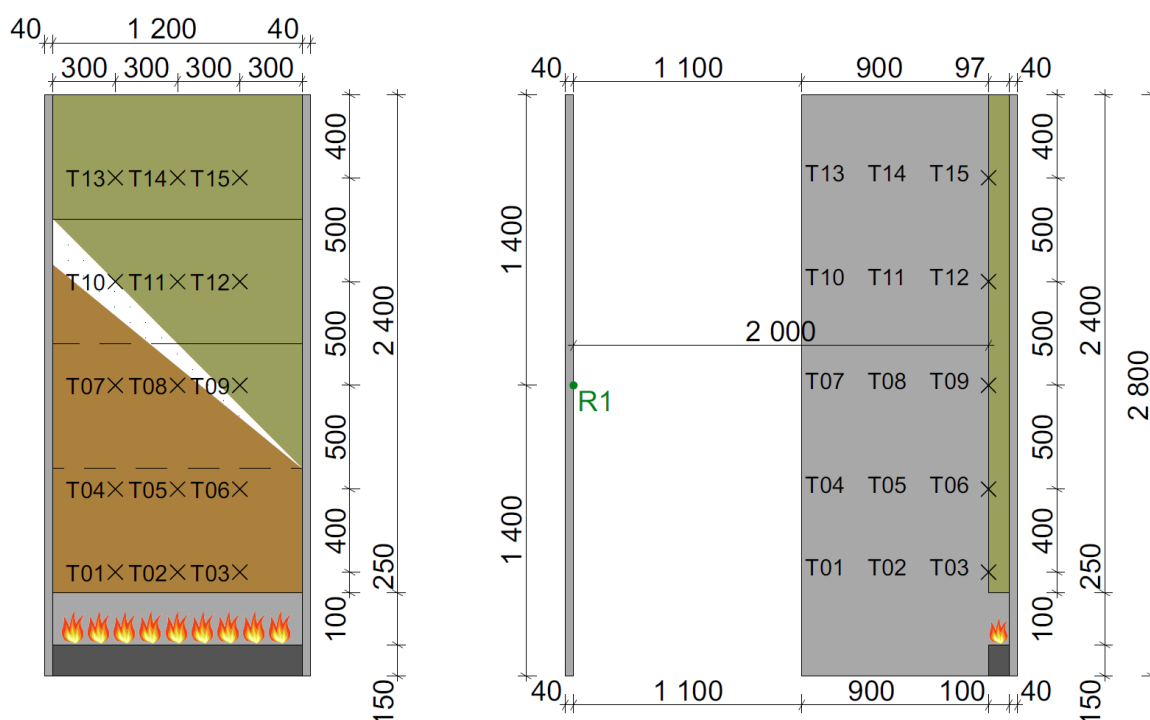
Tab. 6: Popis a materiálové vlastnosti zkoušených prvků ve zkušebním tělese

Skladba fasády (z interiéru)	tloušťka [mm]	objemová hmotnost [kg/m ³]	součinitel tep. vodivosti [W/(m·K)]	měrná tepelná kapacita [J/(kg·K)]	třída reakce na oheň
Cementovláknitá deska Fermacell Vapor (podklad)	15,0	1150	0,320	1100	A1
Lepící a stěrkový tmel	10	1500	0,26	1300	A1
Desky z minerálních vláken 1200 x 600 mm lepené tmelem	80	100	0,040	800	A1



Lepící a sěrťkový tmel s vloženou skleněnou sířovinou	5	1500	0,26	1300	A1
Středně zrnitá silikátová omítka	2	1800	0,70	1050	A1
Celková tloušťka	97				

Pozn.: Při reálné zkoušce byly použity materiály, které měli maximální odchylku 10 % ve výše uvedených vlastnostech mimo rozměrových vlastností



LEGENDA:

- MINERÁLNÍ VLNA
- STĚRKOVÝ TMEL S VLOŽENOU ARM. TKANINOU
- SILIKÁTOVÁ OMÍTKA
- R ● RADIOMETR
- T × TERMOČLÁNKY

Obr. 22: Schéma provedené požární zkoušky

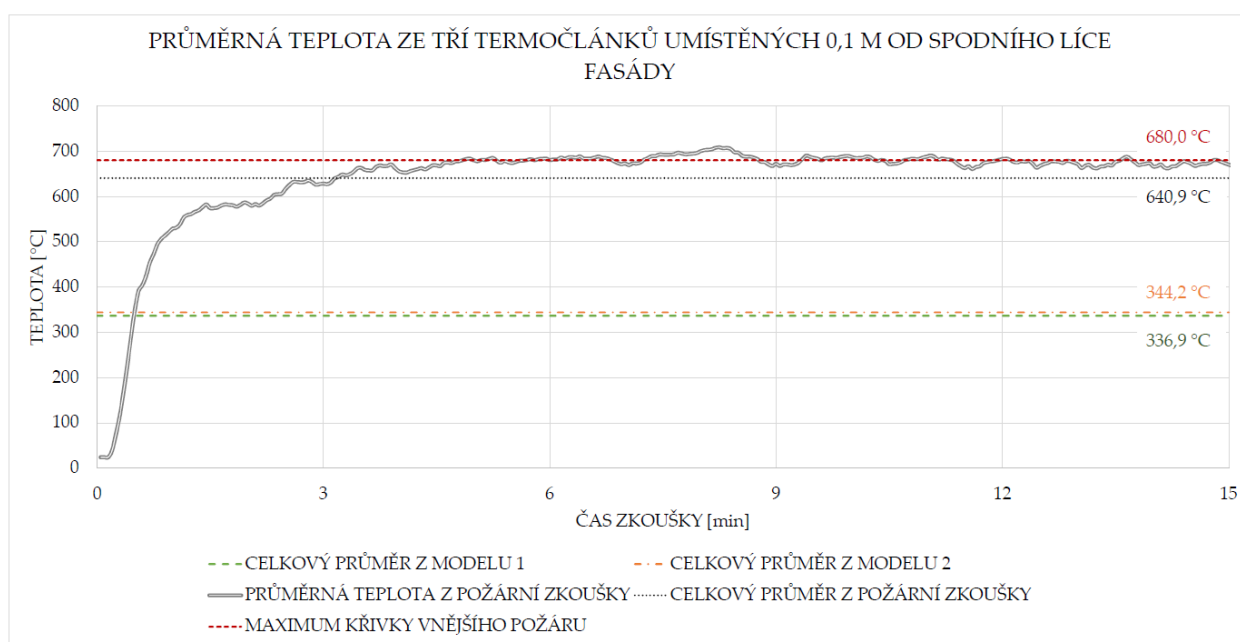


7.3.1 Výsledky požární zkoušky

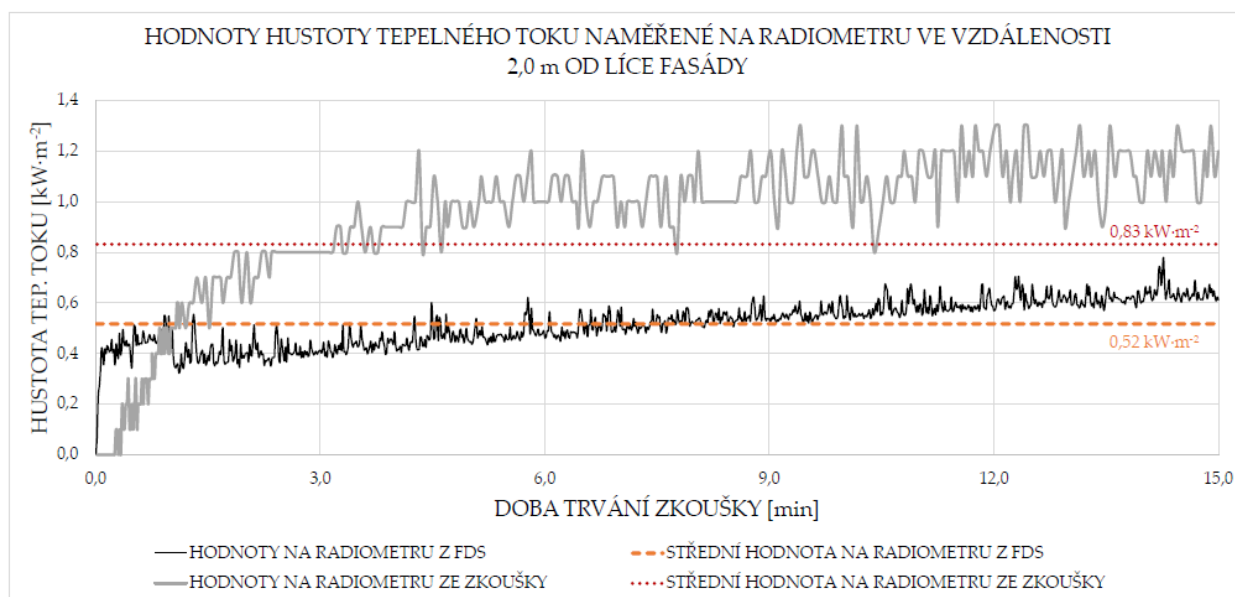
Dle předpokladů nedocházelo k žádnému rozhořívání a jednalo se pouze o akumulaci tepla zkušebním tělesem, které bylo následně spolu se sálavým teplem hořáku zaznamenáváno pomocí radiometru. Plameny dosahovaly u kontaktního zateplovacího systému výšky maximálně 1,0 m od spodního líce fasády.

Výsledky požární zkoušky jsou převedeny do grafu společně s hodnotami ze simulace v FDS a jsou znázorněny na Obr. 23. Jsou vytvořeny dva grafy, přičemž jeden zobrazuje průměrnou teplotu ze tří termočlánků umístěných 0,1 m od spodního líce fasády a druhý zobrazuje hustotu tepelného toku na radiometru. Je patrné, že hodnoty z reálné požární zkoušky jsou oproti simulaci v softwaru vyšší. Ačkoliv přepočtené matematické modely poukazyvaly na skutečnost, že při výkonu hořáku 100 kW nedojde k dosažení potřebných hodnot maximální teploty křivky vnějšího požáru, tak při reálné požární zkoušce tyto teploty byly dosaženy, a dokonce v průběhu zkoušky téměř kopírovaly hranici 680,0 °C. Rozdíl mezi celkovou průměrnou teplotou ze simulace Modelu 2 a reálné požární zkoušky byl zhruba 300 °C. Vliv výkonu hořáku byl taktéž porovnán a rozdíl celkových průměrů naměřených hodnot se liší o 0,31 kW·m⁻².

Křivky průměrné teploty u Obr. 23 definují průměrnou teplotu ze tří termočlánků, které jsou proměnné v čase. Křivky celkového průměru definují průměrnou teplotu ze tří termočlánků za časový úsek celé požární zkoušky.

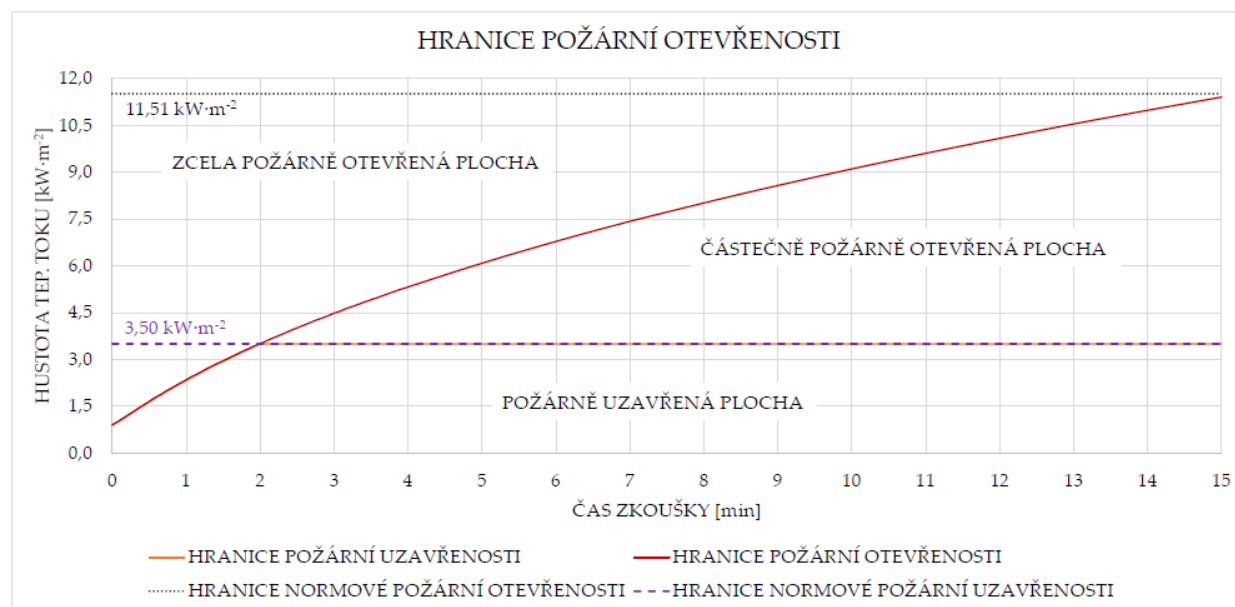


Obr. 23: Graf s naměřenými hodnotami průměrných teplot z FDS a reálné požární zkoušky



Obr. 24: Graf s naměřenými hodnotami hustoty tepelného toku z FDS a reálné požární zkoušky

Hodnota představující vliv hořáku na radiometr z reálné požární zkoušky byla zapracována do diagramu požární otevřenosti a jednotlivé hranice byly o tuto hodnotu upraveny. Oproti predikci matematických modelů byly jednotlivé hranice sníženy. Diagram požární otevřenosti je znázorněn na Obr. 25, kde jsou zároveň zapracovány hranice normové požární otevřenosti, které jsou po dobu požární zkoušky konstantní.



