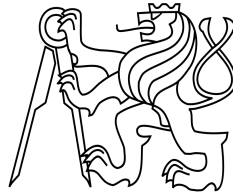

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb



Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Integrovaná bezpečnost staveb

124DPM – Diplomová práce

**ALTERNATIVNÍ ZJIŠŤOVÁNÍ POŽÁRNÍ
ODOLNOSTI STĚNOVÝCH PRVKŮ**

**ALTERNATIVE DETERMINATION OF WALL
STRUCTURE FIRE RESISTANCE**

Vypracoval: Bc. Václav Flídr

Vedoucí práce: Ing. arch. Petr Hejtmánek

2017



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Flidr	Jméno: Václav	Osobní číslo: 395558
Zadávací katedra: Katedra konstrukcí pozemních staveb		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Integrovaná bezpečnost staveb		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Alternativní zjišťování požární odolnosti stěnových prvků	
Název diplomové práce anglicky: Alternative Determination of Wall Structure Fire Resistance	
Pokyny pro vypracování: Návrh virtuální CFD pece pro zjišťování požární odolnosti stěnových prvků v malém a středním měřítku. Předběžné zjišťování chování prvku na průběh teplot podle normové teplotní křivky. Ověření matematického modelu fyzikálním modelem.	
Seznam doporučené literatury: normy řady ČSN EN 1363-x, např. KARLSSON, Björn. a James G. QUINTIERE. Enclosure fire dynamics. Boca Raton, FL: CRC Press, 2000. ISBN 0849313007., popř. odborné publikace Scopus nebo WoS	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. arch. Petr Hejtmánek	
Datum zadání diplomové práce: 4. 10. 2016	Termín odevzdání diplomové práce: 8. 1. 2017 <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“.

4. 10. 2016	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Abstrakt

Předmětem této diplomové práce je podrobný návrh matematického modelu zkušební pece pro zjišťování požární odolnosti stěnových prvků v malém a středním měřítku. V úvodní části této práce je provedena rešerše na hodnocení požární odolnosti stavebních konstrukcí a metod zjišťování požární odolnosti. Dále se diplomová práce zaměřuje na řešený příklad návrhu matematického modelu zkušební pece a správnost návrhu byla ověřena pomocí fyzikálního modelu. V závěrečné části je provedeno zhodnocení a porovnání výsledků získaných z matematických a fyzikálních modelů zkušební pece.

Klíčová slova

Požární odolnost, stěnové konstrukce, výpočtové metody, fyzikální model, obvodová stěna Diffuwall

Abstract

The subject matter of this master's thesis is to propose a detailed mathematical model of the experimental furnace for a research of fire resistance of wall components on a small and middle measuring scale. The introduction of the thesis deals with the evaluation of the fire resistance of building constructions and methods how to determine the fire resistance. Subsequently the thesis focuses on the solved example of the mathematical model of the experimental furnace. The correctness of this model has been verified through physical model. In the conclusion, all results from both mathematical and physical models of the experimental furnace have been compared and evaluated.

Keywords

Fire Resistance, Wall Components, Calculation Methods, Physical Model, Perimeter Wall Diffuwall

Prohlášení

Prohlašuji, že tuto diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pod dohledem Ing. arch. Petra Hejtmánka a veškeré informace jsem čerpal pouze z uvedených zdrojů.

Proti použití této práce ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) nemám námitek.

V Praze, dne 8. ledna 2017

.....
Václav Flídr

Poděkování

V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, Ing. arch. Petru Hejtmánkovi, za veškeré konzultace a celkové vedení této práce. Také bych chtěl poděkovat své rodině za podporu finanční i morální při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat Univerzitnímu centru energeticky efektivních budov za poskytnutí prostředků a prostoru pro zpracování této práce. Nakonec jsem chtěl poděkovat firmě Insowoll s.r.o., která pro mě zajistila zkušební vzorek obvodové stěny systému Diffuwall

Tato diplomová práce vznikla s podporou projektu Univerzitní centrum energeticky efektivních budov (OP VaVpI č. CZ.1.05/2.1.00/03.0091).

Obsah

1	Úvod.....	1
1.1	Cíle diplomové práce	2
1.2	Struktura diplomové práce	2
2	Požární odolnost stavebních konstrukcí	3
2.1	Mezní stavy požární odolnosti.....	3
2.2	Doba požární odolnosti	6
2.3	Druhy konstrukčních částí.....	7
2.3.1	Hořlavost stavebních hmot	8
2.4	Požadovaná požární odolnost	10
3	Metody zjišťování požární odolnosti.....	13
3.1	Experimentální metody	13
3.1.1	Zkušební zařízení	14
3.1.2	Zkušební vzorek.....	15
3.1.3	Termoelektrické články.....	15
3.1.4	Nominální teplotní křivky	16
3.1.5	Akreditované zkušební laboratoře v ČR	18
3.1.6	Akreditované zkušební laboratoře v EU	18
3.2	Jednoduché výpočetní metody.....	19
3.3	Zpřesněné výpočtové metody.....	19
3.4	Kombinace zkoušky a výpočtu.....	20
4	Řešený příklad	21
4.1	Návrh virtuální zkušební pece	21
4.1.1	Vlastnosti materiálu zkušební pece.....	21
4.1.2	Rozměry virtuální zkušební pece.....	22
4.1.3	Poloha otvorů ve virtuální zkušební peci	23
4.1.4	Poloha plynového hořáku.....	24
4.1.5	Rozmístění termoelektrických článků uvnitř zkušební pece	24
4.2	Referenční zkouška	25
4.2.1	Návrh referenční zkoušky virtuální zkušební pece.....	25
4.2.2	Návrh CFD modelu pro referenční zkoušku	26
4.2.3	Návrh výkonu plynového hořáku	27
4.2.4	Porovnání výsledků CFD modelu referenční zkoušky	28
4.2.5	Montáž a průběh reálné referenční zkoušky.....	30
4.2.6	Porovnání výsledků reálné referenční zkoušky	31
4.3	Zkouška požární odolnosti obvodové stěny Diffuwall	33
4.3.1	Rozměry, skladba a materiálové vlastnosti zkušební vzorku	33
4.3.2	Návrh zkoušky požární odolnosti obvodové stěny Diffuwall	35
4.3.3	CFD model virtuální pece se zkušebním vzorkem	36
4.3.4	Návrh výkonu plynového hořáku	37
4.3.5	Porovnání výsledků CFD modelu zkoušky požární odolnosti	39
4.3.6	Výpočet polohy radiometru.....	40

4.3.7	Montáž a průběh reálné zkoušky požární odolnosti	43
4.3.8	Výsledky reálné zkoušky požární odolnosti stěny Diffuwall.....	45
4.3.9	Porovnání naměřených hodnot z reálného vzorku s výsledky z FDS.....	47
5	Závěr	51
6	Seznam příloh	53
	Seznam obrázků	54
	Seznam tabulek.....	55
	Seznam grafů	55
	Literatura	56
	Příloha 1 – Zdrojový kód z programu FDS – Referenční zkušební pec.....	58
	Příloha 2 – Zdrojový kód z programu FDS – Zkouška PO stěny Diffuwall	61
	Příloha 3 – Fotografie z průběhu zkoušky.....	68

1 Úvod

V současnosti je velká rozmanitost jednotlivých stavebních materiálů a jejich kombinací. Hlavním problémem při vývoji nového materiálu nebo skladby konstrukce je nutnost otestovat jejich vlastnosti před použitím v praxi. Jedná se především o zkoušky mechanických, tepelně technických a fyzikálních vlastností. Nás budou především zajímat zkoušky fyzikálních vlastností. Konkrétně se bude jednat o zkoušku požární odolnosti stavebních materiálů a konstrukcí. Tato zkouška je jednou z nejdůležitějších při vývoji nového materiálu, protože její výsledky mají velký vliv na jeho výsledné využití. Nicméně například s rozvojem dřevostaveb vzniká nepřehledné množství kombinací jednotlivých vrstev sendvičové konstrukce (různé deskové materiály, izolace apod.), a proto není reálně možné všechny konstrukce odzkoušet.

Zkoušky požárních odolností jsou navíc velice nákladné, a proto je zapotřebí provádět jejich realizaci s rozvahou. Otázkou tedy je, zda by této situaci neprospěl vývoj zkoušky levnější, která by však přinesla co nejpřesnější výsledek odpovídající skutečné zkoušce v autorizované zkušební peci. Jednou z možností je vytvoření zjednodušené zkušební pece na zjišťování požární odolnosti stěnových prvků v malém nebo středním měřítku. Zhotovení takovéto pece a zhotovení zkušební vzorku by představovalo zlomek nákladů vynaložených na zkoušku v autorizované zkušební peci, ale zároveň by byly výsledky dostatečně přesné na ověření požadovaných vlastností. Ve výsledku by výrobce při vývoji stavebního materiálu a skladby konstrukcí mohl otestovat desítky variant zkušebních vzorků a pouze ten nejlepší zkušební vzorek otestovat v autorizované zkušební peci. To by vedlo ke značné úspoře nákladů na zkoušky, protože by si výrobce mohl být takřka jistý, že daný vzorek ob stojí i u autorizované zkoušky.

Tato diplomová práce se zabývá, vzhledem k výše zmíněným argumentům, návrhem zjednodušené zkušební pece na zjišťování požární odolnosti stěnových prvků v malém nebo středním měřítku. Toto téma je velice zajímavé vzhledem k možnosti využití u různých druhů stavebních konstrukcí a případnému budoucímu praktickému využití při vývoji stavebních výrobků.

1.1 Cíle diplomové práce

Hlavním cílem diplomové práce bude podrobný návrh matematického modelu zkušební pece pro zjišťování požární odolnosti stěnových prvků v malém a středním měřítku. Návrh bude proveden pomocí výpočtu a CFD modelu. Výsledný návrh musí svými parametry, které budou dosaženy uvnitř zkušební pece co nejpřesněji odpovídat průběhu normové teplotní křivky. S ohledem na danou problematiku bude provedena rešerše na hodnocení požární odolnosti stavebních konstrukcí a metody zjišťování požární odolnosti. Dále bude zjišťováno předběžné chování prvku na průběh teplot podle normové teplotní křivky a nakonec bude správnost návrhu matematického modelu ověřena pomocí fyzikálního modelu.

1.2 Struktura diplomové práce

Aby bylo zajištěno co nejpřehlednější popsání dané problematiky a návrhu zkušební pece, bude dělena diplomová práce do těchto kapitol:

- **Úvod** stručně uvádí základní motivaci, cíle a strukturu jednotlivých kapitol diplomové práce.
- **Požární odolnost stavebních konstrukcí** vysvětluje, co to požární odolnost vlastně je a jaké je její využití. Dále jsou v této kapitole popsány a rozděleny základní pojmy, které jsou využívány v praxi.
- **Metody zjišťování požární odolnosti** rozděluje a popisuje jednotlivé zkušební metody používané k ověření požární odolnosti konstrukcí.
- **Řešený příklad** popisuje podrobný návrh matematického modelu zkušební pece pro zjišťování požární odolnosti stěnových prvků v malém a středním měřítku. Dále jsou v této části zhodnoceny výsledky z fyzikálního modelu, které jsou následně porovnány s matematickým modelem.
- **Závěr** shrnuje poznatky z této diplomové práce a vyzdvihuje nejdůležitější výsledky.

2 Požární odolnost stavebních konstrukcí

V této kapitole popíše princip a využití požární odolnosti stavebních konstrukcí. Požární odolnost konstrukcí nebo požárního uzávěru je schopnost odolávat účinkům požáru, aniž by došlo k porušení jejich funkce specifikované mezními stavy požární odolnosti a musí být zachována po celou dobu životnosti stavby.

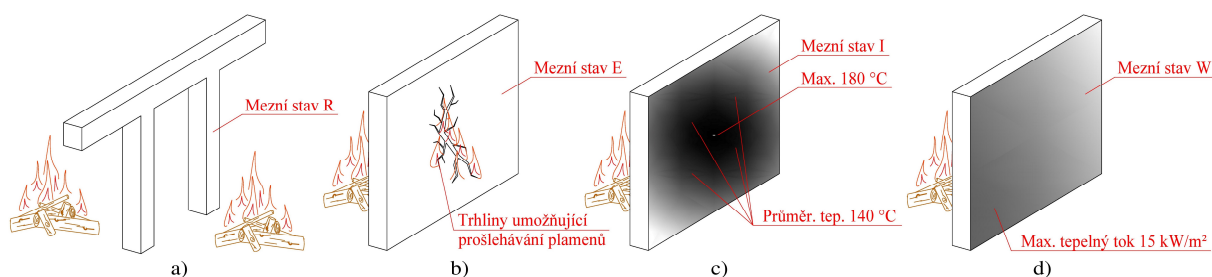
V České republice se využívá mezinárodní klasifikace požární odolnosti, která se určuje podle stupně požární bezpečnosti požárního úseku, udává se v minutách a zároveň je určen i druh konstrukce podle použitých hmot:

- Mezní stav požární odolnosti
- Doba požární odolnosti
- Druhy konstrukčních částí

2.1 Mezní stavy požární odolnosti

Mezní stavy požární odolnosti jsou rozhodující při určování požadavků na použité stavební materiály v posuzovaných konstrukcích.

Mezní stav požární odolnosti ovlivňuje typ dané konstrukce (zda jde o nosný či nenosný prvek a zda se jedná o sloup, stěnu nebo požární uzávěr). Čtyřmi nejčastěji používanými mezními stavy jsou R, E, I, W a ve specifických případech u výplně otvorů se užívají ještě mezní stavy C a S. Dále se ještě omezeně využívají mezní stavy M, G a K.



Obr. 1 Hlavní mezní stavy: a) R (nosnost), b) E (Celistvost), c) I (izolační schopnost), d) W (omezení radiace tepla)

- **Mezní stav „R“ (nosnost)** se uplatňuje u všech nosných konstrukcí, které zajišťují stabilitu objektu. Týká se únosnosti a stability prvků s plošným zatížením (stropy, střechy) i s osovým zatížením prvků (sloupy, stěny). [1]

- **Mezní stav „E“ (celistvost)** se uplatňuje u plošných požárně dělicích konstrukcí. V průběhu požáru nesmí dojít k porušení dělicí konstrukce trhlinou či otvorem přesahující stanovené rozměry. Mezní stav „E“ musí splňovat požární stěny, stropy, předstěny, podhledy a požární uzávěry, které oddělují požární úseky. [1]
- **Mezní stav „I“ (izolační schopnost)** se uplatňuje u plošných požárně dělicích konstrukcí, které brání ohřívání prostoru na vnější straně od požáru. Nesmí se vznítit materiál na neohřívané straně nebo v její blízkosti. Při zkouškách požární odolnosti je mezní stav „I“ splněn tehdy, když průměrná teplota na neohřívané straně nevystoupá oproti počáteční o více než 140 °C s maximálním bodovým vzrůstem teploty v kterémkoli místě o více než 180 °C. Mezní stav „I“ musí splňovat především vnitřní požární stěny, stropy a požární uzávěry mezi požárními úseky, kde se požár může vyskytnout na obou stranách konstrukce. [1]
- **Mezní stav „W“ (omezení radiace tepla)** se uplatňuje u plošných požárně dělicích konstrukcí a jedná se o podobný mezní stav jako izolační schopnost ale s menšími požadavky. Tento mezní stav nezaručuje zabránění nárůstu teplot na odvrácené straně od požáru, pouze snižuje tepelný tok sálající z konstrukce. Omezení tepelného toku musí být takové, aby nezpůsobilo požár na neohřívané straně a zároveň neohrožovalo osoby unikající podél této konstrukce. Proto je hodnota na neohřívané omezena maximálním tepelným tokem 15 kW/m². [1]

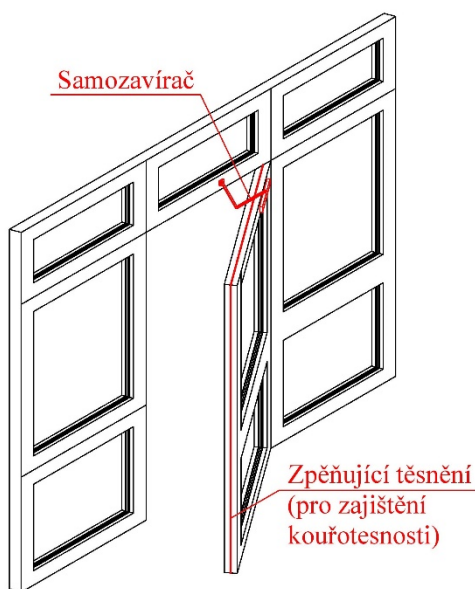
Využívá se především u obvodových stěn, kde omezený tepelný tok může sálat do exteriéru. Dále se s tímto mezním stavem setkáváme u požárních uzávěrů (např. u protipožárních dveří) mezi požárními úseky. [1]

- **Mezní stav „S“ (kouřotěsnost)** zaručuje, že nedojde k průniku kouře do zvláště chráněných prostor nebo do prostor se složitějšími podmínkami evakuace, kde by mohlo dojít k nadýchání zplodinami a ohrožení na životech. Kouřotěsnost dveří je zajištěna požárně odolným těsněním, které je umístěno na obvodu dveřního křídla (kromě prahové spáry) nebo v drážce zárubně.

Uplatňuje se především u dveří chráněných únikových cest B a C, které jsou využívány pro únik většího počtu osob. Dále se využívá u kontrolních dvířek do instalačních šachet, které jsou na chráněné únikové cestě, ve shromažďovacích prostorech, u dveří ústících do chráněné únikové cesty ze suterénu atd. [1]

- **Mezní stav „C“ (samozavírání)** se uplatňuje u běžně uzavřených dveří, které jsou umístěné v požárně dělicí konstrukci. Zajišťuje jejich automatické uzavření po každém otevření pomocí samozavírače a tím se docílí požární odolnost celé konstrukce v celé ploše bez slabých míst.