Obr. 25: Graf s naměřenými hodnotami průměrných teplot z FDS a reálné požární zkoušky



7.3.2 Fotodokumentace požární zkoušky



a)



b)



c)



d)



e)



f)

Obr. 26: Provedená požární zkouška: a) Požární zkouška v 0. minutě

b) Požární zkouška ve 3. minutě

c) Požární zkouška v 6. minutě

d) Požární zkouška v 9. minutě

e) Požární zkouška ve 12. minutě

f) Požární zkouška v 15. minutě



7.4 Požární zkouška pro ověření hypotézy požární otevřenosti

Pro ověření hodnot daných simulací dřevěné provětrávané fasády byla provedena reálná požární zkouška. Zkušební prostor byl proveden totožně jako při požární zkoušce, která ověřovala vliv hořáku na měřený tepelný tok. Cílem této požární zkoušky bylo ověření hodnot ze softwaru FDS a zařídění fasády dle požární otevřenosti. Pro zařídění bylo využito vytvořeného diagramu.

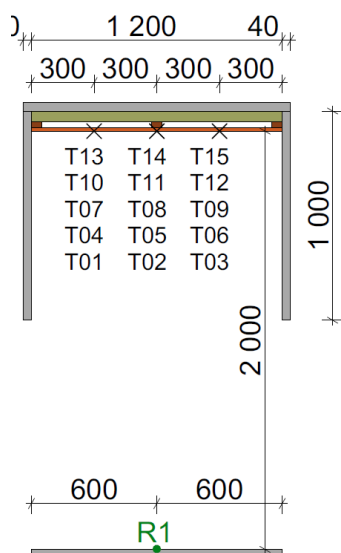
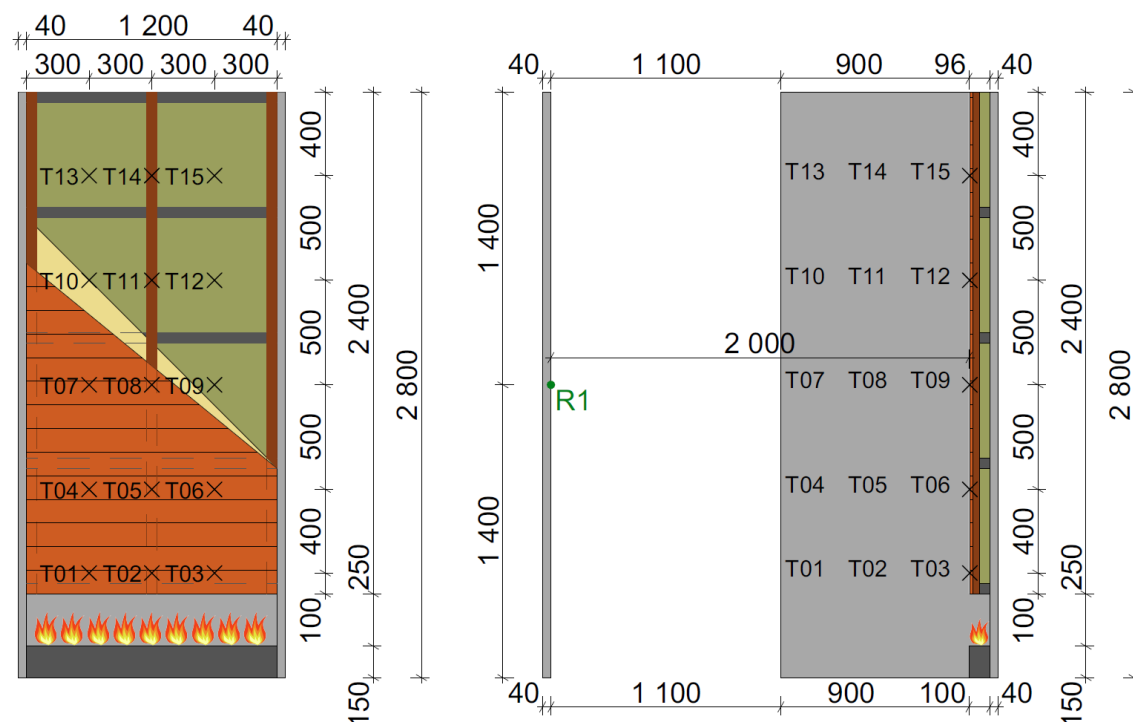
Zkušební vzorek dřevěné provětrávané fasády byl zhotoven podle konstrukčních pravidel používaných ve stavebnictví. V Tab. 7 a na Obr. 27, které jsou uvedeny níže, je popsána skladba větrané fasády s popisem jednotlivých materiálů. Geometrie byla provedena podle návrhu kapitoly 5.1 této práce.

Tab. 7: Popis a materiálové vlastnosti zkoušených proků ve zkušebním tělese

Skladba fasády (z interiéru)	tloušťka [mm]	objemová hmotnost [kg/m ³]	součinitel tep. vodivosti [W/(m·K)]	měrná tepelná kapacita [J/(kg·K)]	třída reakce na oheň
Cementovláknitá deska Fermacell Vapor (podklad)	15,0	1150	0,320	1100	A1
CW profily 50/50/0,6 s vloženou tepelnou izolací z minerální vlny 1200 x 600 mm, kotveny k podkladu pomocí samořezných vrtů s osovou vzdáleností 600 mm	50,0	100	0,040	800	A1
Difúzní fólie kotvena ke střešním latím pomocí ocelových spon	0,5	280	0,30	900	E
Střešní latě smrkové 30x50 kotveny pomocí samořezných vrtů delší stranou k CW profilům s osovou vzdáleností 575 mm	30,0	455	0,22	2510	D
Obklad ze smrkových palubek	16,0	455	0,22	2510	D



Celková tloušťka	96,5			
Pozn.: Při reálné zkoušce byly použity materiály, které měli maximální odchylku 10 % ve výše uvedených vlastnostech mimo rozměrových vlastností				



LEGENDA:

- MINERÁLNÍ VLNA
- CW PROFILY 50/50/0,6
- STŘEŠNÍ LATĚ 30x50
- DIFÚZNÍ FÓLIE
- OBKLADOVÉ PALUBKY
- R1 RADIOMETR
- × T× TERMOČLÁNKY

Obr. 27: Schéma provedené požární zkoušky

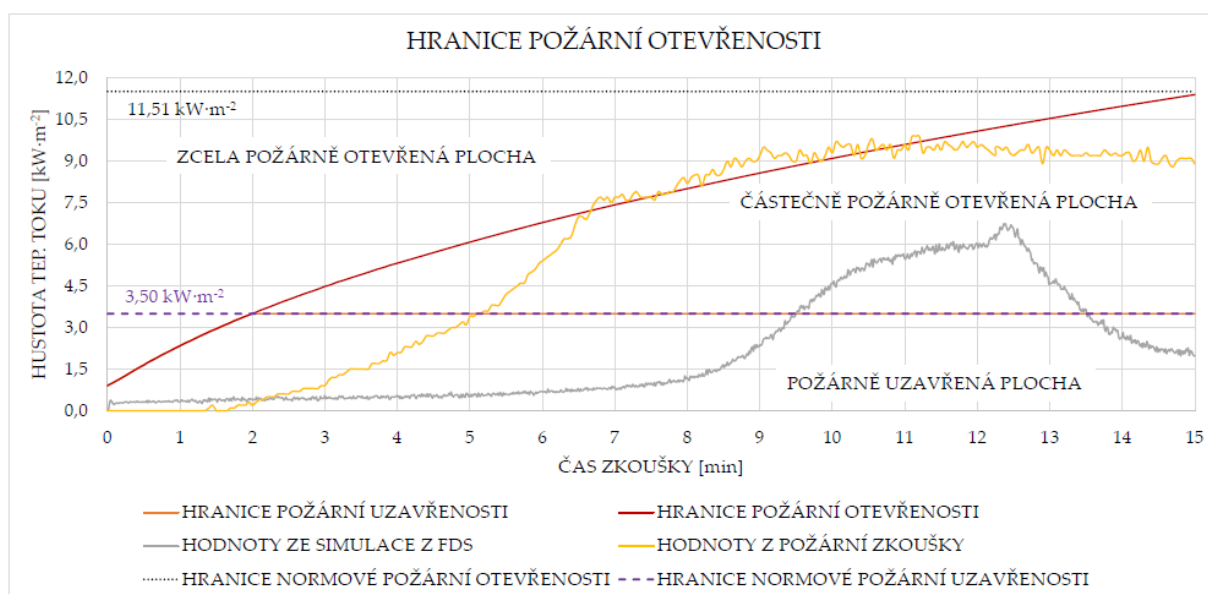


7.4.1 Výsledky požární zkoušky

Po zahájení zkoušky téměř ihned docházelo k prošlehávání plamene větranou mezerou na horním okraji zkušebního tělesa. Na líci fasády docházelo k rozšiřování plamene, který téměř ihned zasahoval na hranici 0,5 m od spodního líce fasády. Zhruba po 4 minutách dosáhl plamen hranice 1,0 m, zhruba v polovině 5. minuty dosáhl hranice 1,5 m, v 5. minutě dosáhl hranice 2,0 m a zhruba od poloviny 6. minuty byl plamen rozšířen po celém líci zkušebního vzorku.

Numerické výsledky požární zkoušky jsou převedeny do grafu společně s hodnotami ze simulace v FDS. Pro znázornění jsou výsledky převedeny do diagramu požární otevřenosti viz Obr. 28. Z grafu je patrné, že výsledky reálné požární zkoušky vykazují vyšší hustotu tepelného toku než provedená simulace v softwaru FDS. Maximální hodnota hustoty tepelného toku se liší o zhruba $3,2 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Požární zkouška měla tvořit hranici mezi požárně uzavřenou a částečně požárně otevřenou plochou, nicméně podle naměřených hodnot tvořila fasáda hranici mezi částečně požárně otevřenou plochou a zcela požárně otevřenou plochou. Vytvořený diagram požární otevřenosti respektuje ve fázi rozhořívání teploty normové teplotní křivky, tzn. že nadefinovaná fasáda měla mezi polovinou sedmé minuty až do jedenácté minuty téměř normový rozvoj teplot a tím i sálavého toku.

Dřevěná provětrávaná fasáda vykazuje vysoké riziko rozšíření plamene mezi požárními úseky téhož objektu a zároveň mezi sousedními objekty v husté zástavbě. Použití těchto typu fasád není požárním kodexem českých technických norem omezeno u objektů s požární výškou do 12,0 m. Objekt s touto požární výškou může představovat např. bytový dům se čtyřmi nadzemními podlažími a konstrukční výškou podlaží 3,5 m. V případě požáru, který by mohl představovat odpadkový koš vznícený v bezprostřední blízkosti této fasády, by mohlo dojít k rozšíření požáru do bytových jednotek ve všech podlažích, a to během pouhých pár minut od vzniku požáru. Cílem této požární zkoušky bylo také poukázat na šíření plamene větranou vzduchovou mezerou, která nebude žádným způsobem ošetřena. Z provedené požární zkoušky bylo patrné, že větraným fasádám by mělo být věnováno více pozornosti, především s ohledem na konstrukční požadavky. Šíření plamene větranou mezerou by mělo být zamezeno i u objektů s požární výškou do 12,0 m.



Obr. 28: Graf s naměřenými hodnotami hustoty tepelného toku z FDS a reálné požární zkoušky v diagramu požární otevřenosti

Diagram požární otevřenosti má již upravené jednotlivé hranice požární otevřenosti, které byly upraveny o vliv hořáku, který byl stanovený požární zkouškou s kontaktním zateplovacím systémem. V grafu jsou zároveň znázorněny normové hranice požární otevřenosti. Pokud by nebyla respektována vytvořená hranice, která respektuje rozhořívání podle normové teplotní křivky, tvořila by fasáda bez dalších průkazů částečně požárně otevřenou plochu. Maximální hodnota hustoty tepelného toku naměřená na radiometru byla $9,9 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, což odpovídá po vydělení polohovým faktorem hodnotě $55,6 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ na líci fasády.

7.4.2 Fotodokumentace požární zkoušky

Fotografie z požární zkoušky jsou uvedeny na Obr. 29, kde je chronologicky znázorněn průběh zkoušky s časovým intervalem 3 minut. V průběhu zkoušky docházelo rychlému rozšíření plamene a následnému odpadávání dřevěného obkladu. Zaznamenávací zařízení, které bylo využito pro videozáznam požární zkoušky, nevydrželo sálavý tepelný tok fasády a došlo k poškození. Záznam měl od zhruba 10. minuty rozostřený obraz a pro účely vizuální kontroly není použitelný.



a)



b)



c)



d)



e)



f)

Obr. 29: Provedená požární zkouška: a) Požární zkouška v 0. minutě

b) Požární zkouška ve 3. minutě

c) Požární zkouška v 6. minutě

d) Požární zkouška v 9. minutě

e) Požární zkouška ve 12. minutě

f) Poškozené zaznamenávací zařízení



8 Vyhodnocení a shrnutí problematiky

Cílem této práce bylo poukázat na skutečnost, že normové stanovení požární otevřenosti fasád je konzervativní a lze zajistit způsob, který by mohl stanovit typ požární otevřenosti přesněji s pomocí požární zkoušky. Stanovení požární otevřenosti může být v mnoha případech klíčovým bodem při návrhu objektu, především jeho vnějšího pláště, od kterého mohou nebo nemusí být stanoveny odstupové vzdálenosti.

Pro předběžné hodnoty bylo využito matematických modelů, které měly predikovat reálné požární zkoušky s podobnými hodnotami. Byly definovány tři matematické modely, které byly chronologicky vypočteny tak, aby bylo možné stanovit přesný postup zkoušky. První model byl využit pro zjištění potřebného výkonu hořáku, tak aby ve vzdálenosti 0,1 m od spodního líce fasády byly dosaženy maximální teploty křivky vnějšího požáru. Druhý model měl za cíl zjistit vliv výkonu hořáku na měřící zařízení a třetí model byl použit pro ověření hypotézy požární otevřenosti.

V návaznosti na matematické modely byly provedeny ověřovací zkoušky středního rozměru, které byly provedeny totožně jako matematické modely. Vzájemné hodnoty mezi matematickými modely a provedenými zkouškami měly být porovnány a na základě těchto hodnot měl být vytvořen diagram, který by zařidřoval fasády do typu požární otevřenosti na základě požární zkoušky.

8.1 Zhodnocení matematických modelů

Matematické modely, které byly vypočteny v softwaru FDS předpovídaly, že výkon hořáku bude muset být nastaven na 300 kW, tak aby bylo možné na fasádu aplikovat maximální teploty křivky vnějšího požáru. Tento předpoklad byl vyvrácen reálnou požární zkouškou, kde nebylo možné z technických důvodů kýžený výkon generovat a zároveň bylo reálnou požární zkouškou prokázáno, že potřebné teploty byly dosaženy i v případě, že výkon hořáku byl nastaven na 100 kW. Pro možnost porovnání hodnot z matematických modelů a z reálných požárních zkoušek bylo nutné matematické modely přepočítat. Přepočet byl nutný z důvodu odlišného výkonu hořáku, který má zásadní vliv na naměřené hodnoty.

Přepočet matematických modelů poukázal na skutečnost, že při výkonu hořáku, který byl nastaven na 100 kW, nejsou dosaženy teploty, které by simulovaly maximální



teploty křivky vnějšího požáru. Jedním z důvodů může být „hrubá“ síť matematického modelu, který by při více výpočetních buňkách mohl stanovit přesnější výsledky. Dále by mohl rozdíl způsobovat nucený odvod vzduchu a uzavřený prostor, kde byl po čas zkoušky ohříván vzduch a namísto 20 °C okolního vzduchu u matematických modelů byl vzduch s větší teplotou.

8.2 Zhodnocení provedených požárních zkoušek

Požární zkoušky byly společně s matematickými modely zhotoveny podle návrhu této práce, přesněji kapitoly 5.1. Provedené požární zkoušky měly za cíl ověřit předběžné hodnoty získané z matematických modelů. Jak již bylo zmíněno, při reálných požárních zkouškách musel být oproti původnímu návrhu upraven výkon hořáku. Z naměřených hodnot požárních zkoušek a přepočtených matematických modelů s upraveným výkonem je patrné, že naměřené hodnoty vykazují vyšší hodnoty v případě reálných požárních zkoušek. Hodnoty se s ohledem na jednotlivá kritéria liší o velký rozdíl, který mohl být způsobený uzavřeným prostorem nebo odtahovým zvonem.

Požární zkouška, která byla provedena za účelem ověření hypotézy požární otevřenosti, konkrétně poukázání na konzervativnost normových výpočtů vykazovala sálavý tepelný tok, který sice tvořil částečně požárně otevřenou plochu, ale podle normových výpočtů měl být na hranici mezi požárně uzavřenou plochou a částečně požárně otevřenou plochou, k čemuž se hodnoty neblížily. Tato hypotéza byla požární zkouškou vyvrácena. Důvodem rychlého rozšíření plamene mohla být vzduchová větraná mezera mezi dřevěným obkladem a tepelným izolantem, případně samotný dřevěný obklad, který byl bez jakýchkoliv povrchových úprav (např. nátěr), které by mohly rychlost šíření plamene po povrchu snížit.



9 Závěr

Provedené požární zkoušky byly z důvodu naměřených hodnot velice důležité a s hodnotami je možné dále pracovat. Vytvořený diagram, který by přímo zařídil zkušební vzorky do požární otevřenosti respektuje v tomto návrhu rozhořívání podle normové teplotní křivky. Jednotlivé normové hranice požární otevřenosti jsou však podobu zkoušky konstantní a v případě zařídění zkušebních vzorků do jednotlivých typů požární otevřenosti by hrály konstantní křivky zásadní roli. Jak již bylo zmíněno, tak v určitém pohledu nedávají konstantní křivky smysl, protože u vzorků nemůže dojít k vykazování např. $60 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ v počáteční fázi požáru. Otázkou je, zda by měly hranice respektovat rozhořívání podle normové teplotní křivky nebo zda by měl být narůst větší.

První požární zkouškou byl zjištěn výkon hořáku, který generoval kýžené teploty, a zároveň byl zkouškou zjištěn vliv sálavého tepla hořáku na naměřené hodnoty. Bylo zjištěno, že v případě výkonu hořáku 100 kW je u paty zkušební vzorku generována teplota odpovídající maximální hodnotě křivky vnějšího požáru. Vzhledem k tomu, že fasádní systémy jsou trvale vystaveny venkovnímu prostředí, lze tyto teploty považovat za vyhovující z důvodu zatížení vzorku mírnějšími podmínkami než ve vnitřním prostředí. Hořák o výkonu 100 kW vykazoval na radiometru vzdáleném 2,0 m od líce fasády hustotu tepelného toku $0,83 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. S touto hodnotou musí být při zařídování požární otevřenosti uvažováno, jako se sálavým teplem, které je vykazováno navíc mimo sálavé teplo zkušební vzorku.

Druhou požární zkouškou bylo zjištěno, že normové stanovení požární otevřenosti není výrazně konzervativní, protože i tak tenký obklad, který je na hranici PUP a ČPOP dle normových výpočtů, způsoboval tepelný tok atakující hodnoty zcela POP při reálné požární zkoušce. Otázkou je, zda by stejně provedená větraná dřevěná fasáda s výrazně větší tloušťkou obkladu nevykazovala podobné sálavé teplo, aniž by bylo toto teplo násobeno tloušťkou obkladu – tedy že by experiment vykazoval stejné hodnoty uvolněného tepla, přičemž podle normového výpočtu by obklad již patřil ke zcela POP. V tomto ohledu by bylo dobré ještě upravit kritéria, respektive vést diskusi, zda by se buď neměla zvýšit hranice křivek ČPOP a POP, nebo zda by kritériem nemělo být překročení dané hodnoty v určitém časovém minimálním úseku. Tak jako tak experiment zcela jasně ukázal potřebu revize určování požární otevřenosti konstrukcí.



Návrh požární zkoušky dále umožňuje provést jakoukoliv skladbu zkušebního tělesa, od které je možné stanovit hustotu tepelného toku a tím přesně stanovit typ požární otevřenosti, čehož by se dalo využít u systémových skladeb, které jsou konstrukčního druhu DP3 a jsou tvořeny nehomogenní skladbou, u které by se obtížně stanovovalo množství uvolněného tepla, popř. hustota tepelného toku.



Zdrojový kód ze softwaru FDS pro Model 1

```
&HEAD CHID='DP REF'/
&TIME T_END=900.0/
***vypocetni oblast****
----- NAVRŽENÁ ZKOUŠKA -----
&MESH ID='1', IJK=16,21,56, XB=0.0, 1.2, 0.0, 2.1, 0.0, 2.8 /           1 ZKOUŠKA
&REAC FUEL = 'PROPANE'
    SOOT_YIELD = 0.01
    CO_YIELD = 0.01 /
----- MATERIÁLY -----
&MATL ID='BETON'
    CONDUCTIVITY = 1.400
    SPECIFIC_HEAT = 1.000
    DENSITY =          2500 / zdroj: databáte tzb-info.cz
&MATL ID='FERMACELL'
    CONDUCTIVITY = 0.320
    SPECIFIC_HEAT = 1.100
    DENSITY =          1150 / zdroj: databáte tzb-info.cz
----- SURF -----
&SURF ID='PODLAHA'
    MATL_ID = 'BETON'
    THICKNESS = 0.25,
    RGB = 170,170,170 /
&SURF ID='STENA'
    MATL_ID = 'FERMACELL'
    THICKNESS = 0.015,
    RGB = 170,170,170 /
----- BOUNDARY -----
```



----- STĚNY -----

&OBST XB=0.0, 1.2, 0.0, 0.0, 0.0, 2.8, SURF_ID='STENA' / STĚNA 1

&VENT XB=0.0, 0.0, 0.0, 1.1, 0.0, 2.8, SURF_ID='OPEN' / STĚNA 2

&VENT XB=0.0, 0.0, 1.1, 2.0, 0.0, 2.8, SURF_ID='STENA' / STĚNA 3

&VENT XB=0.0, 1.2, 2.1, 2.1, 0.0, 0.4, SURF_ID='STENA' / STĚNA 4

&OBST XB=0.0, 1.2, 2.0, 2.1, 0.4, 2.8, SURF_ID='INERT' / VZOREK

&VENT XB=1.2, 1.2, 1.1, 2.0, 0.0, 2.8, SURF_ID='STENA' / STĚNA 6

&VENT XB=1.2, 1.2, 0.0, 1.1, 0.0, 2.8, SURF_ID='OPEN' / STĚNA 7

----- STROPY/PODLAHA -----

&VENT XB=0.0, 1.2, 0.0, 2.1, 2.8, 2.8, SURF_ID='OPEN' / STROP

&VENT XB=0.0, 1.2, 0.0, 2.1, 0.0, 0.0, SURF_ID='PODLAHA' / PODLAHA

----- HOŘÁK -----

&OBST XB=0.0, 1.2, 2.0, 2.1, 0.0, 0.15, SURF_ID='INERT' / HOŘÁK

&VENT XB=0.0, 1.2, 2.0, 2.1, 0.15, 0.15, SURF_ID='TOK' / HLEDANÝ TOK

&SURF ID='TOK', COLOR = 'RED', HRRPUA = 2500 / 300 kW/m2, PLOCHA 0,12 m2

&SURF ID='TOK', COLOR = 'RED', HRRPUA = 833.3 / 100 kW/m2, PLOCHA 0,12 m2

----- MĚŘENÍ -----

&BNDF QUANTITY = 'WALL TEMPERATURE'/

&BNDF QUANTITY = 'GAUGE HEAT FLUX'/

&ISOF QUANTITY = 'TEMPERATURE', VALUE (1)=200.0/

&ISOF QUANTITY = 'TEMPERATURE', VALUE (1)=400.0/

&ISOF QUANTITY = 'TEMPERATURE', VALUE (1)=600.0/

&ISOF QUANTITY = 'TEMPERATURE', VALUE (1)=680.0/

&ISOF QUANTITY = 'TEMPERATURE', VALUE (1)=800.0/

&SLCF PBX = 0.01, QUANTITY = 'TEMPERATURE', VECTOR = .TRUE./

&SLCF PBX = 0.60, QUANTITY = 'TEMPERATURE', VECTOR = .TRUE./

&SLCF PBX = 1.19, QUANTITY = 'TEMPERATURE', VECTOR = .TRUE./

&DEVC XYZ= 0.6, 0.01, 1.4, QUANTITY = 'RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0, ID='RADIOMETR' /



```
&DEVC XYZ= 0.6, 0.6, 1.4, QUANTITY = 'RADIATIVE HEAT FLUX GAS',  
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0, ID='RADIOMETR2' /
```

```
&DEVC XYZ= 0.3, 1.99, 0.5, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK1' /
```

```
&DEVC XYZ= 0.6, 1.99, 0.5, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK2' /
```

```
&DEVC XYZ= 0.9, 1.99, 0.5, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK3' /
```

```
&DEVC XYZ= 0.3, 1.99, 0.9, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK4' /
```

```
&DEVC XYZ= 0.6, 1.99, 0.9, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK5' /
```

```
&DEVC XYZ= 0.9, 1.99, 0.9, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK6' /
```

```
&DEVC XYZ= 0.3, 1.99, 1.4, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK7' /
```

```
&DEVC XYZ= 0.6, 1.99, 1.4, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK8' /
```

```
&DEVC XYZ= 0.9, 1.99, 1.4, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK9' /
```

```
&DEVC XYZ= 0.3, 1.99, 1.9,QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK10' /
```

```
&DEVC XYZ= 0.6, 1.99, 1.9, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK11' /
```

```
&DEVC XYZ= 0.9, 1.99, 1.9, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK12' /
```

```
&DEVC XYZ= 0.3, 1.99, 2.4, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK13' /
```

```
&DEVC XYZ= 0.6, 1.99, 2.4, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK14' /
```

```
&DEVC XYZ= 0.9, 1.99, 2.4, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK15' /
```

```
&TAIL /
```