Všechny požární uzávěry v požárně dělicích konstrukcích musí být při požáru automaticky uzavřeny. Samouzavření prostupu požárně dělicí konstrukcí není požadováno pouze u uzávěrů technických prostorů (prostory bez trvalého výskytu osob, dočasného či přechodného charakteru). Dále není požadováno na pasivním křídle dvoukřídlých dveří, kde se předpokládá pouze výjimečné otevírání (není využíváno častěji než jednou měsíčně), ale tyto dveře nesmí sloužit jako vstup do chráněné únikové cesty. Dále je umístění samozavírače ovlivněno specifickými požadavky požárních norem (např. ve zdravotnických zařízeních, shromažďovacích prostorách, hotelových pokojích atd.) [2]



Obr. 2 Mezní stav „C“ (samozavírání) a „S“ (kouřotesnost)

- **Mezní stav „M“ (mechanická odolnost)** se uplatňuje u stavebních konstrukcí, u kterých se předpokládá riziko nárazu od jiné stavební konstrukce uvolněné konstrukčním porušením při požáru. Tento mezní stav zaručuje, že nedojde k porušení posuzovaného prvku vlivem nárazu nebo jiným mechanickým poškozením. [1]

- **Mezní stav „G“ (odolnost proti požáru sazí)** se uplatňuje u klasifikace komínů a jim podobným výrobků z hlediska požární odolnosti v případě vznícení sazí v komínovém tělese. Tento mezní stav zaručuje, že nedojde k porušení těsnosti a izolačních vlastností komínového tělesa. V případě, že komín požadavkům těsnosti na základě hodnocení vyhovuje, tak ho označujeme písmenem „G“. Toto označení je oproti ostatním mezním stavům, které jsou doplněny dobou splnění požadovaného mezního stavu v minutách, je doplněn o určením nutné vzdálenosti od hořlavých konstrukcí, která je vyjádřena v mm, např. G 100. [1]
- **Mezní stav „K“ (účinnost požárních ochran)** se uplatňuje u protipožárních obkladů a podhledů, které chrání stěnové a stropní konstrukce. Tento mezní stav zaručuje ochranu obloženého materiálu před vznícením, žhnutím a ostatními škodami po stanovenou dobu. [1]

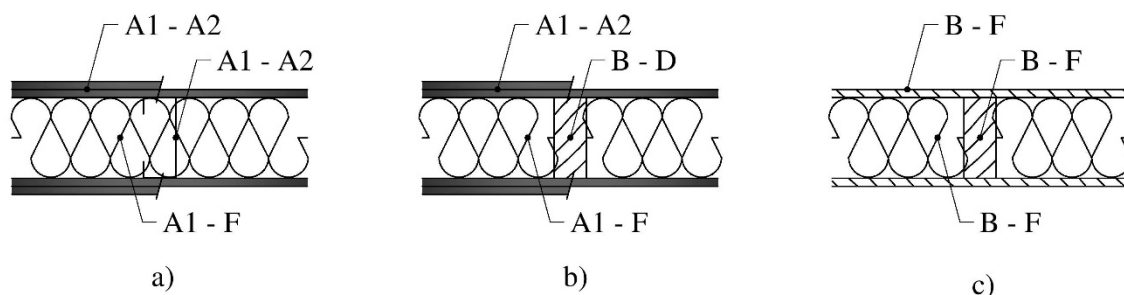
2.2 Doba požární odolnosti

Stavební konstrukce nebo požární uzávěry jsou schopny odolávat účinkům požáru po stanovenou dobu bez toho, aby došlo k porušení jejich funkce (porušení požadovaných mezních stavů). [3]

Všechny klasifikační doby požární odolnosti jsou vyjádřeny v minutách. Základní doba požární odolnosti, která se využívá v kmenových normách 73 0802 a 73 0804 je určena stupnicí 15, 30, 45, 60, 90, 120 a 180 minut. [3]

2.3 Druhy konstrukčních částí

V České republice je krom požadavku na mezní stav spojený s dobou požární odolnosti kladen požadavek na tzv. druh konstrukční části. Konstrukční části z požárního hlediska třídíme do tří skupin na konstrukce druhu DP1, DP2 a DP3 v závislosti na dvou kritériích. První kritérium je zvyšování intenzity požáru vlivem hoření hořlavých výrobků a druhé kritérium je vliv použitých hořlavých výrobků na únosnost a stabilitu konstrukční části. V následujících bodech popíšeme jednotlivé druhy konstrukčních částí:



Obr. 3 Druhy konstrukčních částí: a) Konstrukce DP1, b) Konstrukce DP2, c) Konstrukce DP3

- **Konstrukce druhu DP1** (Obr. 3a) nezvyšují v požadované době požární odolnosti intenzitu požáru. Jedná se především o konstrukce složené z výrobků s třídou reakce na oheň A1 nebo A2 (např. z betonu, keramiky, kovu atd.). Výrobky s třídou reakce na oheň B až F (např. tepelná a zvuková izolace atd.) smí být umístěny uvnitř konstrukce mezi nehořlavými výrobky, ale v požadované době požární odolnosti nesmí být dosažena teplota vzplanutí hořlavých hmot. Stabilita a únosnost konstrukce musí být závislá na nehořlavém výrobku (např. tenkostěnné ocelové profily atd.). [2]
- **Konstrukce druhu DP2** (Obr. 3b) nezvyšují v požadované době požární odolnosti intenzitu požáru. Povrchové vrstvy těchto konstrukcí jsou tvořeny z výrobků s třídou reakce na oheň A1 nebo A2, přičemž se nesmí narušit po dobu požadované požární odolnosti jejich stabilita a tloušťka této povrchové vrstvy musí být alespoň 12 mm nebo musí být ověřena zkouškou. Výrobky s třídou reakce na oheň B až D smí být umístěny uvnitř konstrukce mezi nehořlavými materiály a na těchto výrobcích může být závislá stabilita konstrukční části (např. dřevěné sloupky, vzpěry, nosníky atd.). Výrobky s třídou reakce na oheň B až F (např. tepelná a zvuková izolace atd.) smí být umístěny uvnitř konstrukce mezi nehořlavými výrobky, ale na těchto konstrukcích nesmí být závislá stabilita konstrukční části [2]

- **Konstrukce druhu DP3** (Obr. 3c) zvyšují v požadované době požární odolnosti intenzitu požáru a nesplňují požadavky v konstrukci druhu DP1 a DP2. Skládají se z výrobků jakékoliv třídy reakce na oheň. [2]

2.3.1 Hořlavost stavebních hmot

Hořlavost stavebních hmot je jednou z nejdůležitějších vlastností stavebních materiálů, protože má velký vliv na možnosti využití zkoumaného materiálu. Výsledná hodnota zjištěná pomocí zkoušky je rozhodující při určování druhu dané konstrukce (DP1, DP2, DP3) a zatřídění celého konstrukčního systému stavby (hořlavý, smíšený, nehořlavý konstrukční systém stavby).

Hořlavost stavebních hmot představuje intenzitu přispívání stavebního materiálu k rozšíření požáru. Dříve se stavební hmoty třídily dle ČSN 73 0862 do těchto pěti stupňů hořlavosti [3]:

- **Stupeň A** – nehořlavé stavební hmoty
- **Stupeň B** – nesnadno hořlavé stavební hmoty
- **Stupeň C1** – těžce hořlavé stavební hmoty
- **Stupeň C2** – středně hořlavé stavební hmoty
- **Stupeň C3** – lehce hořlavé stavební hmoty

Stupně hořlavosti byly využívány do konce roku 2003, kdy byla zrušena ČSN 73 0862. Poté se postupně začalo přecházet na třídění hořlavosti stavebních hmot a dalších požadavků vyplývajících z evropských norem řady ČSN EN 13501 - X. Stavební materiály, u kterých byl stupeň hořlavosti stanoven podle ČSN 73 0862 nebo je uveden v ČSN 73 0821, bylo možné využívat pouze do konce roku 2007. Proto bylo nutné vytvořit převodník stupňů hořlavosti na třídy reakce na oheň, který byl vypracován v ČSN 73 0810 [3]:

Stupeň hořlavosti	Třída reakce na oheň
A	A1, A2
B	B
C1	C
C2	D
C3	E, F

Tab. 1 Převod stupňů hořlavosti na třídy reakce na oheň

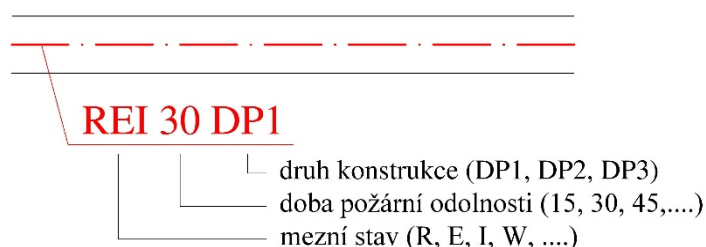
Při posuzování požadavků na třídy reakce na oheň jednotlivých stavebních hmot je rozhodující rozdělení výrobků dle ČSN EN 13501-1 do těchto tříd:

- **Třída A1** – výrobky třídy A1 nezvyšují požární zatížení, a proto je lze považovat za vyhovující pro ostatní (nižší) třídy reakce na oheň (např. výrobky z keramiky, skla, kovu, betonu, tepelně izolační desky z minerálních vláken). [3]
- **Třída A2** – výrobky třídy A2 výrazně nepřispívají ke zvětšení požárního zatížení za podmínek nerozvinutého a plně rozvinutého požáru (např. sádrokartonová nebo sádrovláknitá deska). [3]
- **Třída B** – výrobky třídy B také výrazně nepřispívají ke zvětšení požárního zatížení za podmínek nerozvinutého požáru, ale omezeně rozšiřují plameny v případě plně rozvinutého požáru (např. vinylové podlahy, cementotřískové desky). [3]
- **Třída C** – výrobky třídy C jsou schopny odolávat působení plamene po delší časový interval bez výrazného rozšíření ohně a při tepelném působení jednotlivého hořícího předmětu vykazují minimální zvětšení plamene (např. tepelně izolační deska z fenolické pěny). [3]
- **Třída D** – výrobky třídy D mají podobné vlastnosti jako pro třídu C, pouze při působení jednotlivého hořícího předmětu jsou schopny podstatně opozdit a omezit uvolňování tepla z této konstrukce (např. konstrukční dřevo, desky na bázi dřeva) [3]
- **Třída E** - výrobky třídy E jsou schopny odolávat působení plamene po krátký časový interval bez výrazného rozšíření ohně (např. tepelně izolační desky z expandovaného polystyrenu nebo polyuretanu). [3]
- **Třída F** – výrobky třídy F jsou hmoty, které nelze zařadit do žádné z předchozích tříd reakce na oheň. [3]

2.4 Požadovaná požární odolnost

Požadované hodnoty požární odolnosti jednotlivých typů konstrukčních částí je nutné stanovit u všech nosných a požárně dělících konstrukcí. U těchto konstrukcí se určí požadovaný mezní stav podle toho, o jakou konstrukci se jedná (nosná, nenosná, stěnová atd.). Dále se určuje požadovaná doba požární odolnosti a druh konstrukční části (viz Obr. 4), podle toho o jakou konstrukci se jedná v závislosti na stupni požární bezpečnosti v posuzovaném požárním úseku. [4]

V následujících podkapitolách jsou popsány jednotlivé typy stavebních konstrukcí, pro které jsou požadovány požární odolnosti dle ČSN 73 0802 / 04 (tab. 12):



Obr. 4 Požadovaný mezní stav, doba požární odolnosti a druh konstrukce

- **Požární stěny a požární stropy** jsou plošné konstrukce, které oddělují sousedící požární úseky ve vodorovném resp. svislém směru, případně jsou na hranici dvou objektů. Protože se jedná o plošné konstrukce na hranici dvou požárních úseků, tak musí být jejich mezní stav **EI** nebo v případě, že je konstrukce současně nosná, tak musí splňovat mezní stav **REI**. Konstrukce požární stěny nebo požárního stropu se určí podle bezpečnějšího druhu konstrukce v sousedních požárních úsecích. [4]
- **Požární uzávěry otvorů** v požárních stěnách a stropích (okna, dveře, poklopy atd.) musí být v případě požáru uzavřeny. Jedná se o konstrukce mezi požárními úseky, proto ve většině případů není požadováno, aby okna a dveře v obvodových stěnách vykazovaly požární odolnost. [4]

Požární uzávěry otvorů v požárních stěnách a stropích, které ústí do chráněné únikové cesty, musí splňovat mezní stav **EI**. V ostatních případech se považuje za vyhovující, pokud požární uzávěr splňuje alespoň mezní stav **EW**. Dále vzhledem k požadavku uzavření všech požárních uzávěrů v případě požáru, musí být opatřeny požární dveře samozávíračem (ve specifických případech lze od samozávírače upustit

viz kap. 2.2.6) a v některých případech musí požární uzávěr splňovat kouřotěsnost (viz kap. 2.2.5). [4]

Požární uzávěry otvorů mohou být navrženy ze dřeva (konstrukce druhu DP3), aniž by zhoršovaly zařídění konstrukčního systému celého objektu. Nechořlavé požární uzávěry (konstrukce druhu DP1) je nutné navrhnout od 1. podzemního podlaží níže (v některých případech až od 2. podzemního podlaží), v požárních úsecích s vyšším stupněm požární bezpečnosti (VI. a VII. SPB) a případně mezi objekty. [4]

- **Obvodové stěny** se posuzují ve většině případů pouze z vnitřní strany, protože z vnější strany sousedí pouze s volným prostranstvím. Z tohoto důvodu lze snížit požadovaný mezní stav na **EW** nebo v případě, že je konstrukce současně nosná, tak musí splňovat mezní stav **REW**. Toto snížení nelze využít v případě, že na obvodovou stěnu může působit požár i z vnější strany (např. pokud na fasádu zasahuje požárně nebezpečný prostor jiného požárního úseku). V takovýchto případech musí splňovat obvodová stěna požadavky, které jsou kladeny na požární stěnu, což znamená mezní stav **EI**, resp. **REI**. [4]
- **Nosné konstrukce střech** se posuzují pouze v případech, kdy se jedná o střechu nebo strop, nezatížený stálým nebo nahodilým požární zatížením. Samostatné nosné konstrukce poté musí splňovat mezní stav **R** a plošné nosné konstrukce musí splňovat **RE**. V případě, že se nad těmito konstrukcemi nachází stálé nebo nahodilé zatížení (hořlavý střešní plášť), tak je nutno hodnotit střešní konstrukci jako požární strop (viz kap. 2.5.1). [4]
- **Nosné konstrukce zajišťující stabilitu objektu uvnitř požárního úseku** jsou prutové nebo plošné konstrukce (např. nosné stěny, sloupy, stropy, nosníky, průvlaky, pilíře atd.). Tyto konstrukce musí splňovat minimálně mezní stav **R** a stropní konstrukce, musí splňovat mezní stav **RE**. [4]
- **Nosné konstrukce zajišťující stabilitu umístěné vně objektu** jsou prutové nebo plošné konstrukce (např. nosné stěny, sloupy, stropy, nosníky, průvlaky, pilíře atd.). Tyto konstrukce musí splňovat mezní stav **R**, ale pouze v případě, pokud se tyto konstrukce nacházejí v požárně nebezpečném prostoru.

Balkonové nebo lodžiové konstrukce nemusí vykazovat požadovanou požární odolnost, pokud na nich nezávisí stabilita objektu nebo se nejedná o požární pás. [4]

- **Nosné konstrukce nezajišťující stabilitu objektu** jsou prutové nebo plošné konstrukce (např. vestavěné podlaží uvnitř objektu). Tyto konstrukce musí splňovat mezní stav **R** a stropní konstrukce, musí splňovat mezní stav **RE**. Protože se nejedná o nosné konstrukce zajišťující stabilitu objektu nebo požárně dělicí konstrukce, tak je lze zhotovit z druhu konstrukce DP3 bez ohledu na konstrukční systém objektu (tato výjimka neplatí při VI. a VII. stupni požární bezpečnosti posuzovaného požárního úseku). [4]
- **Nenosné konstrukce uvnitř požárního** jsou všechny stálé konstrukce, které neoddělují požární úseky (např. příčky uvnitř domu). Tyto konstrukce mohou být z jakéhokoliv materiálu, pouze v případě VI. a VII. stupně požární bezpečnosti musí být tyto konstrukce druhu DP2, resp. DP1. [4]
- **Konstrukce schodišť** se posuzují pouze ta schodiště, která nejsou součástí chráněné únikové cesty a zároveň musí sloužit jako úniková cesta pro více než 10 osob z posuzovaného požárního úseku. Na takovéto schodiště je především kladen požadavek mezního stavu **R**. V určitých případech, když se v prostoru pod schodištěm nachází jiný požární úsek, tak je nutné uvažuje schodišťové rameno a podesty jako požárně dělicí konstrukce (viz kap. 2.5.1). [4]

Na schodiště v prostoru chráněné únikové cesty nejsou kladeny požadavky na požární odolnost, protože se předpokládá tento prostor bez požárního rizika. Nicméně je požadováno, aby všechny konstrukce chráněné únikové cesty byly z konstrukcí druhu DP1, tento požadavek se vztahuje i na konstrukce schodišť. [4]

3 Metody zjišťování požární odolnosti

Požární odolnost navržených stavebních konstrukcí musí být minimálně stejná nebo vyšší než jsou hodnoty požadované normou. Požární odolnost konkrétní stavební konstrukce lze zjistit pomocí následujících postupů:

- Experimentální metody
- Jednoduché výpočetní metody
- Zpřesněné výpočetní metody
- Kombinace zkoušky a výpočtu

3.1 Experimentální metody

Experimentální metody se provádějí od malorozměrových až po velkorozměrové. Pro běžné využití stavebních výrobků je potřeba ověřit požární odolnost pomocí velkorozměrové zkoušky. Tato zkouška nejlépe odpovídá předpokladům uvnitř hořícího prostoru, avšak jejich nevýhodou je prostorová, časová a finanční náročnost [5].