Zdrojový kód ze softwaru FDS pro Model 2

```
&HEAD CHID='DP MW'/
&TIME T_END=900.0/
****vypocetni oblast****
----- NAVRŽENÁ ZKOUŠKA -----
&MESH ID='1', IJK=16,21,56, XB=0.0, 1.2, 0.0, 2.1, 0.0, 2.8 /           1 ZKOUŠKA
&REAC FUEL = 'PROPANE', SOOT_YIELD = 0.01, CO_YIELD = 0.01 /
----- MATERIÁLY -----
&MATL ID='BETON'
    CONDUCTIVITY = 1.400, SPECIFIC_HEAT = 1.000, DENSITY = 2500 /
&MATL ID='FERMACELL'
    CONDUCTIVITY = 0.320
    SPECIFIC_HEAT = 1.100
    DENSITY =          1150 / zdroj: databáte tzb-info.cz
&MATL ID='MW'
    CONDUCTIVITY = 0.040
    SPECIFIC_HEAT = 0.800
    DENSITY =          100.0 / zdroj: databáte tzb-info.cz
&MATL ID='OMÍTKA'
    CONDUCTIVITY = 0.700
    SPECIFIC_HEAT = 1.050
    DENSITY =          1800.0 / zdroj: databáte tzb-info.cz
&MATL ID='TMEL'
    CONDUCTIVITY = 0.260
    SPECIFIC_HEAT = 1.300
    DENSITY =          1500.0 / zdroj: databáte tzb-info.cz
----- SURF -----
&SURF ID='PODLAHA'
```



```

MATL_ID = 'BETON'
THICKNESS = 0.25,
RGB = 170,170,170 /
&SURF ID='STENA'
MATL_ID = 'FERMACELL'
THICKNESS = 0.015,
RGB = 170,170,170 /
&SURF ID='VZOREK'
MATL_ID(1:4,1) = 'OMÍTKA','TMEL','MW','TMEL'
THICKNESS (1:4) = 0.002,0.005,0.800,0.010
RGB = 153,102,51 /
----- BOUNDARY -----
----- STĚNY -----
&OBST XB=0.0, 1.2, 0.0, 0.0, 0.0, 2.8, SURF_ID='STENA' / STĚNA 1
&VENT XB=0.0, 0.0, 0.0, 1.1, 0.0, 2.8, SURF_ID='OPEN' / STĚNA 2
&VENT XB=0.0, 0.0, 1.1, 2.0, 0.0, 2.8, SURF_ID='STENA' / STĚNA 3
&VENT XB=0.0, 1.2, 2.1, 2.1, 0.0, 0.4, SURF_ID='STENA' / STĚNA 4
&OBST XB=0.0, 1.2, 2.0, 2.1, 0.4, 2.8, SURF_ID='VZOREK' / VZOREK
&VENT XB=1.2, 1.2, 1.1, 2.0, 0.0, 2.8, SURF_ID='STENA' / STĚNA 6
&VENT XB=1.2, 1.2, 0.0, 1.1, 0.0, 2.8, SURF_ID='OPEN' / STĚNA 7
----- STROPY/PODLAHA -----
&VENT XB=0.0, 1.2, 0.0, 2.1, 2.8, 2.8, SURF_ID='OPEN' / STROP
&VENT XB=0.0, 1.2, 0.0, 2.1, 0.0, 0.0, SURF_ID='PODLAHA' / PODLAHA
----- HOŘÁK -----
&OBST XB=0.0, 1.2, 2.0, 2.1, 0.0, 0.15, SURF_ID='INERT' / HOŘÁK
&VENT XB=0.0, 1.2, 2.0, 2.1, 0.15, 0.15, SURF_ID='TOK' / HLEDANÝ TOK
&SURF ID='TOK', COLOR = 'RED', HRRPUA = 2500 / 300 kW/m2, PLOCHA 0,12 m2
&SURF ID='TOK', COLOR = 'RED', HRRPUA = 833.3 / 100 kW/m2, PLOCHA 0,12 m2
----- MĚŘENÍ -----

```



```
&BNDF QUANTITY = 'WALL TEMPERATURE'/
&BNDF QUANTITY = 'GAUGE HEAT FLUX'/
&ISOF QUANTITY = 'TEMPERATURE', VALUE (1)=200.0/
&ISOF QUANTITY = 'TEMPERATURE', VALUE (1)=400.0/
&ISOF QUANTITY = 'TEMPERATURE', VALUE (1)=600.0/
&ISOF QUANTITY = 'TEMPERATURE', VALUE (1)=680.0/
&ISOF QUANTITY = 'TEMPERATURE', VALUE (1)=800.0/
&SLCF PBX = 0.01, QUANTITY = 'TEMPERATURE', VECTOR = .TRUE./
&SLCF PBX = 0.60, QUANTITY = 'TEMPERATURE', VECTOR = .TRUE./
&SLCF PBX = 1.19, QUANTITY = 'TEMPERATURE', VECTOR = .TRUE./
&DEVC XYZ= 0.6, 0.01, 1.4, QUANTITY = 'RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0, ID='RADIOMETR' /
&DEVC XYZ= 0.6, 0.6, 1.4, QUANTITY = 'RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0, ID='RADIOMETR2' /
&DEVC XYZ= 0.3, 1.99, 0.5, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK1' /
&DEVC XYZ= 0.6, 1.99, 0.5, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK2' /
&DEVC XYZ= 0.9, 1.99, 0.5, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK3' /
&DEVC XYZ= 0.3, 1.99, 0.9, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK4' /
&DEVC XYZ= 0.6, 1.99, 0.9, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK5' /
&DEVC XYZ= 0.9, 1.99, 0.9, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK6' /
&DEVC XYZ= 0.3, 1.99, 1.4, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK7' /
&DEVC XYZ= 0.6, 1.99, 1.4, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK8' /
&DEVC XYZ= 0.9, 1.99, 1.4, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK9' /
&DEVC XYZ= 0.3, 1.99, 1.9, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK10' /
&DEVC XYZ= 0.6, 1.99, 1.9, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK11' /
&DEVC XYZ= 0.9, 1.99, 1.9, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK12' /
&DEVC XYZ= 0.3, 1.99, 2.4, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK13' /
&DEVC XYZ= 0.6, 1.99, 2.4, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK14' /
&DEVC XYZ= 0.9, 1.99, 2.4, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK15' /
&TAIL /
```



Zdrojový kód ze softwaru FDS pro Model 3

```
&HEAD CHID='DP DREVO'/
&TIME T_END=900.0/
***vypocetni oblast****
----- NAVRŽENÁ ZKOUŠKA -----
&MESH ID='1', IJK=24,140,56, XB=0.0, 1.2, 0.0, 2.1, 0.0, 2.8 /           1 ZKOUŠKA
&REAC FUEL = 'PROPANE', SOOT_YIELD = 0.01, CO_YIELD = 0.01 /
----- MATERIÁLY -----
&MATL ID='BETON'
    CONDUCTIVITY = 1.400, SPECIFIC_HEAT = 1.000, DENSITY = 2500 /
&MATL ID='FERMACELL'
    CONDUCTIVITY = 0.320
    SPECIFIC_HEAT = 1.100
    DENSITY =          1150 / zdroj: databáte tzb-info.cz
&MATL ID='MW'
    CONDUCTIVITY = 0.040
    SPECIFIC_HEAT = 0.800
    DENSITY =          100.0 / zdroj: databáte tzb-info.cz
&MATL ID='DREVO'
    CONDUCTIVITY = 0.220
    SPECIFIC_HEAT = 2.510
    DENSITY =          650.0 / zdroj: databáte tzb-info.cz
----- SURF -----
&SURF ID='PODLAHA'
    MATL_ID = 'BETON'
    THICKNESS = 0.25,
    RGB = 170,170,170 /
&SURF ID='STENA'
```



```
MATL_ID = 'FERMACELL'  
THICKNESS = 0.015,  
RGB = 170,170,170 /  
&SURF ID='OBKLAD'  
MATL_ID = 'DREVO'  
THICKNESS = 0.015,  
HRRPUA = 150.0,  
RAMP_Q = 'SMRK',  
IGNITION_TEMPERATURE = 340.0,  
MATL_MASS_FRACTION = 1.0,  
BURN_AWAY= .TRUE.,  
BACKING =      'EXPOSED'  
RGB = 153,102,51 /  
&RAMP ID='SMRK', T=0.0, F=0.0/  
&RAMP ID='SMRK', T=10.0, F=0.1/  
&RAMP ID='SMRK', T=20.0, F=0.5/  
&RAMP ID='SMRK', T=25.0, F=0.9/  
&RAMP ID='SMRK', T=30.0, F=1.0/  
&RAMP ID='SMRK', T=900.0, F=1.0/  
&SURF ID='LAT'  
MATL_ID = 'DREVO'  
THICKNESS = 0.03,  
HRRPUA = 150.0,  
RAMP_Q = 'SMRK',  
IGNITION_TEMPERATURE = 340.0,  
MATL_MASS_FRACTION = 1.0,  
BURN_AWAY= .TRUE.,  
BACKING =      'EXPOSED'  
RGB = 102,51,0 /
```



```

&SURF ID='VATA'
    MATL_ID = 'MW'
    THICKNESS = 0.055,
    RGB = 128,128,0 /
----- BOUNDARY -----
----- STĚNY -----
&OBST XB=0.0, 1.2, 0.0, 0.0, 0.0, 2.8, SURF_ID='STENA' / STĚNA 1
&VENT XB=0.0, 0.0, 0.0, 1.1, 0.0, 2.8, SURF_ID='OPEN' / STĚNA 2
&VENT XB=0.0, 0.0, 1.1, 2.1, 0.0, 2.8, SURF_ID='STENA' / STĚNA 3
&VENT XB=0.0, 1.2, 2.1, 2.1, 0.0, 0.4, SURF_ID='STENA' / STĚNA 4
&OBST XB=0.0, 1.2, 2.010, 2.025, 0.4, 2.8, SURF_ID='OBKLAD' / OBKLAD
&OBST XB=0.000, 0.050, 2.025, 2.055, 0.4, 2.8, SURF_ID='LAT' / LAŤ 1
&OBST XB=0.575, 0.625, 2.025, 2.055, 0.4, 2.8, SURF_ID='LAT' / LAŤ 2
&OBST XB=1.150, 1.200, 2.025, 2.055, 0.4, 2.8, SURF_ID='LAT' / LAŤ 3
&OBST XB=0.0, 1.2, 2.055, 2.10, 0.4, 2.8, SURF_ID='VATA' / VATA 1
&VENT XB=1.2, 1.2, 1.1, 2.1, 0.0, 2.8, SURF_ID='STENA' / STĚNA 6
&VENT XB=1.2, 1.2, 0.0, 1.1, 0.0, 2.8, SURF_ID='OPEN' / STĚNA 7
----- STROPY/PODLAHA -----
&VENT XB=0.0, 1.2, 0.0, 2.1, 2.8, 2.8, SURF_ID='OPEN' / STROP
&VENT XB=0.0, 1.2, 0.0, 2.1, 0.0, 0.0, SURF_ID='PODLAHA' / PODLAHA
----- HOŘÁK -----
&OBST XB=0.0, 1.2, 2.0, 2.1, 0.0, 0.15, SURF_ID='INERT' / HOŘÁK
&VENT XB=0.0, 1.2, 2.0, 2.1, 0.15, 0.15, SURF_ID='TOK' / HLEDANÝ TOK
&SURF ID='TOK', COLOR = 'RED', HRRPUA = 2500.0 / 300 kW/m2, PLOCHA 0,12 m2
&SURF ID='TOK', COLOR = 'RED', HRRPUA = 833.3 / 100 kW/m2, PLOCHA 0,12 m2
----- MĚŘENÍ -----
&BNDF QUANTITY = 'WALL TEMPERATURE'/
&BNDF QUANTITY = 'GAUGE HEAT FLUX'/
&ISOF QUANTITY = 'TEMPERATURE', VALUE (1)=200.0/