Provádí se především u systémových výrobků, jejichž tvar, tloušťka a kvalita se nemění. Jde většinou o velkorozměrové zkoušky, kde zkušební vzorek stěny má obvykle 3 x 3 m, takováto zkušební stěna je například vidět na obr. 5. Samotná zkouška se provádí v požární peci certifikované zkušebny materiálů na objednávku výrobce zkoušeného výrobku, kteří tím chtějí zjistit možnosti uplatnění daného výrobku. V požární peci je vzorek vystaven působení intenzivního plamene, který většinou simuluje průběh teplot podle normové teplotní křivky. Zároveň se v průběhu zkoušky měří čas do chvíle, než dojde k porušení zkoumaného mezního stavu. [5]



Obr. 5 Zkouška požární odolnosti zděné stěny [6]

Jako příklad lze uvést zděnou příčku z keramických tvárnic, u které v měřeném čase požární zkoušky nedojde k porušení mezního stavu celistvosti (neobjeví se trhliny). Nicméně po přibližně 60 minutách dojde k přílišnému prohřátí posuzovaného materiálu, čímž se překročí mezní stav izolační schopnosti. Ve výsledku je nutné uvažovat požární odolnost zděné příčky EI 60, i když samotná celistvost by splňovala E 180 [5].

3.1.1 Zkušební zařízení

V akreditované zkušební laboratoři probíhá zkouška požární odolnosti stěnových prvků ve zkušební peci na kapalná nebo plynná paliva. Zkušební pec musí být postavena z nehořlavých materiálů o objemové hmotnosti menší než 1000 kg/m^3 , tloušťce nejméně 50 mm a z těchto materiálů musí být alespoň 70 % vnitřního povrchu pece. [7]

Teplota uvnitř pece se stanovuje pomocí průměrné teploty z měření jednotlivých termoelektrických článků. Tato teplota musí sledovat průběh podle některé z nominálních teplotních křivek (viz kap. 3.1.4) v závislosti na požadované simulaci požární odolnosti zkoušeného výrobku. Ve většině případů se provádí zkouška požární odolnosti stavebního výrobku z vnitřní strany a využívá se normová teplotní křivka. Nicméně v určitých případech (např. u jakékoli nesymetrické konstrukce, kterou chceme použít v požárně nebezpečném prostoru) je požadováno ověření požární odolnosti stavebního výrobku i z vnější strany. V tomto případě se provádí zkouška podle křivky vnějšího požáru nebo jiných teplotních křivek s ohledem na požadované vlastnosti zkoušeného výrobku. [7]

Dále se využívají zatěžovací zařízení, která napodobují podmínky rovnoměrného zatížení, soustředného zatížení, osového zatížení nebo excentrického zatížení podle konkrétního zkušební vzorku. Pro tyto účely lze zatížení aplikovat mechanicky, hydraulicky nebo pomocí závaží. [7]

Samotný zkušební vzorek poté musí být umístěn ve zkušebním rámu nebo jiném zařízení, který zajišťuje odpovídající okrajové a podpěrné podmínky. Pro jednotlivé typy vzorků jsou potřeba rozdílné zkušební rámy s různou tuhostí. [7]

3.1.2 Zkušební vzorek

Velikost zkušební vzorku ovlivňuje výsledná používaná velikost konstrukce v praxi. Pokud je zkoušený výrobek využíván na konstrukce větší než 3 m, poté velikost zkušební vzorku nesmí být menší než 3 m. V opačném případě, když se zkoušený výrobek využívá v menších konstrukcích, tak je požadováno, aby zkušební vzorek měl skutečný rozměr, který se využívá v praxi. Jako příklad lze uvést zkoušku požární odolnosti protipožárního zasklení oken (viz Obr. 6), kde se používá výsledná velikost tabulí oken využívaných v praxi. [8]



Obr. 6 Zkouška požární odolnosti protipožárního zasklení oken [9]

Zkušební vzorek, u něhož je požadavek na požární odolnost pouze z jedné strany nebo se jedná o osově symetrický výrobek, tak se zkouší pouze ze strany, která bude v praxi vystavena požáru. V případě požadavku na požární odolnost vzorku z obou stran, které jsou rozdílné, se zkouší dva vzorky (z každé strany jeden). Všechny konstrukce, u nichž není požadavek na požárně dělicí funkci, se zkouší pouze jednou. [7]

3.1.3 Termoelektrické články

Termoelektrické články umístěné uvnitř pece musí být rozmístěny tak, aby co nejpřesněji uváděli průměrnou teplotu v blízkosti zkušební vzorku. Jejich počet a poloha je pro každý typ vzorku stanovena konkrétní zkušební metody. [7]

Články na neohřívané straně zkušební vzorku se umísťují v případě, kdy je požadováno zhodnocení mezního stavu izolační schopnosti. Tyto články se rozmístí tak, aby bylo možné naměřit průměrný a nejvyšší nárůst teplot na neohřívaném povrchu vzorku. [7]

V případě požadavku na měření teplot uvnitř zkušební vzorku musí být umístěny termoelektrické články tak, aby neovlivňovali chování vzorku. [7]

3.1.4 Nominální teplotní křivky

Nominální teplotní křivky nejčastěji popisují fázi plně rozvinutého požáru s charakteristickým rychlým nárůstem teplot. Graficky znázornit teplotní křivkou fázi dohořívání (chladnutí) je složitější a pro stanovování požární odolnosti konstrukce většinou nepodstatné.

Nominální teplotní křivky znázorňují rozvoj teploty uvnitř požárního úseku. Obvykle se využívají k ověřování požární odolnosti stavebních konstrukcí.

- **Normová teplotní křivka** byla vypracována na základě americké křivky E119, která se využívala pro experimenty proložením funkce diskretními body. Běžně využívaný název „normová teplotní křivka“ se začal využívat až po uznání mezinárodní normalizační komise ISO. V odborné literatuře bývá označena jako ISO 834. využívá se při zkouškách požární odolnosti stavebních prvků ve zkušebních pecích. Vyjádření teplot touto křivkou je na straně bezpečnosti, proto její zavedení umožnilo zvýšení požární spolehlivosti konstrukcí výpočtem. Normovou teplotní křivku lze vyjádřit následujícím vztahem:

$$T = 345 \cdot \log_{10}(8t + 1) + 20 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad [10]$$

T průměrná teplota v peci [°C]

t čas od začátku zkoušky [min]

- **Křivka vnějšího požáru** se využívá při posuzování konstrukcí, které se vyskytují vně objektu (např. sloupy, přístřešky, obklady atd.) a předpokládá se, že budou vystaveny účinkům požáru. Tato teplotní křivka má skoro stejný průběh s normovou teplotní křivkou až do teploty okolo 680 °C, kdy již zůstává teplota konstantní. Křivku vnějšího požáru lze vyjádřit následujícím vztahem:

$$T = 660 \cdot (1 - 0,687 \cdot e^{-0,32 \cdot t} - 0,313 \cdot e^{-3,8 \cdot t}) + 20 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad [10]$$

T průměrná teplota v peci [°C]

e Eulerovo číslo [-]

t čas od začátku zkoušky [min]

- **Uhlovodíková teplotní křivka** umožňuje simulovat požár s rychlým nárůstem teplot. Touto křivkou mohou být modelovány plně rozvinuté požáry hořlavých kapalin. Uhlovodíkovou teplotní křivku lze vyjádřit následujícím vztahem:

$$T = 1080 \cdot (1 - 0,325 \cdot e^{-0,167 \cdot t} - 0,675 \cdot e^{-2,5 \cdot t}) + 20 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad [10]$$

T průměrná teplota v peci [°C]

e Eulerovo číslo [-]

t čas od začátku zkoušky [min]

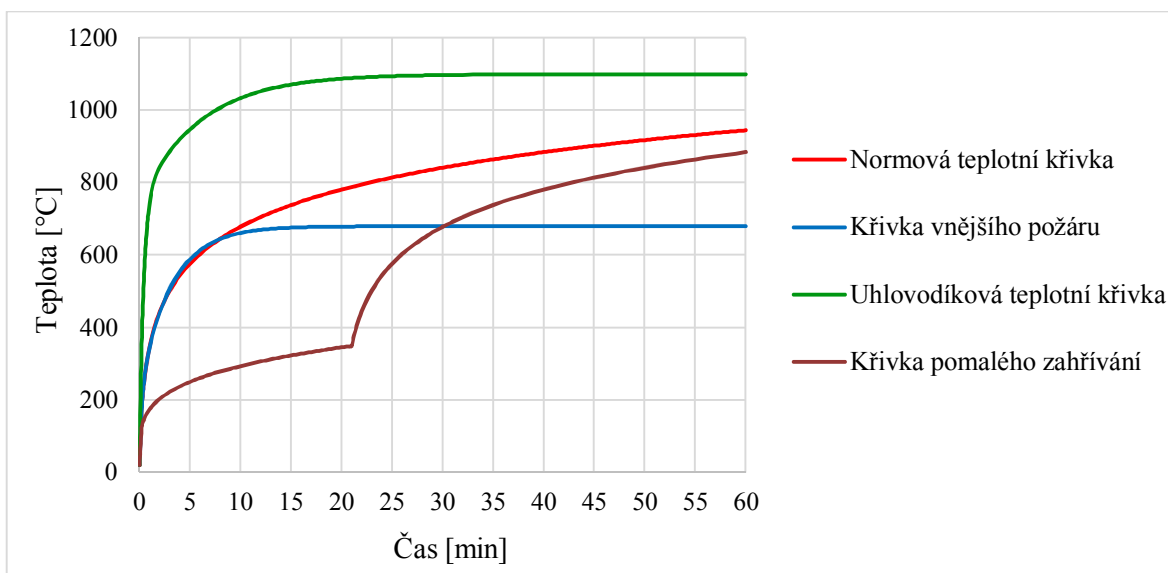
- **Křivka pomalého zahřívání pro doutnající požár** může být využita u prvků, jejichž vlastnosti závisí na vysoké intenzitě zahřívání do teploty 500 °C (např. zpěňující nebo reagující výrobky, zateplení fasád atd.). Křivka pomalého zahřívání je dána následujícím vztahem:

$$\text{Pro } 0 < t \leq 21 : T = 154 \cdot t^{0,25} + 20 \text{ [}^\circ\text{C]}]$$

$$\text{Pro } t > 21 : T = 345 \cdot \log_{10}(8 \cdot (t - 20) + 1) + 20 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad [10]$$

T průměrná teplota v peci [°C]

t čas od začátku zkoušky [min]



Graf 1 Nominální teplotní křivky

3.1.5 Akreditované zkušební laboratoře v ČR

V České republice vznikl v roce 1990 státní podnik „Požárně atestační a výzkumný ústav staveb Praha, s.p. (PAVUS, s.p.)“, který byl později převeden na akciovou společnost. Tato firma se dále rozvíjela v oboru požárního zkušebnictví a později přesunula zkušební zařízení z Prahy do Veselí nad Lužnicích, kde působí dodnes. Požární zkušebna Veselí nad Lužnicí je akreditovaná zkušební laboratoř č. 1026, která v dnešní době představuje stěžejní ústav v oboru požárního zkušebnictví v České republice. [11]

Hlavními obory požárních zkoušek, kterými se akreditovaná zkušební laboratoř PAVUS v současnosti zabývá, jsou:

- Zkoušení reakce stavebních výrobků na oheň, včetně podlahových krytin.
- Zkoušení požární odolnosti stavebních konstrukcí.
- Zkoušení požárně technických a mechanických vlastností stavebních výrobků a konstrukcí.
- Zkoušení požárně bezpečnostních zařízení.
- Zkoušení komínů a komínových vložek.
- Zkoušení kabelů a kabelových nosných konstrukcí.
- Zkoušení technických prostředků a zařízení požární ochrany, včetně zkoušek hasiv.
- Zkoušení požárně technických charakteristik hmot, látek materiálů a výrobků.
- Zkoušky elektrických kabelů za podmínek požáru. [11]

3.1.6 Akreditované zkušební laboratoře v EU

Většina evropských zemí má vlastní akreditovanou zkušební laboratoř v oboru požárního zkušebnictví. Mezi nejvýznamnější akreditované zkušebny lze zařadit:

- CERIB Fire Testing Centre (Epernon, Francie)
- Federal Institute f. Materials Research a. Testing (Berlín, Německo)
- TÜV SÜD Schweiz AG / Process Safety (Basilej, Švýcarsko)
- BRE Global Ltd (Watford, Anglie)
- All Russian Research Institute for Fire Protection (Moskva, Rusko)

3.2 Jednoduché výpočetní metody

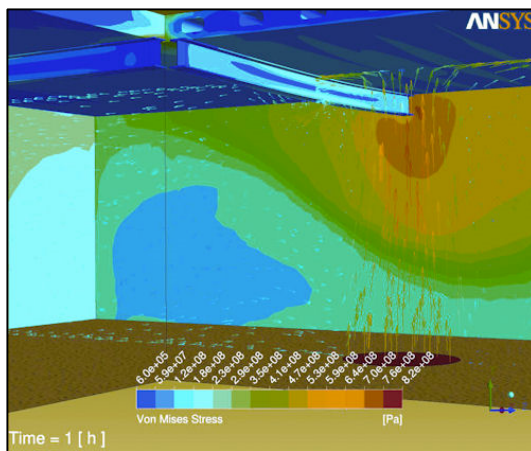
V současnosti se nejčastěji využívají zjednodušené výpočty jednotlivých částí stavebních konstrukcí za požáru. Lze je využít u většiny konstrukcí vyráběných přímo na stavbě, jako jsou dřevěné, ocelové, betonové a případně i zděné konstrukce, u kterých nelze zaručit pokaždé stejné vlastnosti (nejde o konkrétní testovaný výrobek) [5].

Samotný výpočet je většinou proveden podle postupů uvedených v ČSN EN 1991-1-2 až ČSN EN 1996-1-2. Použité vzorce zjednodušují fyzikální parametry stavebních konstrukcí nebo se jedná čistě o empirické hodnoty požární odolnosti pro tradiční konstrukce. Výsledky zjednodušených výpočetních metod mohou být využity pro kontrolu výsledků zpřesněných výpočetních metod nebo v případech, kdy jsou tyto zjednodušené výpočty dostačující. [5]

3.3 Zpřesněné výpočtové metody

Jedná se o počítačové modely (viz Obr. 7), které jsou založeny na výpočtech tepelných a mechanických vlastností stavebních výrobků vystavených po určitou dobu požáru. Tyto počítačové modely dokáží přesně simulovat průběh kterékoliv teplotní křivky, v závislosti na posuzované konstrukci. [5]

Výsledkem počítačových modelů je většinou zjištění průběhu tepelného toku, proudění plynu, vedení tepla konstrukcemi a v některých případech i zhodnocení mechanických deformací posuzované konstrukce. Nicméně tyto modely prozatím nejsou ani v evropských normách podrobněji rozpracované a jejich využití v praxi je omezené. [5]



Obr. 7 Analýza ohřívání ocelového nosníku vlivem požáru v programu ANSYS [12]

3.4 Kombinace zkoušky a výpočtu

Ve většině případů jsou stavební výrobky odlišné od původních vzorků zkoušených v akreditované laboratoři, protože je požadována široká škála velikostí, tvarů a materiálových variant každého výrobku. Zkoušení všech variant by bylo velice nákladné, ale zároveň není ve většině případů možné, aby byly tyto výrobky dodávány bez ověření nebo schválení. Proto musí existovat postup, jak aplikovat již odzkoušený vzorek na jinou variantu výroku, ale zároveň musí být zajištěno, aby při zkoušení rozdílné varianty výrobku bylo dosaženo stejně dobrých výsledků jako u původního zkušební vzorku. Tento problém lze řešit pomocí těchto dvou aplikací [7]:

- **Oblast přímé aplikace** byla vytvořena na podkladu výsledků jednotlivých zkoušek. Může být použita v určitém rozsahu, který je určen pravidly nebo návody, kdy může nebo nemůže být odzkoušený výrobek změněn bez nutnosti dalšího hodnocení nebo přepočítání. Rozsah dovolených variant je velmi malý, a proto je jeho využití omezené (např. při zvýšení tloušťky nosného prvku atd.). [7]
- **Rozšířená aplikace** vznikla na koncepci série zkoušek různých rozměrů a/nebo variant výrobků. Poskytuje na rozdíl od přímé aplikace možnost pro interpolaci a extrapolaci mezi výsledky různých zkoušek. To vyžaduje rozbor konstrukce konkrétního výrobku a jeho chování při zkouškách akreditovanými zkušebnami, které poté vydají protokol o rozšířené aplikaci pro dané varianty. Jedná se tedy o provedení několika zkoušek a poté zhodnocení pomocí výpočtu. Tuto variantu je možné využít např. u zmenšení krycí vrstvy, zvětšení rozteče nosných prvků atd. [7]

4 Řešený příklad

V této kapitole diplomové práce se budu zabývat podrobným návrhem matematického modelu zkušební pece pro zjišťování požární odolnosti stěnových prvků v malém a středním měřítku. Dále budou v této kapitole zhodnoceny výsledky z fyzikálního modelu, které následně porovnáám s matematickým modelem.

Hlavním úkolem řešeného příkladu bude provést pomocí výpočtu a CFD modelu co nejvhodnější návrh zmenšené požární zkušební pece. Výsledný návrh musí svými parametry co nejpřesněji odpovídat skutečné zkoušce požární odolnosti stěnových prvků v akreditované zkušební laboratoři. Pro účely diplomové práce jsem provedl tyto dvě zkoušky požární odolnosti:

- **Referenční zkoušku** – zkouška samotné zkušební pece, která bude celá zhotovena z nehořlavých stavebních materiálů.
- **Zkoušku požární odolnosti obvodové stěny Diffuwall** – ověření zkoušky požární odolnosti nosného obvodového pláště Diffuwall 2010.

4.1 Návrh virtuální zkušební pece

Zmenšenou virtuální zkušební pec jsem navrhl na základě normových požadavků na akreditovanou zkušební laboratoř. Tyto požadavky se vztahují především na materiálové vlastnosti vyzdívky zkušební pece a stropní konstrukce. V závislosti na zvoleném materiálu a normových požadavcích se dále odvíjí navržené rozměry virtuální zkušební pece a přívodní / odvodní otvory pro přívod vzduchu a odvod spalin. Nedílnou součástí návrhu je následně rozmístění termoelektrických článků uvnitř pece a návrh výkonu plynového hořáku pro účely zkoušky požární odolnosti stěnových prvků.

4.1.1 Vlastnosti materiálu zkušební pece

V akreditované zkušební laboratoři musí být konstrukce zkušební pece postavena z nehořlavých materiálů o objemové hmotnosti menší než 1000 kg/m^3 , tloušťce nejméně 50 mm a z těchto materiálů musí být alespoň 70 % vnitřního povrchu pece.

Vzhledem k výše zmíněným požadavkům na materiálové vlastnosti konstrukce zkušební pece jsem zvolil tyto stavební materiály:

▪ **Zdivo z tvárnice PORFIX P2-500**

- Rozměry tvárnice (d x v x š) **500 x 250 x 150 mm**
- Objemová hmotnost tvárnice **$\rho = 500 \text{ kg/m}^3$**
- Součinitel tepelné vodivosti **$\lambda = 0,102 \text{ W/m}\cdot\text{K}$**
- Měrná tepelná kapacita **$c = 1,0 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$** [13]

▪ **Stropní konstrukce z překladů Ytong P4,4-600**

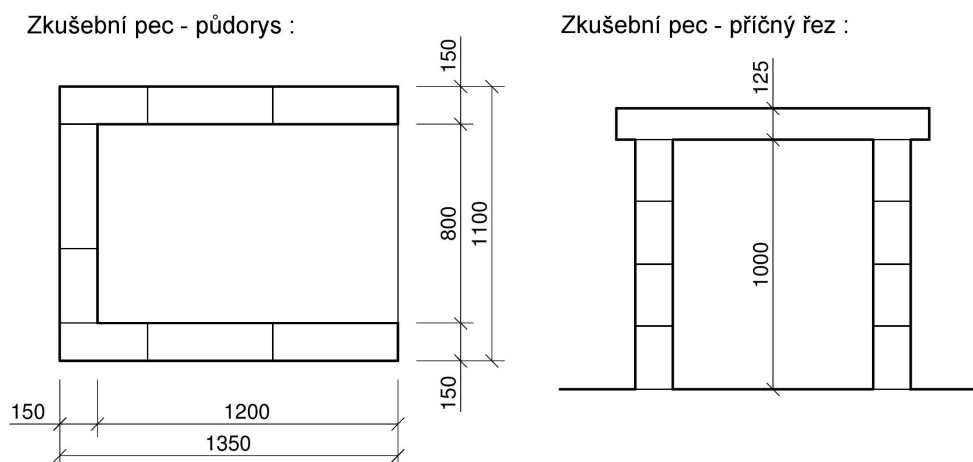
- Rozměry překladů (d x v x š) **1250 x 125 x 250 mm**
- Objemová hmotnost tvárnice **$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$**
- Součinitel tepelné vodivosti **$\lambda = 0,176 \text{ W/m}\cdot\text{K}$**
- Měrná tepelná kapacita **$c = 1,05 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$** [14]

4.1.2 Rozměry virtuální zkušební pece

Rozměry, respektive hloubka skutečné pece není dle norem řady ČSN EN 1363 nijak definována. Důležité je, aby zkušební vzorek byl 3,0 x 3,0 m a aby byla zajištěna jednotná teplota v prostoru. Rozměry virtuální zkušební pece jsem tedy zvolil takové, aby zkušební vzorek byl taktéž přibližně čtvercový. Poměr stran pece vychází z jiné velkorozměrové ověřovací zkoušky, konkrétně zkoušky pro zjišťování třídy reakce na oheň výrobků dle ČSN EN 14390. V této normě jsou stanoveny rozměry požární zkušební pec („Fire test room“), přičemž délka této pece je 3,6 m, šířka 2,4 m a výška 2,4 m.

Navrhovaná zkušební pec pro středněrozměrové zjišťování požární odolnosti je tedy trojnásobnou zmenšeninou zkušební pece uvedené v normě ČSN EN 14390. Vnitřní rozměry navržené virtuální zkušební pece proto budu dále uvažovat jako **délku 1,2 m, šířce 0,8 m a výšce 1,0 m**. Výsledné rozměry jsou poté zakresleny na obrázku „Rozměry virtuální zkušební pece“ (Obr. 8).

V této zkoušce lze tedy ověřovat chování prvku při požáru na vzorku o rozměrech exponované části konstrukce 0,8 m x 1,0 m, jde tedy přibližně o 10 % plochy oproti velkorozměrové požární zkoušce. Rozměry vzorku nicméně převyšují výrobní rozměry jednotlivých stavebních materiálů, tudíž i u takto zmenšené zkoušky lze ověřovat spoje.

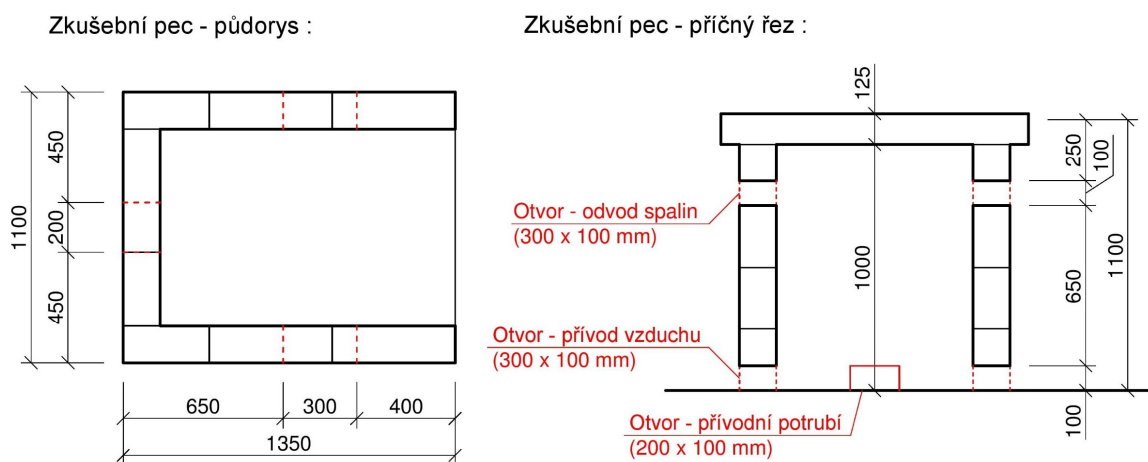


Obr. 8 Rozměry virtuální zkušební pece

4.1.3 Poloha otvorů ve virtuální zkušební peci

Pro zajištění dostatečného a rovnoměrného přívodu vzduchu a odvodu spalin jsem navrhl na každé boční straně virtuální zkušební pece dva otvory o velikosti **300 x 100 mm**. Tyto otvory jsem umístil přibližně ve středu bočních stěn zkušební pece tak, aby jeden otvor byl umístěn na podlaze (přívodní otvor pro vzduch) a druhý otvor jsem navrhl 150 mm pod strop zkušební pece (odvodní otvor pro spaliny). Zároveň jsem musel brát ohled na vazbu tvárnic, aby byla zajištěna jejich únosnost po vyříznutí přívodního a odvodního otvoru.

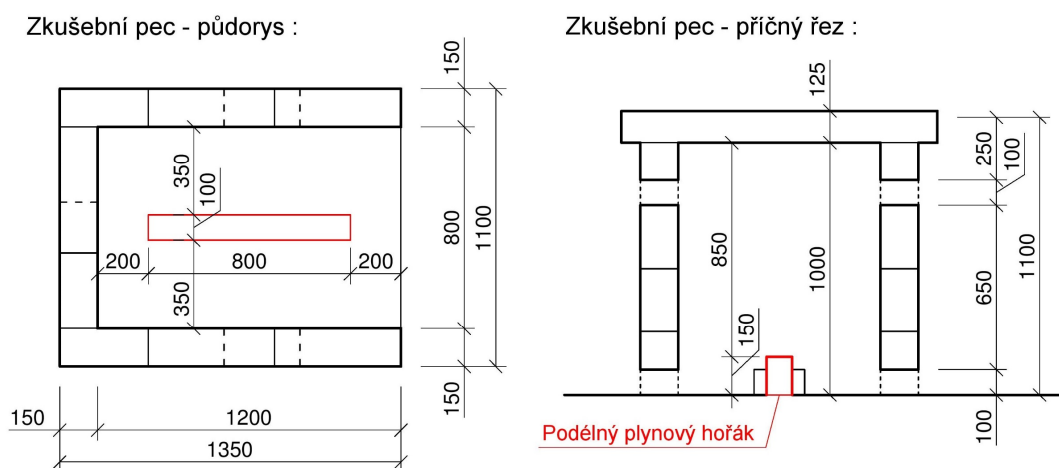
Dále bylo nutné v zadní části zkušební pece počítat s otvorem pro přívodní potrubí k plynovému hořáku. Tento otvor jsem navrhl na podlaze o velikosti **200 x 100 mm**, opět s ohledem na vazbu tvárnic, aby byla zajištěna jejich únosnost. Výsledné rozměry a umístění je poté zakresleno na obrázku „Umístění otvorů ve virtuální zkušební peci“ (Obr. 9).



Obr. 9 Umístění otvorů ve virtuální zkušební peci

4.1.4 Poloha plynového hořáku

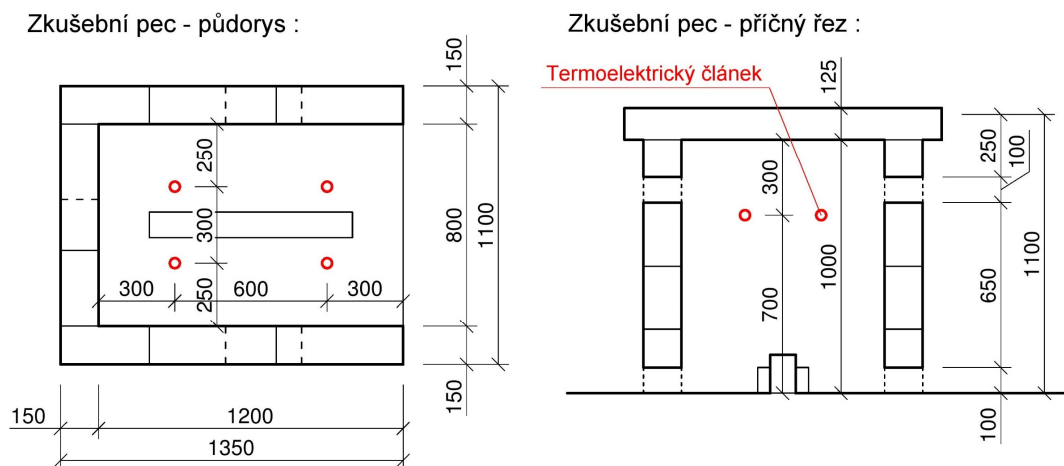
Pro zajištění rovnoměrného ohřívání vnitřního prostoru virtuální zkušební pece, jsem se rozhodl využít podélný plynový hořák o délce 1200 mm, šířce 100 mm a výšce 150 mm. Nicméně aby nedocházelo k akumulaci tepla v přední a zadní části virtuální zkušební pece, tak jsem navrhnul, aby byl v těchto částech hořák zakryt v délce **200 mm**. Výsledné rozměry plynového hořáku v dalších částech diplomové práce proto uvažuji o **délce 800 mm, šířce 100 mm a výšce 150 mm**. Přesná poloha plynového hořáku ve virtuální zkušební peci je zakreslená na obrázku „Poloha plynového hořáku ve virtuální zkušební peci“ (Obr. 10).



Obr. 10 Poloha plynového hořáku ve virtuální zkušební peci

4.1.5 Rozmístění termoelektrických článků uvnitř zkušební pece

Termoelektrické články uvnitř zkušební pece jsem umístil tak, aby co nejpřesněji uváděly průměrnou teplotu ve virtuální zkušební peci. Zároveň jsem bral ohled na normové požadavky umístění termoelektrických článků uvnitř zkušební pece. Proto jsem pro navrženou zkušební pec zvolil umístění **čtyř termoelektrických článků**, přibližně ve 2/3 výšky zkušební pece a symetricky rozmístěnými nad plynovým hořákem. Zároveň jsem se snažil, aby termoelektrické články nebyly přímo v plamenech hořáku a aby byly dostatečně daleko od obvodové konstrukce zkušební pece, která by mohla ovlivňovat naměřené hodnoty. Přesná poloha termoelektrických článků ve virtuální zkušební peci je zakreslená na obrázku „Rozmístění termoelektrických článků uvnitř zkušební pece“ (Obr. 11).



Obr. 11 Rozmístění termoelektrických článků uvnitř zkušební pece

4.2 Referenční zkouška

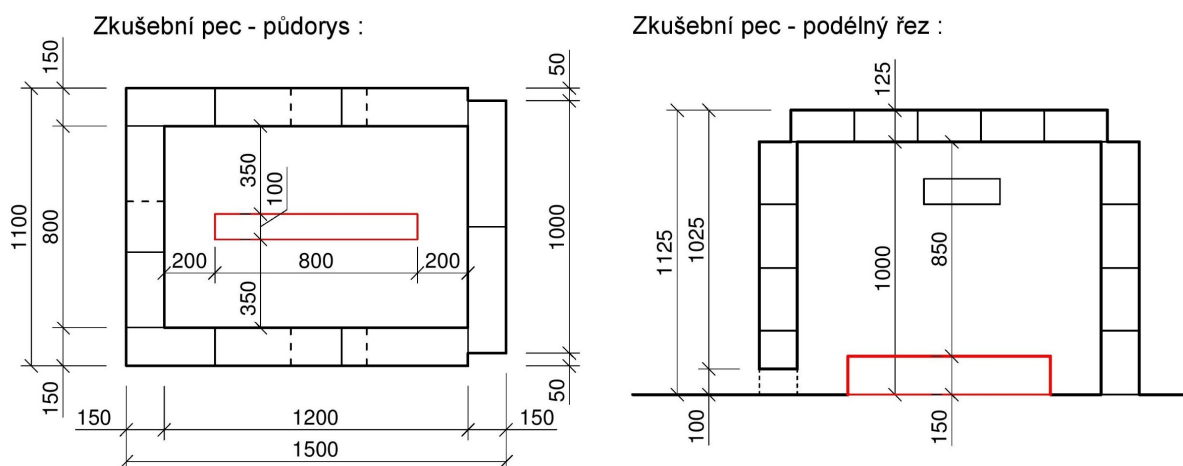
Jednalo se o zkoušku funkčnosti navržené zkušební pece, jejímž cílem bylo ověřit nárůst průměrné teploty uvnitř zkušební pece podle normové teplotní křivky. Při této zkoušce byla virtuální zkušební pec uzavřena ze všech stran zdívkem z pórobetonových tvárnic PORFIX, kromě přírodních a odvodních otvorů. Uzavřena pórobetonovým zdívkem byla i přední strana zkušební pece, která jinak bude sloužit v následující zkoušce jako prostor pro ověření požární odolnosti zkoušeného výrobku.

V následujících kapitolách popíši návrh referenční zkoušky virtuální zkušební pece, CFD model referenční zkoušky, návrh výkonu plynového hořáku, průběh reálné referenční zkoušky a porovnání výsledků s normovou teplotní křivkou.

4.2.1 Návrh referenční zkoušky virtuální zkušební pece

V rámci této kapitoly popíši výsledný návrh referenční zkoušky virtuální zkušební pece, který bude dále sloužit jako podklad pro zpracování CFD modelu a reálné referenční zkoušky virtuální pece.

Rozvržení velikosti zkušební pece, umístění přírodních a odvodních otvorů, plynového hořáku a termoelektrických článků bude přesně podle návrhu dle kap. 4.1. Jediný rozdíl oproti základnímu návrhu je ve vyzdění přední strany pece z pórobetonových tvárnic tak, aby byla pec zcela uzavřena. Výsledné rozměry zkušební pece pro referenční zkoušku, včetně vyzdění přední strany pece je zakresleno na obrázku „Výsledné rozměry zkušební pece pro referenční zkoušku“ (Obr. 12).



Obr. 12 Výsledné rozměry zkušební pece pro referenční zkoušku

4.2.2 Návrh CFD modelu pro referenční zkoušku

Návrh CFD modelu pro referenční zkoušku provádím především za účelem navržení proměnlivého výkonu plynového hořáku. Výsledná průměrná teplota uvnitř zkušební pece naměřená termoelektrickými články musí co nejpřesněji odpovídat nárůstu teplot podle normové teplotní křivky.

Návrh CFD modelu virtuální zkušební pece pro referenční zkoušku jsem provedl v programu FDS (Fire Dynamics Simulator) verze 6.1.2.