```



```
&ISOF QUANTITY = 'TEMPERATURE', VALUE (1)=400.0/  
&ISOF QUANTITY = 'TEMPERATURE', VALUE (1)=600.0/  
&ISOF QUANTITY = 'TEMPERATURE', VALUE (1)=680.0/  
&ISOF QUANTITY = 'TEMPERATURE', VALUE (1)=800.0/  
&SLCF PBX = 0.01, QUANTITY = 'VELOCITY', VECTOR = .TRUE./  
&SLCF PBX = 0.60, QUANTITY = 'VELOCITY', VECTOR = .TRUE./  
&SLCF PBX = 1.19, QUANTITY = 'VELOCITY', VECTOR = .TRUE./  
&SLCF PBX = 0.01, QUANTITY = 'TEMPERATURE', VECTOR = .TRUE./  
&SLCF PBX = 0.60, QUANTITY = 'TEMPERATURE', VECTOR = .TRUE./  
&SLCF PBX = 1.19, QUANTITY = 'TEMPERATURE', VECTOR = .TRUE./  
&DEVC XYZ= 0.6, 0.01, 1.4, QUANTITY = 'RADIATIVE HEAT FLUX GAS',  
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0, ID='RADIOMETR' /  
&DEVC XYZ= 0.6, 0.6, 1.4, QUANTITY = 'RADIATIVE HEAT FLUX GAS',  
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0, ID='RADIOMETR2' /  
&DEVC XYZ= 0.3, 2.00, 0.6, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK1' /  
&DEVC XYZ= 0.6, 2.00, 0.6, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK2' /  
&DEVC XYZ= 0.9, 2.00, 0.6, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK3' /  
&DEVC XYZ= 0.3, 2.00, 0.9, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK4' /  
&DEVC XYZ= 0.6, 2.00, 0.9, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK5' /  
&DEVC XYZ= 0.9, 2.00, 0.9, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK6' /  
&DEVC XYZ= 0.3, 2.00, 1.4, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK7' /  
&DEVC XYZ= 0.6, 2.00, 1.4, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK8' /  
&DEVC XYZ= 0.9, 2.00, 1.4, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK9' /  
&DEVC XYZ= 0.3, 2.00, 1.9, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK10' /  
&DEVC XYZ= 0.6, 2.00, 1.9, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK11' /  
&DEVC XYZ= 0.9, 2.00, 1.9, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK12' /  
&DEVC XYZ= 0.3, 2.00, 2.4, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK13' /  
&DEVC XYZ= 0.6, 2.00, 2.4, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK14' /  
&DEVC XYZ= 0.9, 2.00, 2.4, QUANTITY = 'TEMPERATURE',ID='TERMOCLANEK15' /  
&TAIL /
```




Seznam obrázků

Obr. 1: Druhy konstrukčních částí: (a) DP1; (b) DP2; (c) DP3;	9
Obr. 2: Schéma řešeného příkladu požární otevřenosti	12
Obr. 3: Diagram limitů požární otevřenosti dle ČSN 73 0855 [16]	13
Obr. 4: Řez větranou fasádou u požární zkoušky BS 8414-2	15
Obr. 5: Požární zkouška BS 8414-2: (a) Schéma zkušební vzorku; (b) Fotografie reálné zkoušky © Efectis, 2020;.....	16
Obr. 6: Požární zkouška DIN 4102-20: (a) Schéma zkušební vzorku;.....	17
Obr. 7: Požární zkouška Önorm B 3800-5: (a) Schéma zkušební vzorku;	18
Obr. 8: Požární zkouška LEPiR 2: (a) Schéma zkušební vzorku;.....	19
Obr. 9: Požární zkouška MSZ 14800-6: (a) Schéma zkušební vzorku;.....	20
Obr. 10: Požární zkouška SP Fire 105: (a) Schéma zkušební vzorku;.....	21
Obr. 11: Požární zkouška ČSN ISO 13785-1: (a) Schéma zkušební vzorku;.....	23
Obr. 12: Požární zkouška ISO 13785-2: (a) Schéma zkušební vzorku; (b) Fotografie reálné zkoušky © Ing. Pavel Rydlo;	24
Obr. 13: Schéma navržené požární zkoušky	26
Obr. 14: Graf znázorňující jednotlivé hranice požární otevřenosti.....	31
Obr. 15: Schéma požární zkoušky využití v FDS.....	36
Obr. 16: Zkušební prostor Modelu 1 ze softwaru FDS	37
Obr. 17: Graf hodnot hustoty tepelného toku naměřených na radiometru 2,0 m od líce fasády.....	39
Obr. 18: Graf průměrných teplot ze tří termočlánků umístěných 0,1 m od spodního líce fasády z Modelu 1 a Modelu 2.....	40
Obr. 19: Schéma výpočetního prostoru Modelu 3 použitého v softwaru FDS	41
Obr. 20: Graf znázorňující výsledky Modelu 3 s navrženými hranicemi požární otevřenosti.....	42
Obr. 21: Návrh a provedení požární zkoušky	45
Obr. 22: Schéma provedené požární zkoušky.....	47



Obr. 23: Graf s naměřenými hodnotami průměrných teplot z FDS a reálné požární zkoušky	48
Obr. 24: Graf s naměřenými hodnotami hustoty tepelného toku z FDS a reálné požární zkoušky	49
Obr. 25: Graf s naměřenými hodnotami průměrných teplot z FDS a reálné požární zkoušky	49
Obr. 26: Provedená požární zkouška: a) Požární zkouška v 0. minutě.....	50
Obr. 27: Schéma provedené požární zkoušky.....	52
Obr. 28: Graf s naměřenými hodnotami hustoty tepelného toku z FDS a reálné požární zkoušky v diagramu požární otevřenosti	54
Obr. 29: Provedená požární zkouška: a) Požární zkouška v 0. minutě.....	55



Seznam tabulek

Tab. 1: Kritéria FIGRA a THR pro klasifikaci výrobku do třídy reakce na oheň dle ČSN EN 13823.....	5
Tab. 2: Tabulka tříd reakce na oheň s kritérii přijatelnosti dle ČSN EN 13501-1[11]	7
Tab. 3: Tabulka „jemnosti“ výpočetní sítě pro jednotlivé scénáře	34
Tab. 4: Tabulka tepelně technických vlastností použitých materiálů v Modelu 2	38
Tab. 5: Tabulka tepelně technických vlastností použitých materiálů v Modelu 3	41
Tab. 6: Popis a materiálové vlastnosti zkoušených prvků ve zkušebním tělese.....	46
Tab. 7: Popis a materiálové vlastnosti zkoušených prvků ve zkušebním tělese.....	51



Literatura

- [1] ČSN 73 0802, *Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty*. B.m.: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha 2009
- [2] ČSN 73 0804, *Požární bezpečnost staveb - Výrobní objekty*. B.m.: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha 2010
- [3] ČSN ISO 13785-1, *Zkoušky reakce na oheň pro fasády - Část 1: Zkouška středního romzěru*. B.m.: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha 2010
- [4] *ISO 13785-2, Reaction to fire tests for facades - Part 2: Large-scale test*. B.m.: International Organization for Standardization. 2002
- [5] ČSN 73 0810, *Požární bezpečnost staveb - společná ustanovení*. B.m.: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha 2016
- [6] *ISO 5660-1. Reaction-to-fire tests - Heat release, smoke production and mass loss rate - Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method)*. B.m.: International Organization for Standardization. Geneva 2002
- [7] ČSN EN 13823 + A1, *Zkoušení reakce stavebních výrobků na oheň - Stavební výrobky kromě podlahových krytin vystavené tepelnému účinku jednotlivého hořícího předmětu*. B.m.: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha 2018
- [8] ČSN EN 14390, *Požární zkouška - Velkorozměrová ověřovací zkouška výrobků pro povrchové úpravy*. B.m.: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha 2007
- [9] LINDHOLM, Johan, Anders BRINK a Mikko HUPA. *CONE CALORIMETER – A TOOL FOR MEASURING HEAT RELEASE RATE* [online]. B.m.: Åbo Akademi Process Chemistry Centre, Biskopsgatan 8, FI-20500 Åbo, FINLAND. Dostupné z: http://www.ffrc.fi/FlameDays_2009/4B/LindholmPaper.pdf
- [10] ČSN EN ISO 1182, *Zkoušení reakce výrobků na oheň - Zkouška nehořlavosti*. B.m.: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha 2010
- [11] ČSN EN 13501-1, *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb - Část 1: klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň*. B.m.: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha 2019
- [12] ČSN EN ISO 1716, *Zkoušení reakce výrobků na oheň - Stanovení spalného tepla (kalorické hodnoty)*. B.m.: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha 2018



- [13] ČSN EN ISO 11925-2, *Zkoušení reakce na oheň - Zápalnost stavebních výrobků vystavených přímému působení plamene - Část 2: Zkouška malým zdrojem plamene*. B.m.: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha 2011
- [14] ČSN 73 0863, *Požárně technické vlastnosti hmot. Stanovení šíření plamene po povrchu stavebních hmot*. B.m.: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha 1991
- [15] ČSN 73 0824, *Požární bezpečnost staveb - výhřevnost hořlavých látek*. B.m.: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 1992
- [16] ČSN 73 0855, *Stanovení požární odolnosti obvodových stěn*. B.m.: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 1980
- [17] BS 8414-2:2015+A1:2017, *Fire performance of external cladding systems. Test method for non-loadbearing external cladding systems fixed to and supported by a structural steel frame*. B.m.: FSH/21. 2015
- [18] DIN 4102-20:2017-10, *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 20: Ergänzender Nachweis für die Beurteilung des Brandverhaltens von Außenwandbekleidungen*. 2017
- [19] ÖNORM B 3800-5: 2013 04 15, *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 5: Brandverhalten von Fassaden - Anforderungen, Prüfungen und Beurteilungen*. 2013
- [20] DRÉAN, Virginie, Renaud SCHILLINGER a Gildas AUGUIN. *Fire exposed facades: Numerical modelling of the LEPIR2 testing facility* [online]. B.m.: EDP Sciences. 2016. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/View-of-the-Efectis-LEPIR-2-facility_fig1_301902620
- [21] MÓDER, István, Ádám VARGA, Péter GEIER, Bálint VÁGÓ a Edit RAJNA. *Brief summary of the Hungarian test method (MSZ 14800-6:2009) of fire propagation on building façades* [online]. B.m.: EDP Sciences. 2016. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/301902132_Brief_summary_of_the_Hungarian_test_method_MSZ_14800-62009_of_fire_propagation_on_building_facades
- [22] ÖSTMAN, Birgit a Lazaros TSANTARIDIS. *Fire performance of multi-storey wooden facades* [online]. B.m.: EDP Sciences. 2013. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/The-model-of-the-SP-Fire-105-facade-fire-test_fig1_301902386
- [23] ČSN EN 1363-2, *Zkoušení požární odolnosti - Část 2: Alternativní a doplňkové postupy*. B.m.: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha 2000



- [24] HEJTMÁNEK, Petr, Richard FÜRST a Marek POKORNÝ. *Modifikovaná zkouška reakce fasády na oheň*. B.m.: UCEEB ČVUT v Praze. 27. leden 2020
- [25] REICHEL, Vladimír. *Zabraňujeme škodám, navrhování požární bezpečnosti staveb díl II.* B.m.: Česká státní pojišťovna. Praha 1979



Počet výtisků: 1
Výtisk číslo: 1
Počet listů: 9
List č.: 1

PROTOKOL Č. N15/2020

ZKOUŠKA POŽÁRNÍ OTEVŘENOSTI FASÁDY – FASÁDA S VĚTRANOU MEZEROU A DŘEVĚNÝM OBKLADEM

Zadavatel: Fakulta stavební ČVUT v Praze
Thákurova 7/2077
166 29 Praha 6 Dejvice

Ev. číslo: N15/2020

Obsah:	1	Použité předpisy a normy	3
	2	Přístrojové vybavení.....	3
	3	Popis zkušebního prostoru.....	4
	4	Zkušební postup	4
	5	Popis zkoušeného prvku	5
	6	Výsledky zkoušky	6
	7	Obrazový záznam	8
	8	Výsledky měření.....	9

Zkoušku provedli a protokol vypracovali:

.....
Ing. arch. Petr Hejtmánek, Ph.D.

.....
Bc. Ondřej Hrdina

Schválil:

.....
Ing. arch. Petr Hejtmánek, Ph.D.

Datum vystavení protokolu: 12/2020

razítko

Předmět zkoušky:	Zkouška požární otevřenosti – fasáda s větranou mezerou a dřevěným obkladem
Zkušební metoda:	Upravená ČSN ISO 13785-1 – Zkoušky reakce na oheň pro fasády – Část 1: Zkouška středního rozměru
Zkušební vzorky zhotovil:	Techničtí pracovníci UCEEB ČVUT v Praze
Datum výroby zkušebních vzorků:	prosinec 2020
Datum převzetí zkušebních vzorků:	prosinec 2020
Označení zkušebních vzorků:	vzorek 1: dřevěná provětrávaná fasáda
Datum provedení zkoušky:	23. listopadu 2020
Místo provedení zkoušky:	UCEEB ČVUT v Praze Třinecká 1024 273 43 Buštěhrad

1 Použité předpisy a normy

Zkušební postupy

- Zkouška byla provedena podle návrhu požární zkoušky z diplomové práce s názvem „Požární otevřenost fasád“ vycházející ze zkušební postupu ČSN ISO 13785-1. Zkouška měla za cíl ověření hodnot z matematických modelů pro stanovení požární otevřenosti.

Související předpisy a normy

- ČSN ISO 13785-1. *Zkoušky reakce fasád na oheň – Část 1: Zkouška středního rozměru.* Praha: ÚNMZ, 2010.
- ISO 9705. *Reaction to fire tests -- Room corner test for wall and ceiling lining products -- Part 1: Test method for a small room configuration.* Ženeva: ISO, 2016.

2 Přístrojové vybavení

tab. 1: popis přístrojového vybavení

Zařízení	Výrobní číslo	Platnost kalibrace
měřicí ústředna FireLAB, modul EDAM-5019	-	nebyla stanovena
radiometr Hukseflux SBG01, typ Schmidt-Boelter, vodou chlazený, rozsah 0-100 kW/m ²	1686	nebyla stanovena
termoelektrické články na povrchu zkušební vzorku výrobce Mavis Nový Bor, typ K (do 1150 °C), plášťové průměru 3,0 mm připojené do svorkovnice	-	nebyla stanovena
kompensační vedení výrobce Mavis Nový Bor, typ SLSL, koncovka MTCKK	-	nebyla stanovena
kamera	-	nebyla stanovena

Přístrojové vybavení **nebylo** v době vykonání zkoušek opatřeno platnými kalibračními a ověřovacími listy.

3 Popis zkušebního prostoru

Pro provedení této zkoušky byl vymezen předprostor před požární komorou pod odtahovým zvonem pro Room Corner Test. Tento prostor rozměry a vybavením vyhovuje požadavkům ISO 9705-1. Do tohoto prostoru byl umístěn rám svými rozměry odpovídající návrhu požární zkoušky z diplomové práce. Rám principiálně vycházel z ČSN ISO 13785-1 pro zkoušení reakce fasády na oheň ve středním rozměru s úpravou geometrie. Sestava má následující parametry:

- zkušební rám je tvaru „U“, zhotovený z ocelových profilů jákl 40/40 [mm]
- délka delšího ramene × délka kratších ramen × výška: 1200 × 1000 × 2800 [mm]
- krytí rámu jednou vrstvou cementovláknitých desek, tl. 15 mm
- ventilační podmínky: přirozený přívod, nucený odvod odtahovým zvonem RCT
- rozměry pískového hořáku (d × š × v): 1200 × 100 × 150 [mm]
- spalovaný plyn: propan 2.5, čistá výhřevnost 46,4 MJ/kg

4 Zkušební postup

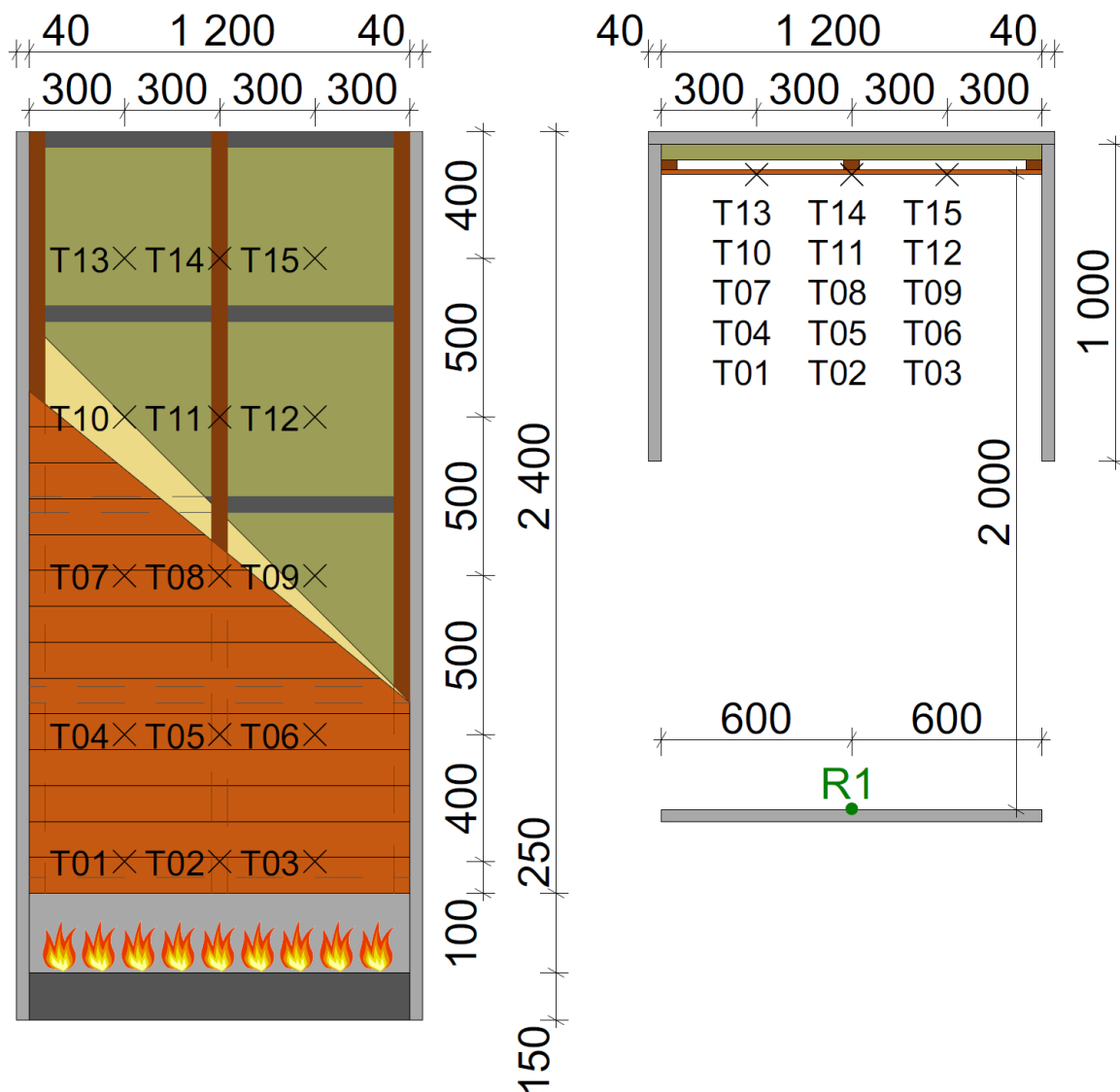
Odchylně od zkoušky dle ČSN ISO 13785-1 je vzorek instalován pouze na delší rameno a je z obou stran ohraničen kratšími rameny. Vzorek je nainstalován k rámu tak, aby těsně doléhal ke krycí desce, a to pouze mechanicky pomocí samořezných vrutů. Spáry mezi vzorkem a krycí deskou nejsou předmětem zkoušky.

Výška vzorku nad podlahou je 400 mm. Pískový hořák je umístěn pod tento vzorek. Časomíra a zařízení pro měření a regulaci bylo spuštěno v čase 120 s před začátkem zkoušky, následně byl zapnut VZT nucený odtah, spuštěno vzorkování a záznam dat. **Ještě před zapálením hlavního hořáku se zapaluje tzv. pilotní hořák, bezpečnostní pojistka zkušebního zařízení RCT na UCEEB.**

V čase $t = 0$ s je zapálen hlavní hořák pod vzorkem s výkonem 300 kW. Tento výkon působí do času $t = 65$ s, kdy dochází k odstavení hořáku z důvodu nedokonalého spalování přiváděného plynu a vzniku plamenně hořících kapek, které se dostávají mimo zkušební prostor. Po odstavení hořáku dojde k vizuální kontrole zkušebního prostoru a dále je hořák v čase $t = 87$ s zapálen s výkonem 100 kW. Tímto výkonem působí do času $t = 900$ s (15 min). Zatěžování plamenem končí a data jsou zaznamenávána po dalších 900 s (15 min). Zkouška je tedy ukončena po 1800 s (30 min).

V prostoru zkušební sestavy probíhá následující měření (viz obr. 1):

- **T01, T02, T03:** teploty povrchu vzorku, ve výšce 100 mm nad spodní hranou fasádního vzorku, termočlánky plášt'ové upevněny u povrchu zkušebního vzorku pomocí vázacích drátů
- **T04, T05, T06:** teploty povrchu vzorku, ve výšce 500 mm nad spodní hranou fasádního vzorku, termočlánky plášt'ové upevněny u povrchu zkušebního vzorku pomocí vázacích drátů
- **T07, T08, T09:** teploty povrchu vzorku, ve výšce 1000 mm nad spodní hranou fasádního vzorku, termočlánky plášt'ové upevněny u povrchu zkušebního vzorku pomocí vázacích drátů
- **T10, T11, T12:** teploty povrchu vzorku, ve výšce 1500 mm nad spodní hranou fasádního vzorku, termočlánky plášt'ové upevněny u povrchu zkušebního vzorku pomocí vázacích drátů
- **T13, T14, T15:** teploty povrchu vzorku, ve výšce 2000 mm nad spodní hranou fasádního vzorku, termočlánky plášt'ové upevněny u povrchu zkušebního vzorku pomocí vázacích drátů
- **R1:** sálavý tepelný tok 2000 mm před vzorkem, ve výšce 1400 mm nad podlahou, tzn. ve výšce 1000 mm nad spodní hranou fasádního vzorku;



(a) (b)
 obr. 1: Rozmístění termočláneků: (a) čelní pohled; (b) půdorys

5 Popis zkoušeného prvku

Předmětem zkoušky je dřevěná provětrávaná fasáda (z interiéru):

tab. 2: popis a materiálové vlastnosti zkoušených prvků

skladba stěny	výrobce	tloušťka [mm]	objemová hmotnost [kg/m ³]	součinitel tep. vodivosti [W/(m·K)]	měrná tepelná kapacita [J/(kg·K)]	třída reakce na oheň
cementovláknitá deska Fermacell Vapour	Fermacell	15	1150	0,320	1100	A1
CW profily 50/50/0,6 s vloženou tepelnou izolací z minerální vlny 1200 x 600 mm, kotveny k podkladu pomocí samořezných vrtů s osovou vzdáleností 600 mm	-	50	100	0,04	800	A1
Difúzní fólie kotvena	-	0,5	280	0,03	900	E

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE UNIVERZITNÍ CENTRUM ENERGETICKY EFEKTIVNÍCH BUDOV Požární laboratoř Třinecká 1024, 273 43 Buštěhrad +420 224 356 715, firelab@uceeb.cz	Výtisk č.: 1 List č.: 6/9 Protokol číslo: N15/2020 Datum vystavení: 12/ 2020
--	---

k ocelovým profilům						
Střešní latě smrkové 30x50 kotveny pomocí samořezných vrtů delší stranou k CW profilům s osovou vzdáleností 575 mm	-	30	455	0,22	2510	D
Obklad ze smrkových palubek	-	16				
celková tloušťka		96,5				

Obklad ze smrkových palubek byl typu spoje pero-drážka.

6 Výsledky zkoušky

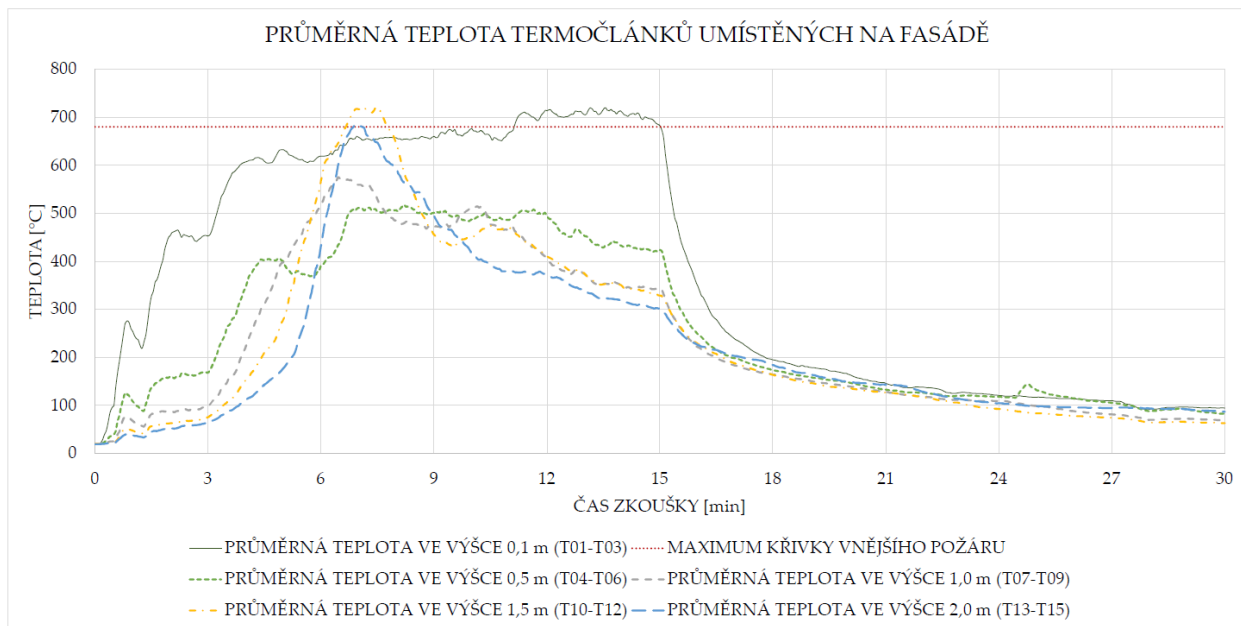
Zkouška byla provedena v požární laboratoři Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT v Praze.