Je to program, ve kterém se vstupní údaje píší do textového editoru ve formě zdrojového kódu. V rámci tvorby zdrojového kódu je třeba definovat formou příkazů veškeré rozměry, povrchy a vlastnosti materiálů, dále se zde zadávají požadovaná měření a zdroje tepla. Tento program je volně dostupný a provádí výpočty na základě výpočtového proudění tekutin, které se označuje zkratkou CFD (Computational Fluid Dynamics). Jako výstup z tohoto programu slouží tabulky s naměřenými hodnotami a vizualizační program Smokeview, který je součástí FDS. Program Smokeview slouží pro grafické zobrazení modelu, ve kterém je možné vykreslit teploty, tepelný tok, průběh kouře apod. vypočtené programem FDS. [15]

Jako výchozí parametry pro modelování jsem zvolil rozměry výpočtové oblasti, čas výpočtu, definovat materiály, rozměry přívodních a odvodních otvorů, umístění termočlánků a zdroj tepla (zdrojový kód viz Příloha č. 1):

- **Výpočetní oblast** je tvořena jednou oblastí o velikosti 1200 x 800 x 1000 mm (sít' 50 x 50 x 50 mm => 24 x 16 x 20 buněk).

- **Čas výpočtu** jsem zvolil 15 minut.
- Ve výpočetním modelu se počítá s těmito **materiály**:
 - 1) **Zdivo z tvárnice PORFIX P2-500**
 - Objemová hmotnost tvárnice $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$
 - Součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,102 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
 - Měrná tepelná kapacita $c = 1,0 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$
 - 2) **Stropní konstrukce z překladů Ytong P4,4-600**
 - Objemová hmotnost tvárnice $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
 - Součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,176 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
 - Měrná tepelná kapacita $c = 1,05 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$
- **Přívodní / odvodní otvory** jsou umístěny podle kap. 4.2.3.
- **Termoelektrické články** uvnitř zkušební pece jsou umístěny podle kap. 4.1.5.
- Jako **zdroj tepla** jsem uvažoval plynový hořák na propan-butan o maximálním uvažovaném výkonu **200 kW** a rozměrech (d x š x v) 800 x 100 x 150 mm. Výkon plynového hořáku je časově závislá veličina, kterou jsem nastavoval pomocí příkazu „RAMP_Q“. Tento hořák bude umístěn podle kap. 4.1.4.

4.2.3 Návrh výkonu plynového hořáku

Výkon plynového hořáku jsem navrhoval na základě nárůstu průměrných teplot ve virtuální zkušební peci v programu FDS. S ohledem na tento nárůst teplot jsem nejprve přibližně odhadnul poměr mezi nárůstem teploty a výkonem plynového hořáku, přičemž z tohoto odhadu jsem dostal hrubý průběh průměrné teploty uvnitř zkušební pece. Následně jsem pokračoval v upravování prvotního odhadu tak, aby průběh průměrné teploty uvnitř virtuální zkušební pece co nejpřesněji odpovídal nárůstu teplot podle normové teplotní křivky.

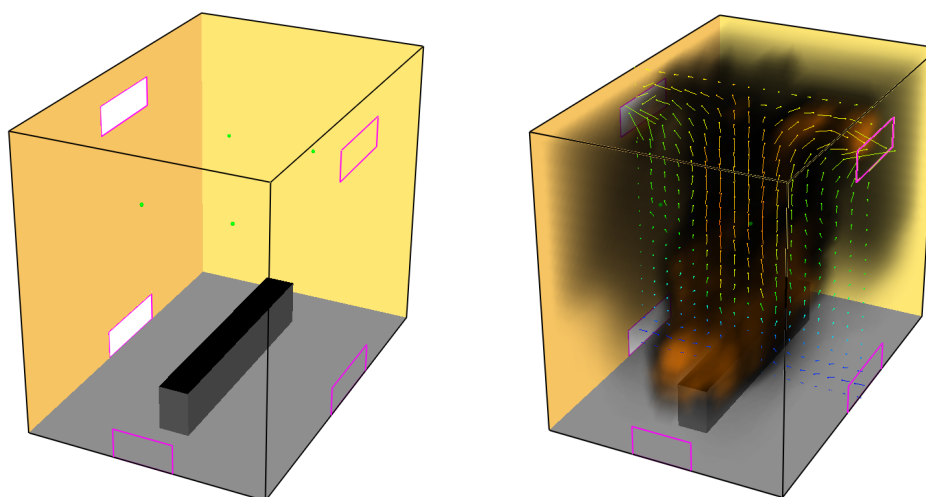
Výsledný návrh proměnného výkonu plynového hořáku jsem vypsál do podrobné tabulky „Výsledný návrh výkonu plynového hořáku pro referenční zkoušku“ (Tab. 2). Nárůst výkonu plynového hořáku je stanoven na dobu 15 minut referenční zkoušky.

Čas [sekunda]	Výkon [kW]	Čas [sekunda]	Výkon [kW]	Čas [sekunda]	Výkon [kW]
0	0	90	86,6	510	132
3	32	120	93,2	540	133,5
5	36	150	100	570	135
10	40	180	105	600	136,5
15	44	210	110	630	138
20	48	240	115	660	139
25	52	270	120	690	140
30	56	300	121,5	720	141
35	60	330	123	750	142
40	64	360	124,5	780	143
45	68	390	126	810	144
50	72	420	127,5	840	145
55	76	450	129	870	146
60	80	480	130,5	900	147

Tab. 2 Výsledný návrh výkonu plynového hořáku pro referenční zkoušku

4.2.4 Porovnání výsledků CFD modelu referenční zkoušky

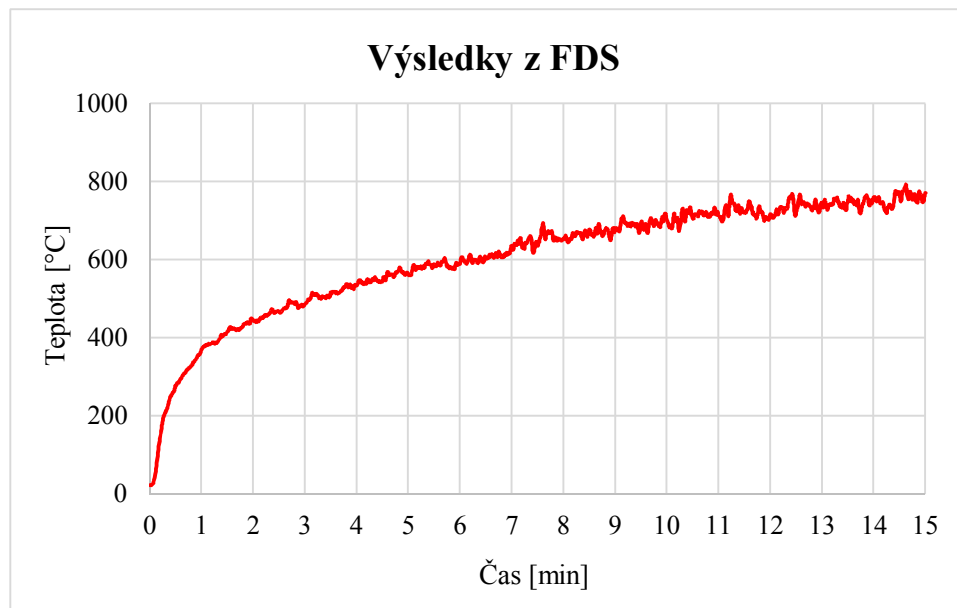
Na základě zvolených výpočtových parametrů, návrhu rozměrů a výkonu plynového hořáku jsem namodeloval virtuální CFD model zkušební pece pro referenční zkoušku v programu FDS, který je vidět na obrázku „CFD model zkušební pece a vektorové proudění spalin uvnitř pece“ (Obr. 13).



Obr. 13 CFD model zkušební pece a vektorový proudění spalin uvnitř pece

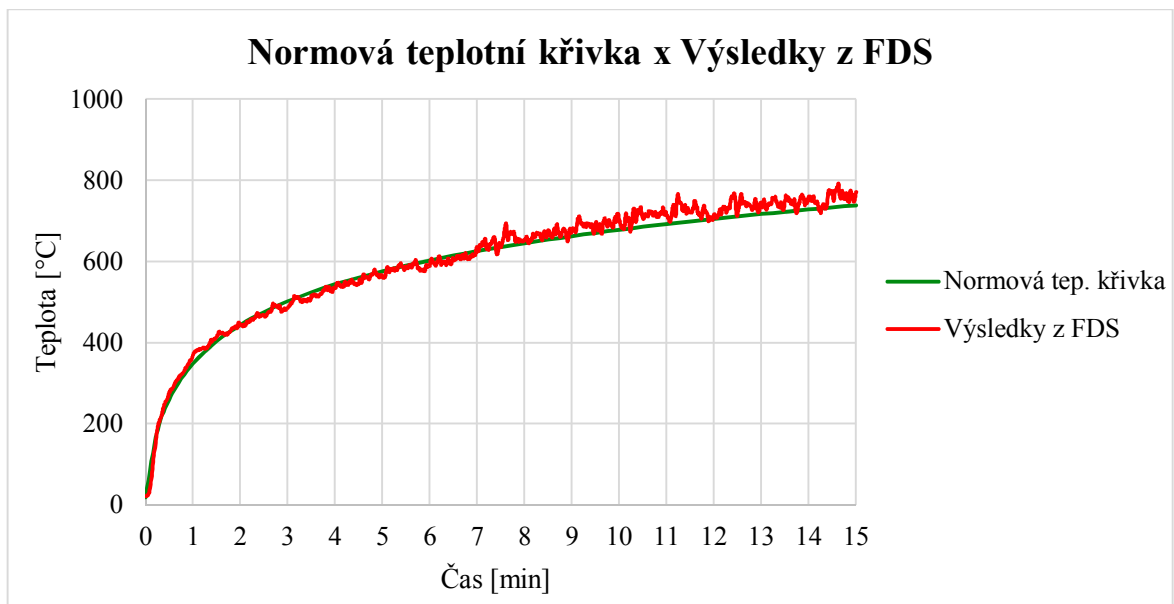
Výsledky z programu FDS jsou ukládány do tabulkového editoru. V těchto výsledcích lze snadno dohledat jednotlivé naměřené teploty čtyř termoelektrických článků umístěný

uvnitř pece nad plynovým hořákem. Z naměřených hodnot termoelektrických článků uvnitř zkušební pece jsem vypočítal v tabulkovém editoru nárůst průměrných teplot a z těchto teplot jsem vytvořil výsledný graf průběhu teplot uvnitř zkušební pece (viz Graf 2).



Graf 2 Graf průměrných teplot uvnitř virtuální zkušební pece

Nakonec jsem výsledný graf průměrných teplot uvnitř virtuální zkušební pece porovnal s grafem normové teplotní křivky (viz Graf 3). Jak je vidět na grafu níže, tak se mi povedlo docílit skoro ideálního průběhu teplot uvnitř pece podle normové teplotní křivky.



Graf 3 Porovnání výsledku z FDS s normovou teplotní křivkou

4.2.5 Montáž a průběh reálné referenční zkoušky

Reálnou referenční zkoušku virtuální zkušební pece jsem prováděl 14. 12. 2016 ve výzkumném univerzitním centru UCEEB (Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT v Praze) a to konkrétně v požární laboratoři FireLAB.

Tato požární laboratoř se zaměřuje především na zkoušky v reálném měřítku, na hašení a chlazení vodní mlhou nebo evakuaci osob. Dále se v prostoru požární laboratoře nachází unikátní zkušební zařízení „Room Corner Test“, které slouží pro zkoušení povrchových úprav stěn a stropů nebo jednotlivých hořících předmětů. [16]

Před zahájením stavby zkušební pece jsme na betonovou podlahu požární laboratoře umístili do prostoru pod odsávací zvon zplodin podložku ze sádkartonových desek. Na podložku jsme následně začaly stavět obvodové stěny zkušební pece z pórobetonových tvárnic přesně podle mého návrhu, tedy včetně přívodních / odvodních otvorů na bocích pece a zadního otvoru pro přívodní potrubí k hořáku. Když jsme dokončili obvodové stěny zkušební pece, tak jsme na vrchní část stěn umístili stropní konstrukci z nenosných pórobetonových překladů. Reálný model zkušební pece s nezakrytou přední stranou je vidět na obrázku (Obr. 14), který se nachází na další straně.



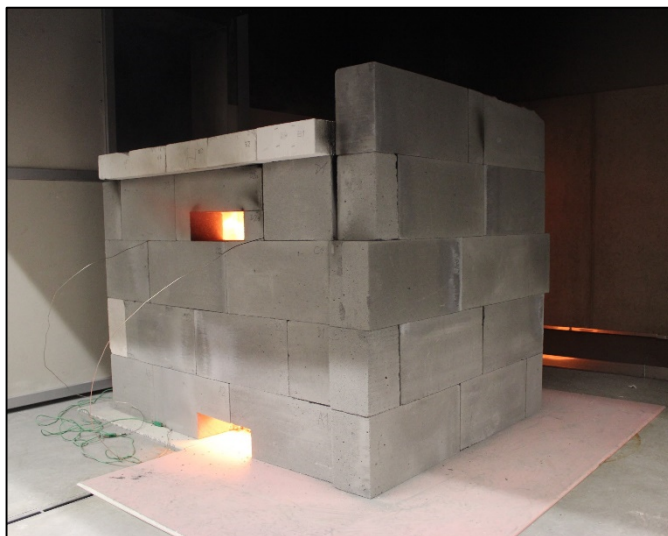
Obr. 14 Reálný model zkušební pece bez zakryté přední strany



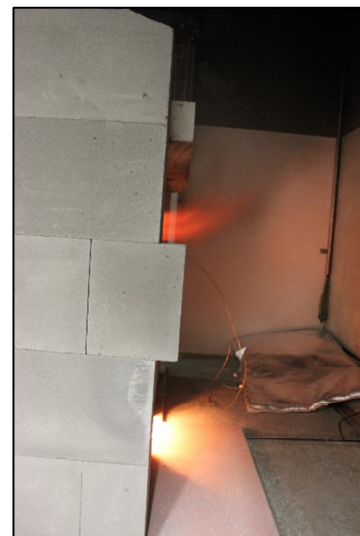
Obr. 15 Pohled do vnitřku zkušební pece

Po dokončení hrubé stavby zkušební pece jsme umístili podle návrhu plynový hořák a čtyři termoelektrické články do vnitřního prostoru pece nad plynový hořák (viz Obr. 15). Nakonec jsme přední stranu pece uzavřeli vyzdívkou z pórobetonových tvárnic (viz Obr. 16)

a provedli referenční zkoušku zkušební pece s nastavením plynového hořáku, které jsem navrhl při modelování virtuální zkušební pece (viz kap. 4.2.3).



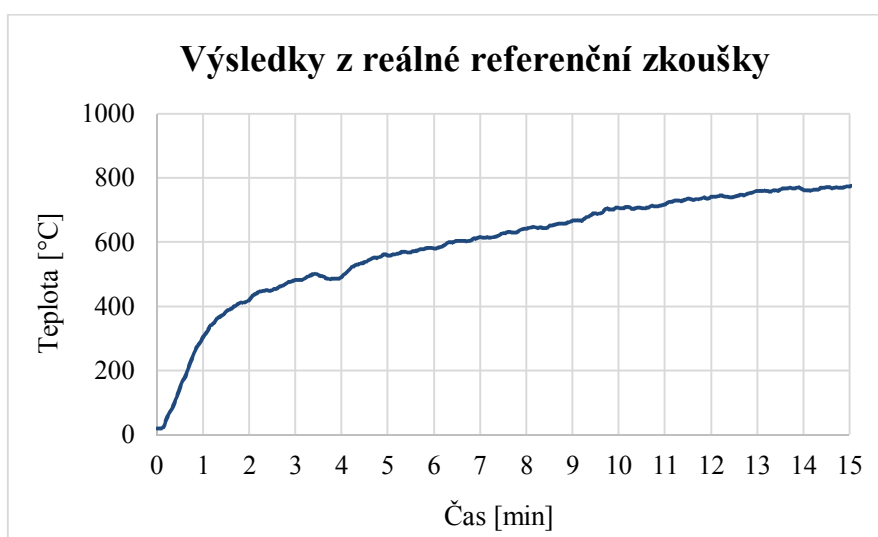
Obr. 16 Průběh referenční zkoušky se zakrytou přední stranou



Obr. 17 Pohled na boční stranu v průběhu zkoušky

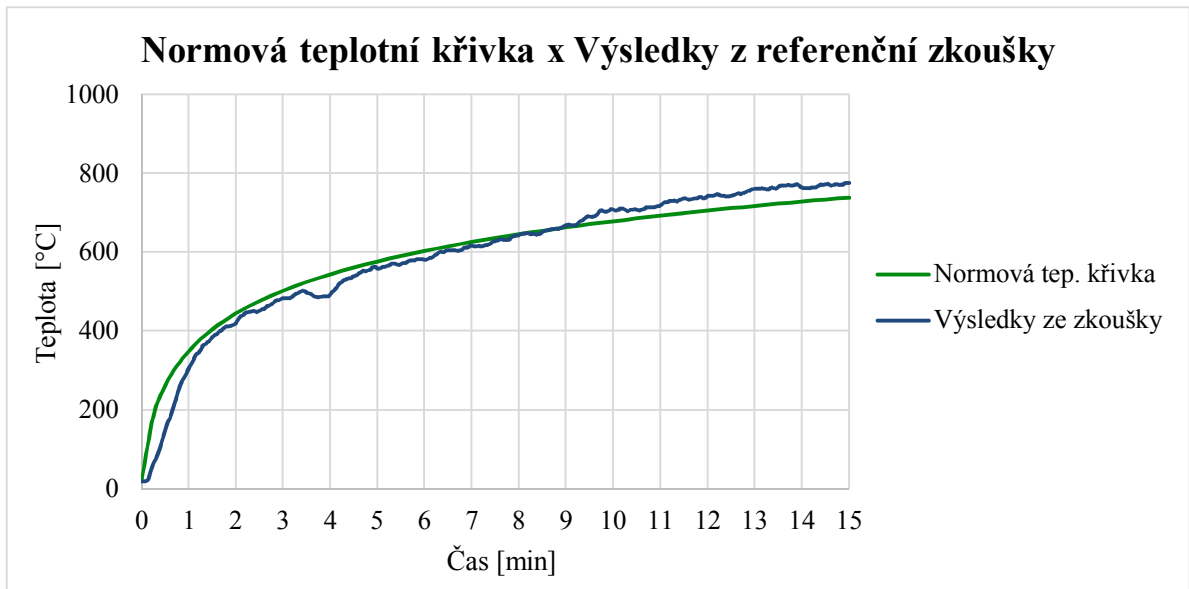
4.2.6 Porovnání výsledků reálné referenční zkoušky

Naměřené hodnoty při průběhu referenční zkoušky v požární laboratoři FireLAB jsou ukládány výpočetním zařízením ve formě textového souboru. Tyto výsledky jsem následně převedl do tabulkového editoru, kde jsem provedl porovnání a zhodnocení výsledků. Z naměřených hodnot termoelektrickými články uvnitř pece jsem dále v tabulkovém editoru vypočítal průměrnou teplotu uvnitř pece a nakonec jsem vytvořil výsledný graf průběhu teplot uvnitř reálné zkušební pece (viz Graf 4).



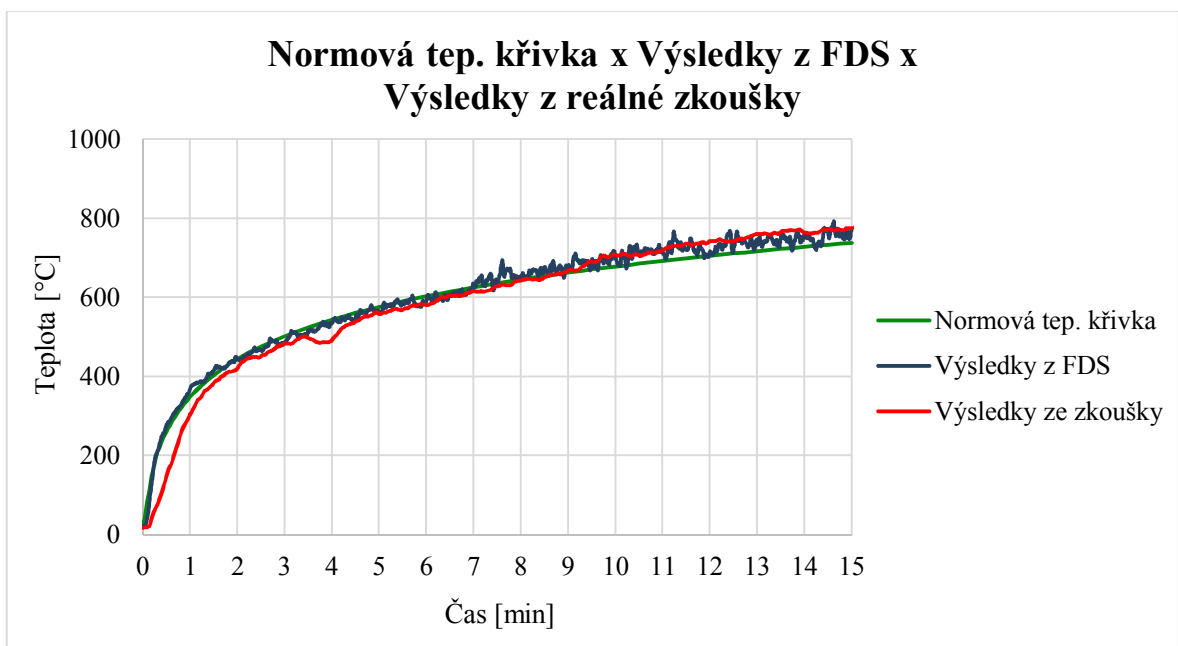
Graf 4 Graf průměrných teplot uvnitř reálné zkušební pece

Poté jsem výsledný graf průměrných teplot uvnitř reálné zkušební pece porovnal s grafem normové teplotní křivky (viz Graf 5). Jak je vidět na grafu níže, tak průběh průměrných teplot uvnitř zkušební pece skoro ideálního kopíruje průběh teplot podle normové teplotní křivky.



Graf 5 Porovnání normové teplotní křivkou s výsledky referenční zkoušky

Nakonec jsem výsledný graf průměrných teplot uvnitř reálné zkušební pece porovnal s grafem normové teplotní křivky a výsledky z FDS (viz Graf 6). Ve výsledku jsou průběhy všech grafů téměř totožné → **Návrh zkušební pece lze považovat za vyhovující.**



Graf 6 Porovnání všech výsledků referenční zkoušky s normovou teplotní křivkou

4.3 Zkouška požární odolnosti obvodové stěny Diffuwall

Jednalo se o ověřovací zkoušku požární odolnosti nosného obvodového pláště Diffuwall. Při této zkoušce jsem pomocí navržené zkušební pece opětovně ověřoval požární odolnost obvodové nosné stěny Diffuwall 2010 od firmy Insowool s.r.o.

Obvodové stěny systému Diffuwall 2010 jsou dřevěné rámové prefabrikované stavební sestavy, určené jako difúzně otevřené obvodové konstrukce. Jejich hlavní výhodou jsou velmi dobré tepelně izolační vlastnosti, paropropustnost, zvuková neprůzvučnost a především velmi dobrá požární odolnost konstrukce. [17]

V následujících kapitolách popíši rozměry, skladbu a materiálové vlastnosti zkušební vzorku, návrh zkoušky požární odolnosti obvodové stěny Diffuwall, CFD model virtuální pece se zkušebním vzorkem, návrh výkonu plynového hořáku, výpočet polohy radiometru, průběh reálné zkoušky požární odolnosti zkušební vzorku a porovnání výsledků s normovou teplotní křivkou.

4.3.1 Rozměry, skladba a materiálové vlastnosti zkušební vzorku

Návrh rozměrů zkušební vzorku obvodové stěny Diffuwall se odvíjel od rozměrů navržené zkušební pece, ale zároveň byl kladen požadavek na dodržení modulových rozměrů využívaných v praxi.

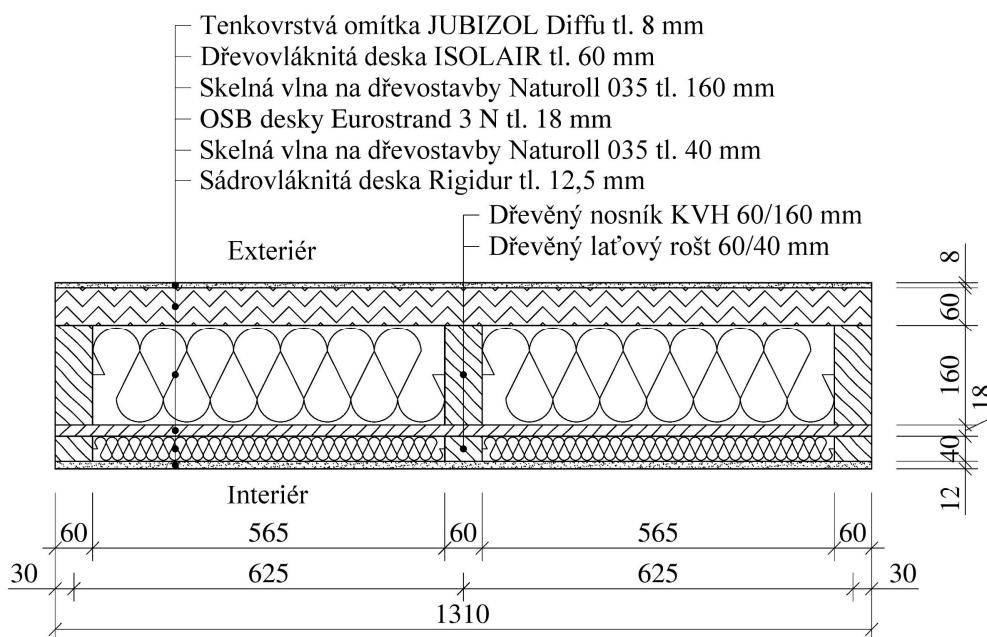
Předpokládané umístění zkušební vzorku bylo interiérovou částí k čelní straně zkušební pece, jejichž rozměry byly 1,1 x 1,125 m (š x v). Zároveň jsem uvažoval osovou vzdálenost nosných sloupků (nosníky KVH 60/160) uvnitř zkušební vzorku s požadovanou roztečí 0,625 m, která je využívána v praxi [17]. Proto jsem vzhledem k požadovaným rozměrům zvolil velikost zkušební vzorku **1,31 x 1,25 x 0,3 m** (d x v x š), kde délka vzorku **1,31 m** respektuje požadovanou osovou vzdálenost + na každé straně vzorku polovinu nosného sloupku KVH 60/160 ($2 \cdot 0,625 \text{ m} + 2 \cdot 0,03 \text{ m} = 1,31 \text{ m}$) a výška **1,25 m** dostatečně přesahuje nad stropní konstrukci zkušební pece.

Zkušební vzorek obvodové stěny systému Diffuwall 2010 se skládá z několika různých vrstev s rozdílnými materiálovými vlastnostmi. Použité stavební výrobky a jejich vlastnosti popíši v následující tabulce (tab. 3):

Stavební výrobek	Objemová hmotnost ρ [kg/m ³]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]	Měrná tepelná kapacita c [kJ/kg·K]
Sádrovláknitá deska Rigidur tl. 12,5 mm [18]	1200	0,202	1,1
Skelná vlna k zateplení stěn dřevostaveb Naturoll 035 [19]	25	0,035	0,84
OSB desky Eurostrand 3 N tl. 18 mm [20]	600	0,13	1,5
Dřevovláknitá deska ISOLAIR tl. 60 mm [21]	200	0,044	2,1
Tenkvrstvá omítka pro dřevovláknité desky JUBIZOL Diffu tl. 8 mm [22]	1800	0,7	0,85
Konstrukční řezivo (měkké dřevo) [23]	400	0,18	2,51

Tab. 3 Stavební výrobky použité na zkušební vzorek obvodové stěny Diffuwall

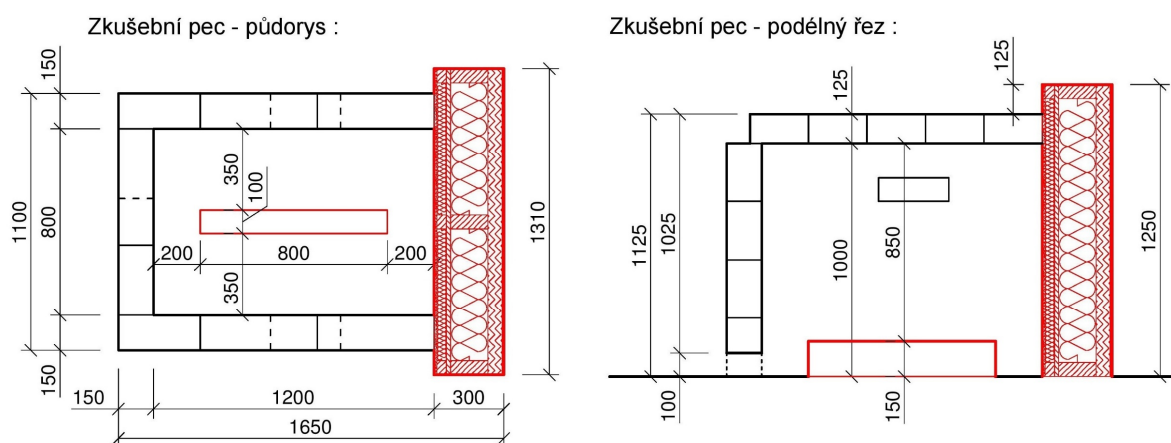
Výsledný návrh zkušební vzorku obvodové stěny Diffuwall s okótovanými tloušťkami jednotlivých vrstev a popsány stavebními materiály je vidět na obrázku níže (Obr. 18).



Obr. 18 Přodorysný řez zkušebním vzorkem obvodové stěny Diffuwall

4.3.2 Návrh zkoušky požární odolnosti obvodové stěny Diffuwall

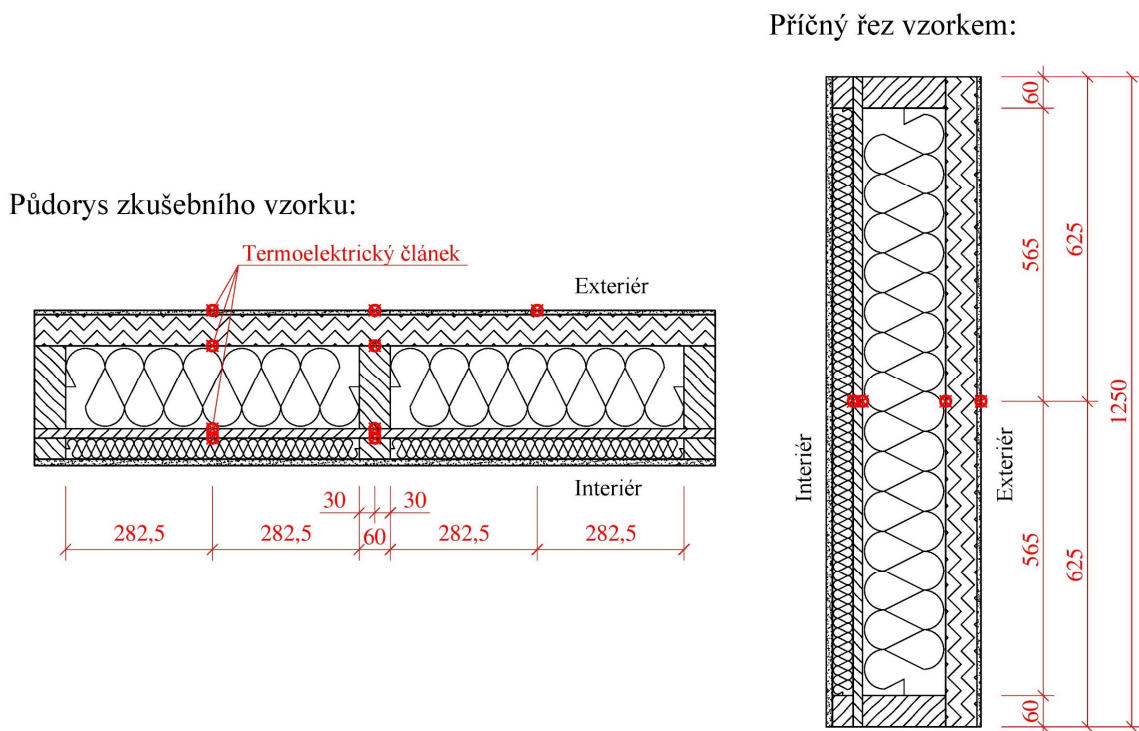
Rozvržení velikosti zkušební pece, umístění přívodních a odvodních otvorů, plynového hořáku a termoelektrických článků uvnitř pece bylo přesně podle návrhu dle kap. 4.1. Jediným rozdílem oproti základnímu návrhu bylo osazení zkušebního vzorku obvodové stěny Diffuwall tak, aby byla celá přední část pec zcela uzavřena. Výsledné rozměry zkušební pece pro ověření požární odolnosti obvodové stěny Diffuwall jsou zakresleny v půdorysu a podélném řezu zkušební pece (Obr. 19). Spára mezi pecí a zkušebním vzorkem byla utěsněna kamnářským tmelem.



Obr. 19 Rozměry zkušební pece pro zkoušku PO obvodové stěny Diffuwall

Uvnitř zkušebního vzorku byly umístěny termoelektrické články na kritických místech v jednotlivých vrstvách obvodové stěny Diffuwall. Konkrétně se jednalo o **šest termoelektrických článků** a v každé posuzované vrstvě byly umístěny dva, přičemž jeden byl umístěn v prostoru středního sloupku a druhý uprostřed pole mezi sloupky. Posuzována byla OSB deska z obou stran a poté byly umístěny termoelektrické články na dřevovláknité desce z vnitřní strany zkušebního vzorku. Výsledné rozmístění termoelektrických článků uvnitř zkušebního vzorku je zakresleno v půdorysu a příčném řezu (Obr. 20).

Dále bylo navrženo umístění termoelektrických článků na vnější stranu (do exteriéru) zkušebního vzorku. Jednalo se o **tři termoelektrické články**, které byly umístěné v 1/3, polovině a 2/3 zkušebního vzorku a výškově byly umístěny v polovině výšky vzorku. Výsledné rozmístění termoelektrických článků na vnějším povrchu zkušebního vzorku je zakresleno v půdorysu a příčném řezu (Obr. 20).



Obr. 20 Poloha termoelektrických článků ve zkušebním vzorku

4.3.3 CFD model virtuální pece se zkušebním vzorkem

Návrh CFD modelu virtuální pece se zkušebním vzorkem obvodové stěny systému Diffuwall jsem vypracovával především za účelem ověření teplot uvnitř zkušební vzorku a nárůstu teplot ve zkušební peci vlivem odhořívání hořlavých částí zkušební vzorku. Tento model jsem tvořil stejně jako u referenční zkoušky v programu FDS (Fire Dynamics Simulator) verze 6.1.2.