Místo: Buštěhrad
Den: 23. listopadu 2020
Teplota okolního prostředí: 19 °C
Relativní vlhkost vzduchu: 32 %
Počáteční výkon VZT: 60 %

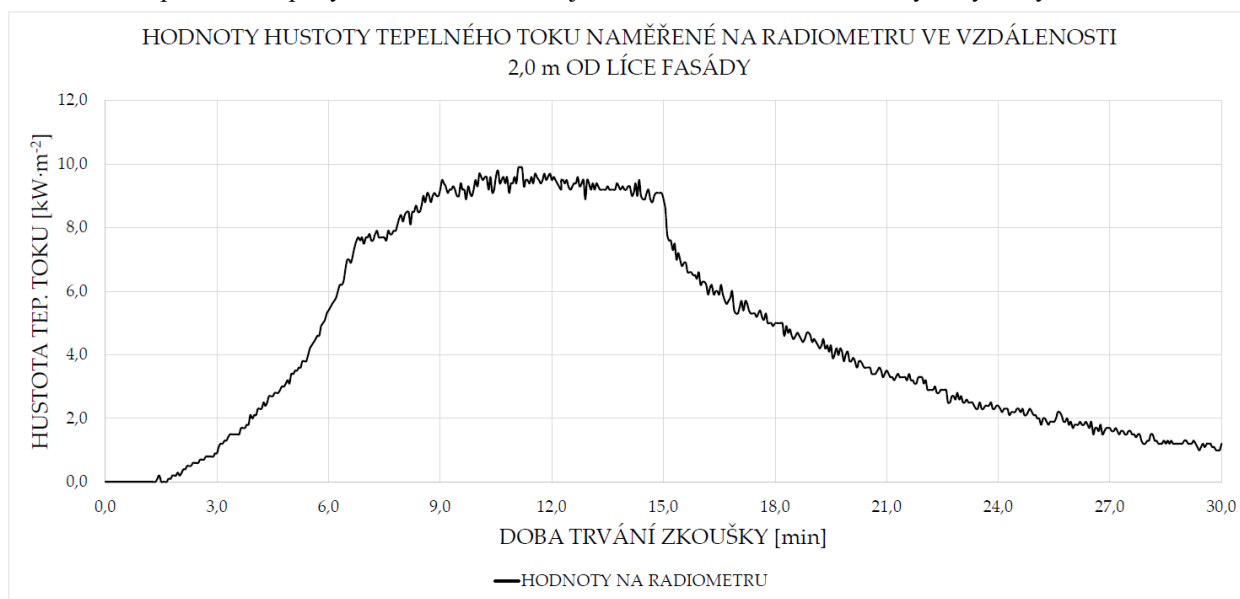
tab. 3: Průběh zkoušky a vizuální hodnocení

Čas [s]	Čas [min:s]	Pozorování
-120	-2:00	spuštění časomíry a zařízení pro měření a regulaci, spuštění VZT nuceného odtahu (60 %) a pilotního hořáku, spuštění záznamu
0	0:00	zapálení hlavního hořáku, výkon 300 kW
65	1:08	odstavení hořáku z důvodu protékání plynu
87	1:27	opětovné zapálení hořáku s výkonem 100 kW
90	1:30	prošlehávání plamene větranou mezerou na horním lici zkušebního vzorku
157	2:37	plamen se rozšířil do výšky 1,0 m od spodního líce fasády
193	3:13	plamen se rozšířil do výšky 1,5 m od spodního líce fasády
246	4:06	plamen se rozšířil do výšky 2,0 m od spodního líce fasády
271	4:31	plamen se rozšířil po celé výšce fasády
446	7:26	Odpadávání kusů dřevěného obkladu
900	15:00	vypnutí hořáku, další sledování chování vzorku
1800	30:00	odhoření téměř celého obkladu, ukončení zkoušky

Hlavní měřenou veličinou byly teploty na povrchu vzorku a hustota tepelného toku na radiometru umístěného 2,0 m od líce fasády. Umístění měřidel vycházelo principiálně z normy ČSN ISO 13785-1, viz kapitolu 4 s odchylkou v umístění termočlánků pouze na povrchu vzorku.



obr. 2: průměrné teploty ze tří termočlánků v jedné horizontální rovině v různých výškových úrovních



obr. 3: sálavý tepelný tok na radiometru umístěného 2,0 m od líce fasády

7 Obrazový záznam



a)



b)



c)



d)



e)



f)

obr. 4: provedená požární zkouška: a) Požární zkouška v 0. minutě
b) Požární zkouška ve 3. minutě
c) Požární zkouška v 6. minutě
d) Požární zkouška v 9. minutě
e) Požární zkouška ve 12. minutě
f) Poškozené zaznamenávací zařízení

8 Výsledky měření

V 15. minutě byl vypnut hořák v souladu s návrhem požární zkoušky a následně bylo dalších 15 minut sledováno chování vzorku. V průběhu celé požární zkoušky docházelo k odhořívání dřevěného obkladu, který po 30. minutách téměř celý odhořel. K největší degradaci docházelo uprostřed dutin, které rozdělovala vertikálně ložená dřevěná lať. V 30. minutě byla zkouška ukončena a přistoupeno k odstranění vzorku a úklidu zkušebního prostoru.

Po ukončení zkoušky docházelo k dohořívání dřevěného obkladu, který stále vykazoval teploty žhnutí dřeva. Minerální vlna zůstala po dobu zkoušky neporušená celistvá.

Nejistota měření teplot termočlánky typu MTC10/P31xK/N3000/MTC-MM-4 v řetězci s měřicí ústřednou FireLAB, modul EDAM-5019, byla odhadnuta dle tab. 4, a to na základě kalibračního listu č. 1718/18 ze dne 22. 6. 2018 (Termosondy Kladno, spol. s r.o.) pro 1000 °C a 1150 °C:

tab. 4: Odhad nejistot měření

naměřená teplota t [°C]	450	600	900	1000	1150
rozšířená nejistota ($k = 2$) U [°C]	2,3	2,3	3,3	3,9	5,2

V Praze dne 20. prosince 2020

Protokol vypracoval:

Ing. arch. Petr Hejtmánek, Ph.D.

pracovník – specialista

Bc. Ondřej Hrdina

autor diplomové práce

konec protokolu



Počet výtisků: 1
Výtisk číslo: 1
Počet listů: 9
List č.: 1

PROTOKOL Č. N16/2020

ZKOUŠKA POŽÁRNÍ OTEVŘENOSTI FASÁDY – REFERENČNÍ ZKOUŠKA

Zadavatel: Fakulta stavební ČVUT v Praze
Thákurova 7/2077
166 29 Praha 6 Dejvice

Ev. číslo: N16/2020

Obsah:	1	Použité předpisy a normy	3
	2	Přístrojové vybavení	3
	3	Popis zkušebního prostoru	4
	4	Zkušební postup	4
	5	Popis zkoušeného prvku	5
	6	Výsledky zkoušky	6
	7	Obrazový záznam	8
	8	Výsledky měření	9

Zkoušku provedli a protokol vypracovali:

.....
Ing. arch. Petr Hejtmánek, Ph.D.

.....
Bc. Ondřej Hrdina

Schválil:

.....
Ing. arch. Petr Hejtmánek, Ph.D.

Datum vystavení protokolu: 12/2020

razítko

Tento protokol může být reprodukován jedině celý, jeho část pouze s písemným souhlasem zkušební laboratoře. Výsledky zkoušek se týkají výhradně předmětu zkoušky (zkušebního vzorku).

Předmět zkoušky:	Zkouška požární otevřenosti – referenční zkouška
Zkušební metoda:	Upravená ČSN ISO 13785-1 – Zkoušky reakce na oheň pro fasády – Část 1: Zkouška středního rozměru
Zkušební vzorky zhotovil:	Techničtí pracovníci UCEEB ČVUT v Praze
Datum výroby zkušebních vzorků:	prosinec 2020
Datum převzetí zkušebních vzorků:	prosinec 2020
Označení zkušebních vzorků:	vzorek 2: kontaktní zateplovací systém
Datum provedení zkoušky:	10. prosince 2020
Místo provedení zkoušky:	UCEEB ČVUT v Praze Třinecká 1024 273 43 Buštěhrad

1 Použité předpisy a normy

Zkušební postupy

- Zkouška byla provedena podle návrhu požární zkoušky z diplomové práce s názvem „Požární otevřenost fasád“ vycházející ze zkušebního postupu ČSN ISO 13785-1. Zkouška měla za cíl ověření hodnot z matematických modelů pro stanovení požární otevřenosti.

Související předpisy a normy

- ČSN ISO 13785-1. *Zkoušky reakce fasád na oheň – Část 1: Zkouška středního rozměru.* Praha: ÚNMZ, 2010.
- ISO 9705. *Reaction to fire tests -- Room corner test for wall and ceiling lining products -- Part 1: Test method for a small room configuration.* Ženeva: ISO, 2016.

2 Přístrojové vybavení

tab. 1: popis přístrojového vybavení

Zařízení	Výrobní číslo	Platnost kalibrace
měřicí ústředna FireLAB, modul EDAM-5019	-	nebyla stanovena
radiometr Hukseflux SBG01, typ Schmidt-Boelter, vodou chlazený, rozsah 0-100 kW/m ²	1686	nebyla stanovena
termoelektrické články na povrchu zkušebního vzorku výrobce Mavis Nový Bor, typ K (do 1150 °C), plášťové průměru 3,0 mm připojené do svorkovnice	-	nebyla stanovena
kompensační vedení výrobce Mavis Nový Bor, typ SLSL, koncovka MTCKK	-	nebyla stanovena
kamera	-	nebyla stanovena

Přístrojové vybavení **nebylo** v době vykonání zkoušek opatřeno platnými kalibračními a ověřovacími listy.

3 Popis zkušebního prostoru

Pro provedení této zkoušky byl vymezen předprostor před požární komorou pod odtahovým zvonem pro Room Corner Test. Tento prostor rozměry a vybavením vyhovuje požadavkům ISO 9705-1. Do tohoto prostoru byl umístěn rám svými rozměry odpovídající návrhu požární zkoušky z diplomové práce. Rám principiálně vycházel z ČSN ISO 13785-1 pro zkoušení reakce fasády na oheň ve středním rozměru s úpravou geometrie. Sestava má následující parametry:

- zkušební rám je tvaru „U“, zhotovený z ocelových profilů jákl 40/40 [mm]
- délka delšího ramene × délka kratších ramen × výška: 1200 × 1000 × 2800 [mm]
- krytí rámu jednou vrstvou cementovláknitých desek, tl. 15 mm
- ventilační podmínky: přirozený přívod, nucený odvod odtahovým zvonem RCT
- rozměry pískového hořáku (d × š × v): 1200 × 100 × 150 [mm]
- spalovaný plyn: propan 2.5, čistá výhřevnost 46,4 MJ/kg

4 Zkušební postup

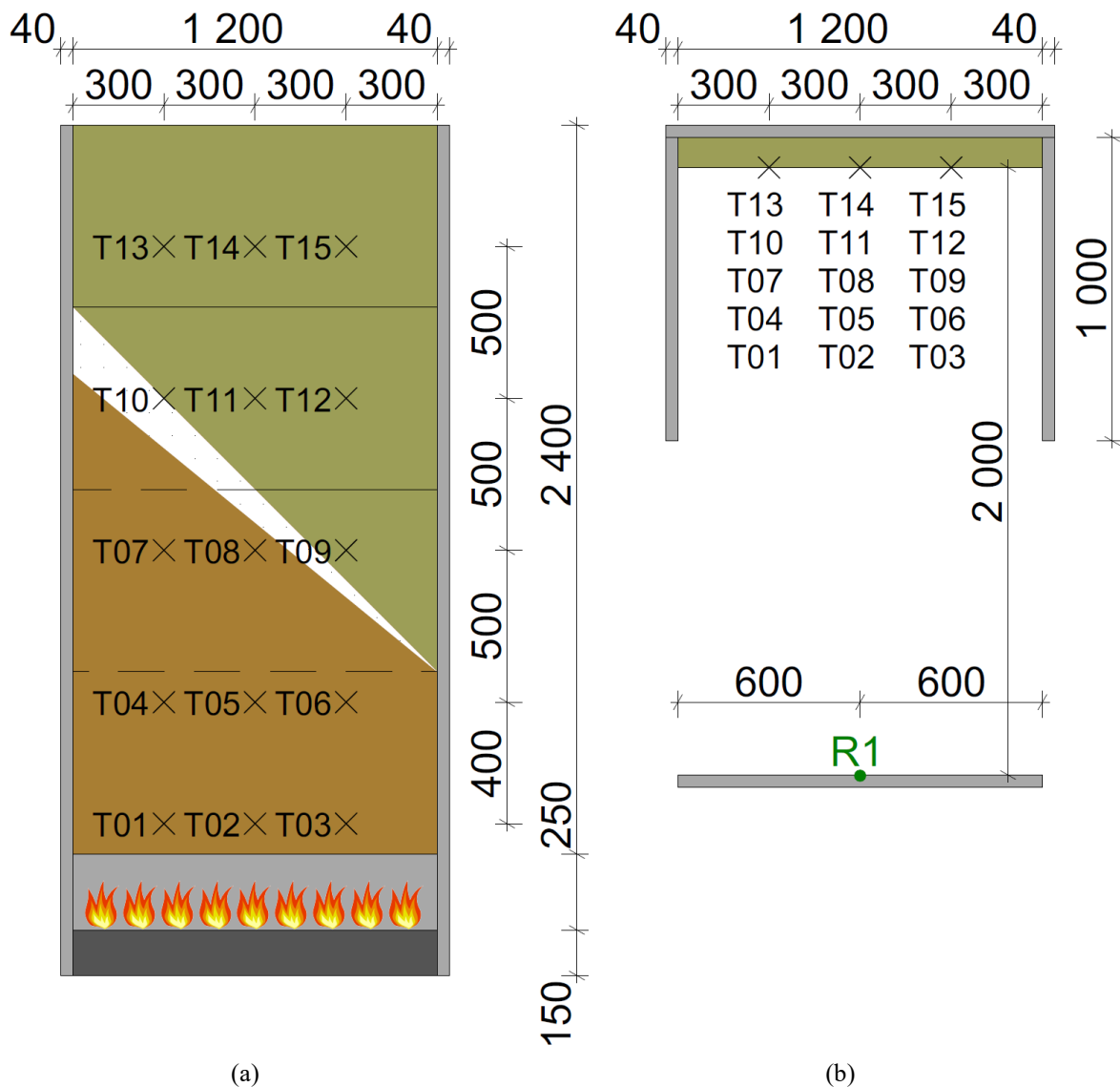
Odchylně od zkoušky dle ČSN ISO 13785-1 je vzorek instalován pouze na delší rameno a je z obou stran ohraničen kratšími rameny. Vzorek je nainstalován k rámu tak, aby těsně doléhal ke krycí desce, a to pomocí lepícího tmelu. Spáry mezi vzorkem a krycí deskou nejsou předmětem zkoušky.

Výška vzorku nad podlahou je 400 mm. Pískový hořák je umístěn pod tento vzorek. Časomíra a zařízení pro měření a regulaci bylo spuštěno v čase 120 s před začátkem zkoušky, následně zapnut VZT nucený odtah, spuštěno vzorkování a záznam dat. **Ještě před zapálením hlavního hořáku se zapaluje tzv. pilotní hořák, bezpečnostní pojistka zkušebního zařízení RCT na UCEEB.**

V čase $t = 0$ s je zapálen hlavní hořák pod vzorkem s výkonem 100 kW a tímto výkonem působí do času $t = 1266$ s (21,1 min). Zatěžování plamenem končí a data jsou zaznamenávána po dalších 534 s (8,9 min). Zkouška je tedy ukončena po 1800 s (30 min).

V prostoru zkušební sestavy probíhá následující měření (viz obr. 1):

- **T01, T02, T03:** teploty povrchu vzorku, ve výšce 100 mm nad spodní hranou fasádního vzorku, termočlánky plášťové upevněny u povrchu zkušebního vzorku pomocí vázacích drátů
- **T04, T05, T06:** teploty povrchu vzorku, ve výšce 500 mm nad spodní hranou fasádního vzorku, termočlánky plášťové upevněny u povrchu zkušebního vzorku pomocí vázacích drátů
- **T07, T08, T09:** teploty povrchu vzorku, ve výšce 1000 mm nad spodní hranou fasádního vzorku, termočlánky plášťové upevněny u povrchu zkušebního vzorku pomocí vázacích drátů
- **T10, T11, T12:** teploty povrchu vzorku, ve výšce 1500 mm nad spodní hranou fasádního vzorku, termočlánky plášťové upevněny u povrchu zkušebního vzorku pomocí vázacích drátů
- **T13, T14, T15:** teploty povrchu vzorku, ve výšce 2000 mm nad spodní hranou fasádního vzorku, termočlánky plášťové upevněny u povrchu zkušebního vzorku pomocí vázacích drátů
- **R1:** sálavý tepelný tok 2000 mm před vzorkem, ve výšce 1400 mm nad podlahou, tzn. ve výšce 1000 mm nad spodní hranou fasádního vzorku;



(a) (b)
 obr. 1: Rozmístění termočlánků: (a) čelní pohled; (b) půdorys

5 Popis zkoušeného prvku

Předmětem zkoušky je kontaktní zateplovací systém s izolantem z minerální vlny (z interiéru):

tab. 2: popis a materiálové vlastnosti zkoušených prvků

skladba stěny	výrobce	tloušťka [mm]	objemová hmotnost [kg/m ³]	součinitel tep. vodivosti [W/(m·K)]	měrná tepelná kapacita [J/(kg·K)]	třída reakce na oheň
cementovláknitá deska Fermacell Vapor	Fermacell	15	1150	0,32	1100	A1
Lepicí a sěrkový tmel	-	10	1500	0,26	1300	A1
Desky z minerálních vláken 1200 x 600 mm lepené tmelem	-	80	100	0,04	800	A1
Lepicí a sěrkový tmel s vloženou skleněnou síťovinou	-	5	1500	0,26	1300	A1
Středně zrnitá silikátová	-	2	1800	0,70	1050	A1

omítka						
celková tloušťka		97				

6 Výsledky zkoušky

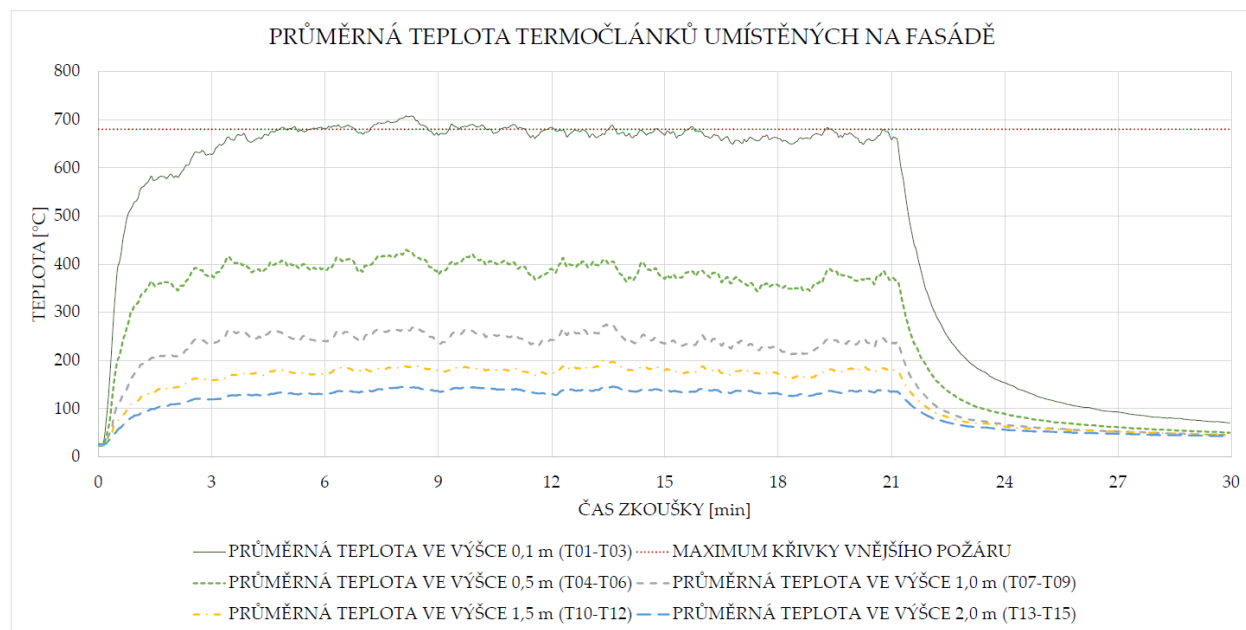
Zkouška byla provedena v požární laboratoři Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT v Praze.

Místo: Buštěhrad
 Den: 10. prosince 2020
 Teplota okolního prostředí: 19 °C
 Relativní vlhkost vzduchu: 32 %
 Počáteční výkon VZT: 30 %

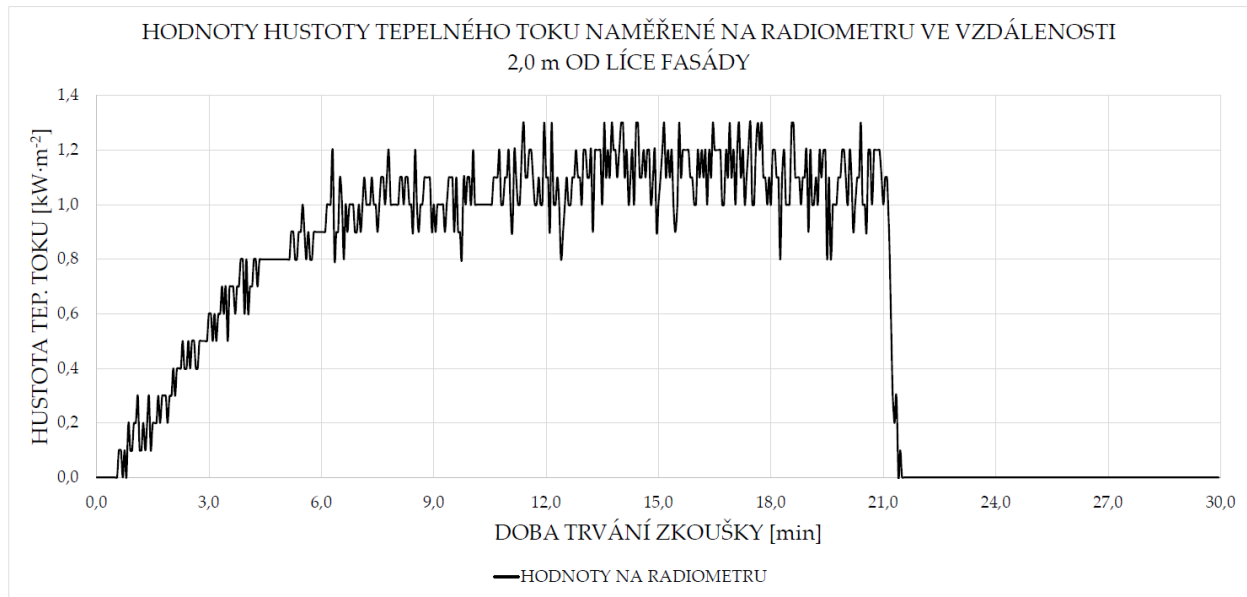
tab. 3: Průběh zkoušky a vizuální hodnocení

Čas [s]	Čas [min:s]	Pozorování
-120	-2:00	spuštění časomíry a zařízení pro měření a regulaci, spuštění VZT nuceného odtahu (30 %) a pilotního hořáku, spuštění záznamu
0	0:00	zapálení hlavního hořáku, výkon 100 kW
1266	21:10	vypnutí hořáku, další sledování chování vzorku
1800	30:00	ukončení zkoušky

Hlavní měřenou veličinou byly teploty na povrchu vzorku a hustota tepelného toku na radiometru umístěného 2,0 m od líce fasády. Umístění měřidel vycházelo principiálně z normy ČSN ISO 13785-1, viz kapitolu 4 s odchylkou v umístění termočlánků pouze na povrchu vzorku.



obr. 2: průměrné teploty ze tří termočlánků v jedné horizontální rovině v různých výškových úrovních



obr. 3: sálavý tepelný tok na radiometru umístěného 2,0 m od líce fasády

7 Obrazový záznam



a)



b)



c)



d)



e)



f)

obr. 4: provedená požární zkouška: a) Požární zkouška v 0. minutě
b) Požární zkouška ve 3. minutě
c) Požární zkouška v 6. minutě
d) Požární zkouška v 9. minutě
e) Požární zkouška ve 12. minutě
f) Požární zkouška v 15. minutě

8 Výsledky měření

Ve 21,1. minutě byl vypnut hořák, který byl ponechán zapálený z důvodu delšího ověření měřených hodnot a ověření, zda fasáda byla ještě schopna akumulovat teplo. Následně bylo dalších 8,9 minut sledováno chování vzorku. V průběhu celé požární zkoušky nedocházelo k žádným změnám jako odpadávání nebo porušení celistvosti. V 30. minutě byla zkouška ukončena a přistoupeno k odstranění vzorku a úklidu zkušebního prostoru.

Po ukončení zkoušky nedocházelo k žádnému žhnutí a v prostoru byla pouze generována teplota, která byla sálána z fasády.

Nejistota měření teplot termočlánky typu MTC10/P31xK/N3000/MTC-MM-4 v řetězci s měřicí ústřednou FireLAB, modul EDAM-5019, byla odhadnuta dle tab. 4, a to na základě kalibračního listu č. 1718/18 ze dne 22. 6. 2018 (Termosondy Kladno, spol. s r.o.) pro 1000 °C a 1150 °C:

tab. 4: Odhad nejistot měření

naměřená teplota t [°C]	450	600	900	1000	1150
rozšířená nejistota ($k = 2$) U [°C]	2,3	2,3	3,3	3,9	5,2

V Praze dne 20. prosince 2020

Protokol vypracoval:

Ing. arch. Petr Hejtmánek, Ph.D.

pracovník – specialista

Bc. Ondřej Hrdina

autor diplomové práce