Jako výchozí parametry pro modelování je třeba zvolit rozměry výpočtové oblasti, čas výpočtu, definovat materiály, rozměry přírodních a odvodních otvorů, umístění termočlánků a zdroj tepla (zdrojový kód viz Příloha č. 2):

- **Výpočetní oblast** je tvořena jednou oblastí o velikosti 1500 x 800 x 1000 mm (sít' 50 x 50 x 50 mm => 30 x 16 x 20 buněk).
- **Čas výpočtu** jsem zvolil 60 minut.
- Ve výpočetním modelu se počítá s **materiály** dle kap. 4.1.1 (materiály zkušební pece) a kap. 4.3.1 (materiály zkušební vzorku).
- **Přírodní / odvodní otvory** budou umístěny podle kap. 4.2.3.

- **Velikost zkušební vzorku** (v rámci výpočetní oblasti) je uvažována o rozměrech 800 x 1000 x 300 mm (d x š x v).
- **Termoelektrické články** uvnitř zkušební pece budou umístěny podle kap. 4.1.5 a termoelektrické články uvnitř zkušební vzorku budou umístěny podle kap. 4.3.2.
- Jako **zdroj tepla** jsem uvažoval plynový hořák na propan-butan o maximálním uvažovaném výkonu **200 kW** a rozměrech (d x š x v) 800 x 100 x 150 mm. Výkon plynového hořáku je časově závislá veličina, kterou jsem nastavoval pomocí příkazu „RAMP_Q“. Tento hořák bude umístěn podle kap. 4.1.4.

4.3.4 Návrh výkonu plynového hořáku

Na základě návrhu výkonu plynového hořáku pro referenční zkoušku (viz kap. 4.2.3), jejichž doba trvání byla 15 minut, jsem stejným způsobem navrhl nárůst výkonu plynového hořáku pro zkoušku požární odolnosti obvodové stěny systému Diffuwall, která bude trvat 60 minut. Nicméně tento návrh byl vzhledem k nutnosti několikanásobného opakování výpočtu CFD modelu pro dosažení požadované přesnosti průběhu teplot uvnitř pece podle normové teplotní křivky prováděn ve virtuální zkušební peci pro referenční zkoušku (zkušební pec pouze z nehořlavých stavebních materiálů). V důsledku použití virtuální zkušební pece využívané pro referenční zkoušku, byl v návrhu výkonu plynového hořáku zanedbán nárůst teplot uvnitř zkušební pece vlivem odhořívání hořlavých výrobků (konstrukční řezivo, OSB desky, dřevovláknité desky) použitých ve zkušebním vzorku obvodové stěny Diffuwall.

Ve výsledku by bylo ideální využít CFD mode se zkušebním vzorkem pro návrh výkonu plynového hořáku využívaného při reálné zkoušce požární odolnosti. Nicméně vzhledem k požadavku dosáhnout ve zkušební peci nárůstu teplot podle normové teplotní křivky za účelem využití zkušební pece pro jinou diplomovou práci, zvolil jsem tento způsob nastavení hořáku, který lze považovat za univerzální pro ověřování požární odolnosti **nehořlavých stavebních výrobků**. V případě ověřování konstrukcí s hořlavými stavebními výrobky, lze uvažovat zkoušku za přesnou pouze do bodu vzplanutí hořlavých materiálů.

Výsledný návrh proměnného výkonu plynového hořáku jsem vypsals do zjednodušené tabulky výkonů v čase (Tab. 4). Nárůst výkonu hořáku je stanoven na dobu 60 minut zkoušky požární odolnosti obvodové stěny Diffuwall.

Čas [sekundy]	Výkon [kW]	Čas [sekundy]	Výkon [kW]	Čas [sekundy]	Výkon [kW]	Čas [sekundy]	Výkon [kW]
0	0	900	147	1800	168	2700	182
60	80	960	149	1860	169	2760	182,8
120	93,2	1020	150,66	1920	170	2820	183,6
180	105	1080	152	1980	171	2880	184,4
240	115	1140	153,32	2040	172	2940	185,2
300	121,5	1200	154,66	2100	173	3000	186
360	124,5	1260	156	2160	174	3060	186,8
420	127,5	1320	157,32	2220	175	3120	187,6
480	130,5	1380	158,66	2280	176	3180	188,4
540	133,5	1440	160	2340	177	3240	189,2
600	136,5	1500	161,32	2400	178	3300	190
660	139	1560	162,66	2460	178,8	3360	190,8
720	141	1620	164	2520	179,6	3420	191,6
780	143	1680	165,32	2580	180,4	3480	192,4
840	145	1740	166,66	2640	181,2	3540	193,2
						3600	194

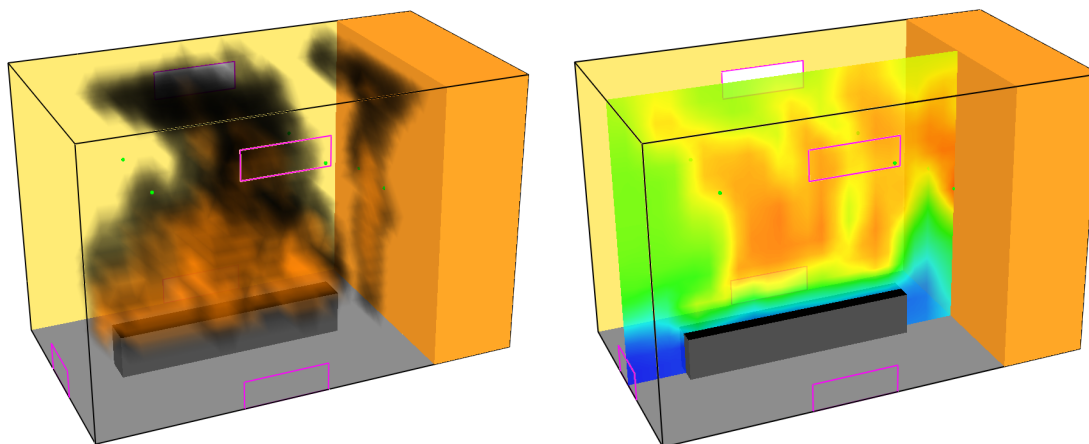
Tab. 4 Zjednodušená tabulka navrhovaných výkonů plynového hořáku na 60 minut

Nárůst výkonu hořáku po 60 sekundách v této tabulce je pouze ilustrační, protože ve skutečnosti musí být k dosažení přesného průběhu podle normové teplotní křivky mnohem častěji upravován výkon hořáku.

4.3.5 Porovnání výsledků CFD modelu zkoušky požární odolnosti

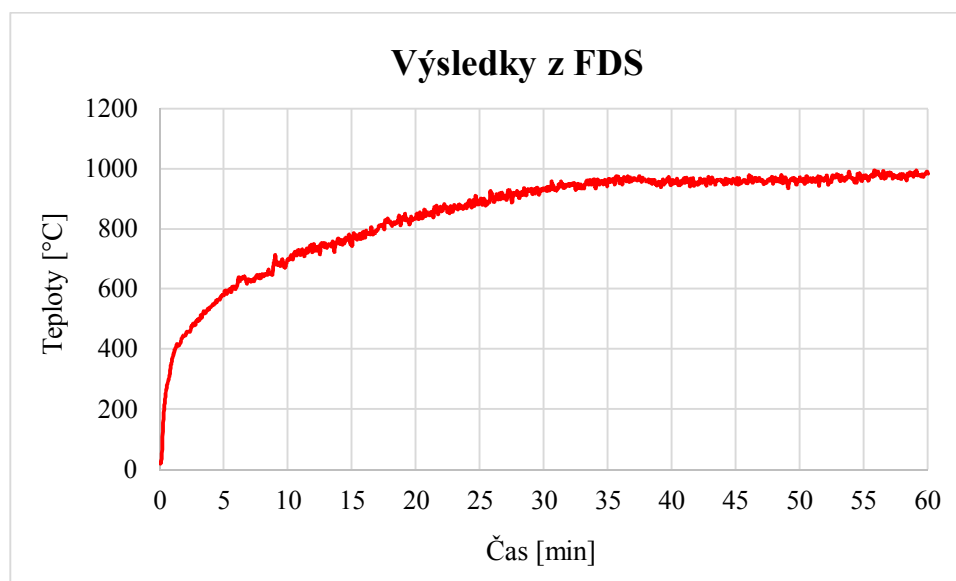
Na základě zvolených výpočtových parametrů, návrhu rozměrů a výkonu plynového hořáku jsem namodeloval virtuální zkušební pec pro zkoušku požární odolnosti obvodové stěny systému Diffuwall v programu FDS.

Na vizualizaci (viz Obr. 21) z programu Smokeview je dobře vidět odhořívání hořlavých materiálů, které jsou součástí zkušební vzorku obvodové stěny.



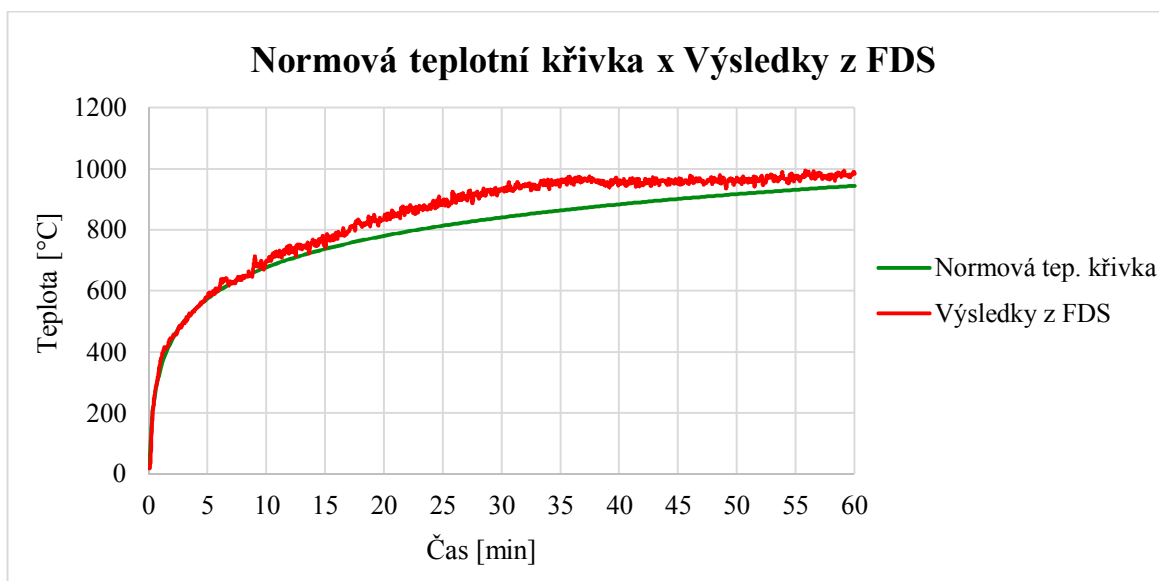
Obr. 21 Vizualizace odhořívání hořlavých materiálů ve zkušebním vzorku

Z naměřených hodnot čtyř termoelektrických článků uvnitř zkušební pece jsem vypočítal v tabulkovém editoru nárůst průměrných teplot a z těchto teplot jsem vytvořil výsledný graf průběhu teplot uvnitř zkušební pece (viz Graf 7).



Graf 7 Graf průměrných teplot uvnitř virtuální zkušební pece

Nakonec jsem výsledný graf průměrných teplot uvnitř virtuální zkušební pece porovnal s grafem normové teplotní křivky (viz Graf 8) a provedl jeho zhodnocení.



Graf 8 Porovnání výsledku z FDS s normovou teplotní křivkou

Jak je vidět na porovnávacím grafu, tak přibližně v **15. minutě** došlo k prohoření předstěny ze sádrovláknitých desek a následnému vzplanutí hořlavých hmot (dřevěného roštu a poté OSB desky) uvnitř zkušební vzorku. To vedlo k postupnému nárůstu teplot nad požadované hodnoty normové teplotní křivky až do úplného vyhoření hořlavých hmot uvnitř zkušební vzorku. Poté naopak docházelo k postupnému návratu průměrných teplot uvnitř zkušební pece do nastavené teploty pomocí výkonu plynového hořáku.

4.3.6 Výpočet polohy radiometru

Výpočet polohy radiometru vůči vnější straně (exteriéru) zkušební vzorku jsem vypracoval z důvodu ověření sálání tepelného toku ze strany nezatížené požárem, což je rozhodující při hodnocení požární posuzované konstrukce.

Aby se dala posuzovaná konstrukce hodnotit jako požárně uzavřená, tak hodnota tepelného toku na vnějším povrchu musí být menší než **15 kW/m²**. V opačném případě se jedná o konstrukci částečně požárně otevřenou a od takovéto konstrukce se musí stanovovat redukovaná odstupová vzdálenost. V případech, kdy tepelný tok na vnějším povrchu posuzované konstrukce přesáhne hranici **60 kW/m²**, tak se jedná zcela požárně otevřenou konstrukci, od které se musí stanovovat neredukované odstupové vzdálenosti. [4]

V mém případě mě především zajímala limitní hodnota tepelného toku na vnějším povrchu 15 kW/m^2 , abych mohl při reálné zkoušce požární odolnosti obvodové stěny systému Diffuwall ověřit, jestli se opravdu jedná o požárně uzavřenou konstrukci. Protože ale nelze zjišťovat sálavý tepelný tok na líci stěny (došlo by k poškození radiometru), bylo nutno tepelný tok zjišťovat z větší vzdálenosti a hodnoty toku na líci stěny pak přepočítat.

Pro výpočet vzdálenosti sálavé plochy od radiometru použijeme **polohový faktor Φ** , který definuje, jak velká část z celkového sálavého tepla vyzařujícího ze sálavého povrchu dopadá na danou přijímací plochu. Jeho hodnota je většinou závislá na velikosti sálavého povrchu, na vzdálenosti přijímacího povrchu od sálavého povrchu a na jejich vzájemné orientaci.

Plochu sálavého povrchu musím rozdělit na čtyři stejné části, pro které se určí jednotlivé dílčí polohové faktory. Výsledný polohový faktor je součtem těchto dílčích polohových faktorů:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4 \quad [24]$$

Φ polohový faktor [-] Φ_i dílčí polohový faktor [-]

Dílčí polohový faktor Φ_i je vyjádřen takto:

$$\Phi_i = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{a}{(1+a^2)^{0,5}} \tan^{-1} \left(\frac{b}{(1+a^2)^{0,5}} \right) + \frac{b}{(1+b^2)^{0,5}} \tan^{-1} \left(\frac{a}{(1+b^2)^{0,5}} \right) \right] [-]$$

$$a = \frac{h}{d} \text{ [m]} \quad b = \frac{w}{d} \text{ [m]} \quad [24]$$

Φ_i dílčí polohový faktor [-]

d odhad vzdálenosti od sálavé plochy po radiometr [m]

h polovina výška oblasti sálajícího povrchu [m]

w polovina šířka oblasti sálajícího povrchu [m]

Nakonec je potřeba určit **výslednou vzdálenost d** , při které platí $\Phi_{cr} \approx \Phi$. Kritickou hodnotu polohového faktoru Φ_{cr} je vyjádřen takto:

$$\Phi_{cr} = \frac{I_{0,cr}}{I} \quad [-] \quad [24]$$

Φ_{cr} kritická hodnota polohového faktoru [-]

$I_{0,cr}$ kritická hodnota tepelného toku [W/m²]

I hustota tepelného toku [W/m²]

Pomocí výše zmíněných vzorců v následujících bodech provedu výpočet vzdálenosti radiometru od vnějšího povrchu zkušební vzorku. Jako kritickou hodnotu tepelného toku, kterou musí naměřit radiometr, jsem stanovil **10 kW/m²**. Tuto hodnotu naměří radiometr, když bude umístěn ve vypočítané vzdálenosti **d** a zároveň dosáhne hodnota tepelného toku na vnějším povrchu zkušební vzorku **15 kW/m²**.

1) Polohový faktor

Nejprve jsem si vypočítal dílčí polohové faktory, tak že si náhodně zvolím vzdálenost **d** a dosadíme jí do rozměrů **a** , **b** . Pro představení výpočtu jsem rovnou použil výslednou hodnotu **d** , aby výpočet nebyl moc zdlouhavý. Po dosazení a vypočtení dílčích polohových faktorů dosadíme do výsledného polohového faktoru:

$$\Phi_{1,2,3,4} = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{a}{(1+a^2)^{0,5}} \tan^{-1} \left(\frac{b}{(1+a^2)^{0,5}} \right) + \frac{b}{(1+b^2)^{0,5}} \tan^{-1} \left(\frac{a}{(1+b^2)^{0,5}} \right) \right]$$

$$\begin{aligned} \Phi_{1,2,3,4} = \frac{1}{2\pi} & \left[\frac{1,429}{(1+1,429^2)^{0,5}} \tan^{-1} \left(\frac{1,143}{(1+1,429^2)^{0,5}} \right) \right. \\ & \left. + \frac{1,143}{(1+1,143^2)^{0,5}} \tan^{-1} \left(\frac{1,429}{(1+1,143^2)^{0,5}} \right) \right] = \mathbf{0,166} \quad [-] \end{aligned}$$

$$a = \frac{h}{d} = \frac{0,5}{0,35} = \mathbf{1,429 \text{ m}} \quad b = \frac{w}{d} = \frac{0,4}{0,35} = \mathbf{1,143 \text{ m}}$$

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4 = 4 \cdot 0,166 = \mathbf{0,664}$$

2) Výsledná vzdálenost d

Nakonec musím ověřit správnost odhadnuté výsledné vzdálenosti d pomocí porovnání výsledků kritické hodnoty polohového faktoru Φ_{cr} a skutečného polohového faktoru Φ :

$$\Phi_{cr} = \frac{I_{0,cr}}{I} = \frac{10}{15} = \mathbf{0,667} [-]$$

$$\Phi_{cr} \approx \Phi \rightarrow 0,667 \approx 0,664 \rightarrow \mathbf{d = 0,35 m}$$

Výsledná vzdálenost radiometru od vnějšího povrchu zkušební vzorku při reálné zkoušce požární odolnosti obvodové stěny Diffuwall mě vychází **0,35 m**. Při dosažení limitní hodnoty 15 kW/m² bude naměřená hodnota radiometrem 10 kW/m² při dodržené vypočítané vzdálenosti 0,35 m.

4.3.7 Montáž a průběh reálné zkoušky požární odolnosti

Reálná zkouška požární odolnosti obvodové stěny Diffuwall proběhla 19. 12. 2016. Při této zkoušce jsem ponechal původní zkušební pec bez změn a montážní postup této pece je již popsán v kap. 4.2.5.

Jediné úpravy před zahájením zkoušky požární odolnosti zkušební panelu obvodové stěny Diffuwall proběhly přímo na zkušebním panelu. V rámci výroby zkušební vzorku, které jsem se aktivně zúčastnil, byly umístěny dva termoelektrické články pouze do prostoru předstěny. Proto bylo nutné před zahájením samotné zkoušky požární odolnosti doplnit do vnitřního prostoru čtyři termoelektrické články a další tři články umístit na vnější stranu zkušební vzorku dle popisu umístění termoelektrických článků v kap. 4.3.2. Umístění termoelektrických článků uvnitř zkušební vzorku je dobře znatelné na fotografii „Umístění termoelektrických článků uvnitř zkušební vzorku“ (Obr. 22) a poté na fotografii „Bočního pohledu na zkušební vzorek“ (Obr. 23) je vidět vývod přívodních kabelů k termoelektrickým článkům uvnitř zkušební vzorku.

Po doplnění termoelektrických článků ve vnitřním prostoru jsem vrátil skelnou vlnu, vyjmutou kvůli připevnění termočlánků na původní místo a nakonec jsem celý zkušební vzorek uzavřel pomocí horního nosníku KVH 60/160.

Poté jsme celý zkušební vzorek přemístili před čelní stranu zkušební pece dle popisu v kap. 4.3.2 a utěsnili jsme pomocí skelné vlny netěsnosti mezi zkušebním vzorkem a pecí.



Obr. 22 Umístění termoelektrických článků uvnitř zkušební vzorku

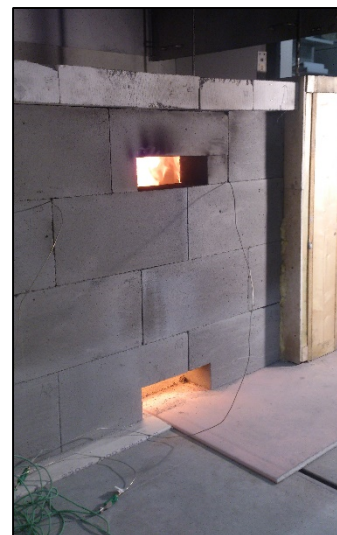


Obr. 23 Bočního pohledu na zkušební vzorek

Dále jsem umístil na vnější povrch zkušební vzorku tři termoelektrické články podle popisu v kap. 4.3.2 a do vzdálenosti 0,35 m od zkušební vzorku jsem umístil radiometr dle výpočtu v kap. 4.3.6. Umístění termoelektrických článků na vnějším povrchu zkušební vzorku a radiometru je zřetelné na fotografii „Umístění termoelektrický článků na vnějším povrchu a radiometru“ (Obr. 24).



Obr. 24 Umístění termoelektrický článků na vnějším povrchu a radiometru



Obr. 25 Reálná zkouška požární odolnosti

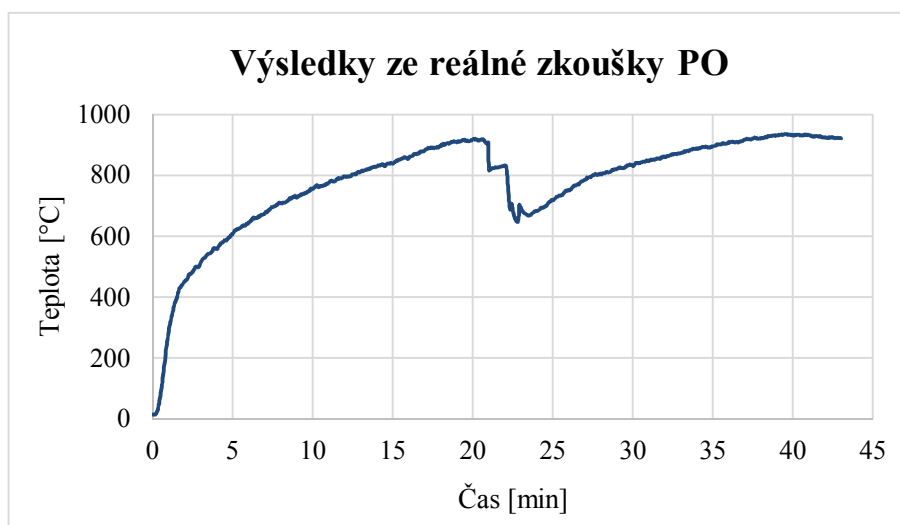
Nakonec jsem všechny termoelektrické články a radiometr zapojil do ústředny pro získávání dat a následně jsme spustily zkoušku požární odolnosti zkušební vzorku obvodové stěny systému Diffuwall podle navrhnuty parametrů. Fotografie „Reálná zkouška požární odolnosti“ (Obr. 25) je pořízena v průběhu zkoušky požární odolnosti.

4.3.8 Výsledky reálné zkoušky požární odolnosti stěny Diffuwall

V průběhu reálné zkoušky požární odolnosti obvodové stěny Diffuwall bohužel došlo k nečekaným technickým problémům, v jejichž důsledku byla ukončena zkouška požární odolnosti vždy po **22 minutách**. Tento problém byl zaviněn systémovým nastavením výpočetního zařízení, které vždy ukončilo zkoušku po 22 minutách, protože požární laboratoř FireLAB na UCEEB byla primárně určená na zkoušku „Room Corner Test“, který měl trvat 20 minut + 2 minuty sloužily jako rezerva.

O tomto systémovém nastavení jsme před zkouškou požární odolnosti nevěděli, protože v této laboratoři v minulosti neprobíhala žádná zkouška delší než 15 minut (požární laboratoř byla kolaudována v listopadu 2016). V důsledku těchto problémů došlo při zkoušce požární odolnosti obvodové stěny Diffuwall k vypnutí přívodu plynu do plynového hořáku po 22 minutách, což vedlo k postupnému ochlazování vnitřního prostoru zkušební pece. Bohužel se nám ani nepodařilo spuštění zkoušky od naposledy nastaveného výkonu ve 22 minutě, a proto jsme museli zapnout zkoušku opět od začátku. To mělo v důsledku další vliv na ochlazování vnitřního prostoru zkušební pece. Následně zkouška probíhala 22 minut a poté opět došlo k ukončení zkoušky. V důsledku technických problémů jsme se rozhodli ve zkoušce dále nepokračovat, a proto zkouška trvala pouze necelých 45 minut, místo původně plánovaných 60 minut.

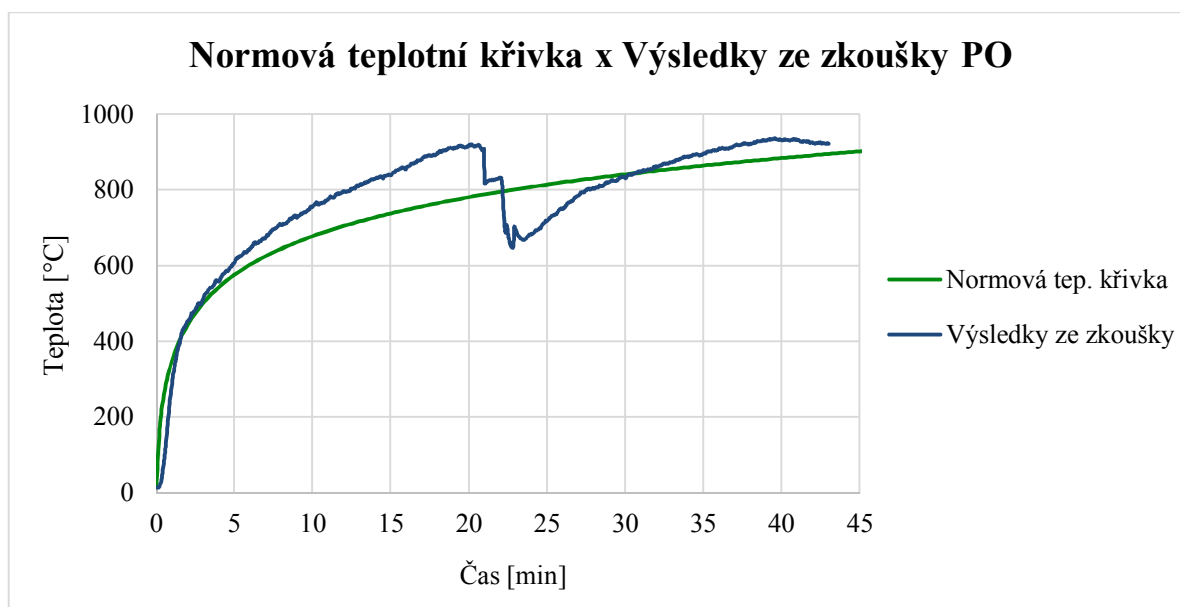
Z naměřených hodnot termoelektrickými články uvnitř zkušební pece jsem dále v tabulkovém editoru vypočítal průměrnou teplotu uvnitř pece a nakonec jsem vytvořil výsledný graf průběhu teplot uvnitř reálné zkušební pece při zkoušce požární odolnosti obvodové stěny systému Diffuwall (viz Graf 9).



Graf 9 Graf průměrných teplot uvnitř reálné zkušební pece

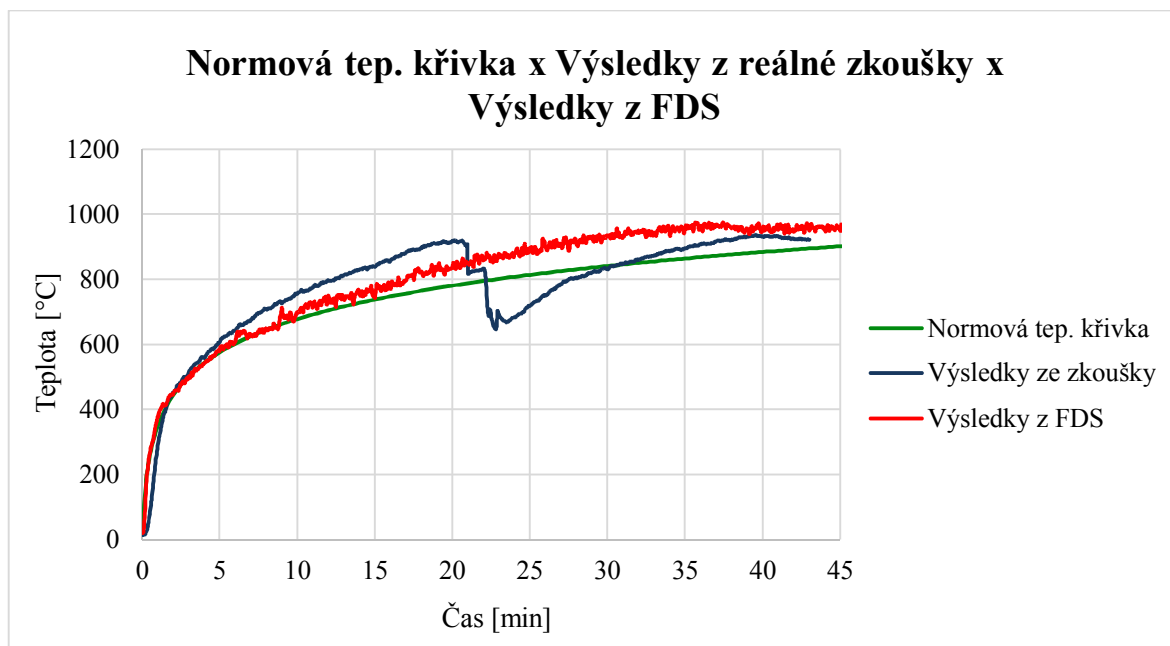
Na „Výsledném grafu průměrných teplot uvnitř reálné zkušební pece“ (Graf 8) je dobře vidět ukončení zkoušky ve **22 minutě** a následné ochlazování vnitřního prostoru pece do opětovného spuštění zkoušky, která byla opět ukončena vlivem systémového nastavení přibližně ve **44 minutě**.

Poté jsem výsledný graf průměrných teplot uvnitř reálné zkušební pece porovnal s grafem normové teplotní křivky (viz Graf 10). Na tomto grafu je dobře vidět nárůst průměrných teplot nad normovou teplotní křivku již po prvních 5 minutách, protože došlo vlivem vysokých teplot k uvolnění předstěny zkušební vzorku, což vedlo ke vzplanutí hořlavých materiálů, které přispívaly k nárůstu teplot uvnitř zkušební pece do 22 minuty, kdy došlo k ukončení zkoušky.



Graf 10 Porovnání normové teplotní křivkou s výsledky zkoušky PO

Nakonec jsem graf průměrných teplot uvnitř reálné zkušební pece porovnal s grafem normové teplotní křivky a výsledky z FDS (viz Graf 11). Na výsledném porovnávacím grafu lze vidět, že nárůst teplot uvnitř reálné zkušební pece v prvních 22 minutách byl podobný nárůstu teplot ve virtuální zkušební peci vytvořené v programu FDS. Nicméně k nárůstu teplot ve virtuální zkušební peci došlo oproti reálné zkoušce požární odolnosti později (přibližně v 15. minutě), protože u reálné zkoušky došlo k uvolnění předstěny již po 5 minutách průběhu zkoušky.



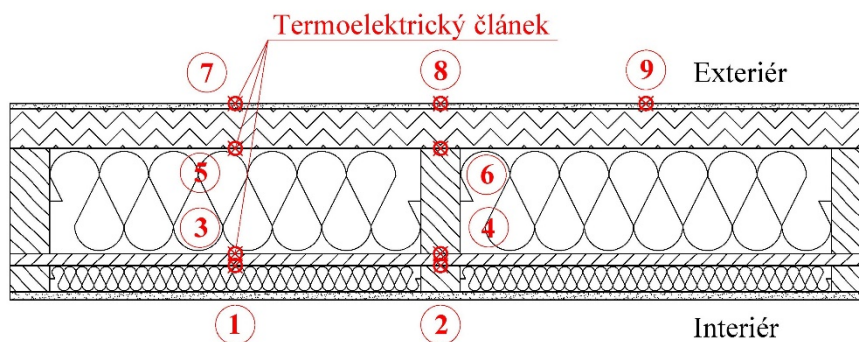
Graf 11 Porovnání všech výsledků zkoušky PO s normovou teplotní křivkou

4.3.9 Porovnání naměřených hodnot z reálného vzorku s výsledky z FDS

V této kapitole porovnám naměřené teploty z termoelektrických článků uvnitř reálného zkušební vzorku s články, které jsou umístěny uvnitř virtuálního zkušební vzorku posuzovaného v programu FDS, a poté ještě vyhodnotím naměřené hodnoty z radiometru.

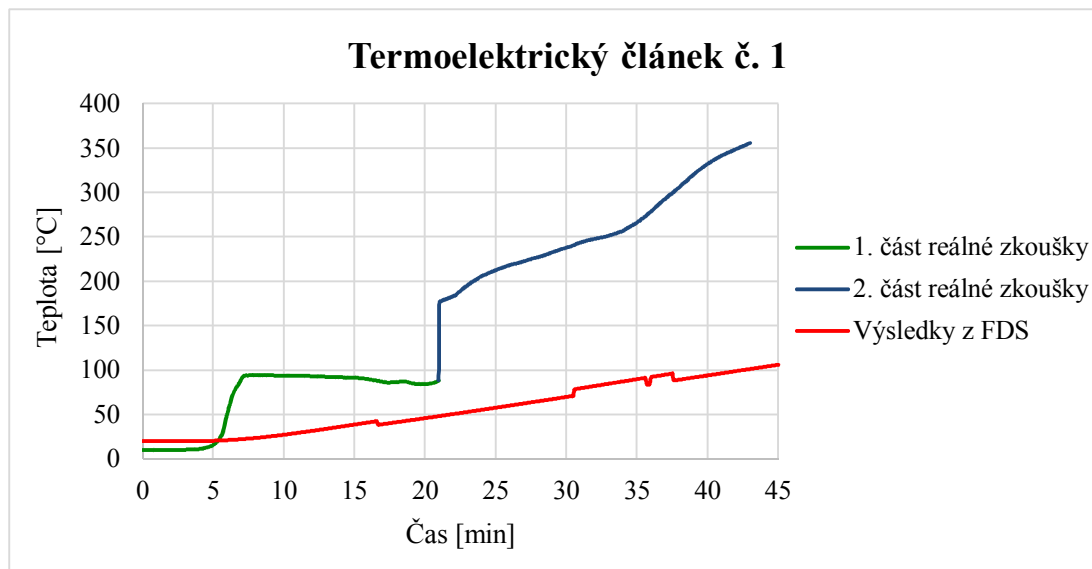
Posuzované teploty uvnitř zkušební vzorku bohužel nelze porovnat s výsledky ze zkoušky prováděné v akreditované zkušební laboratoři PAVUS, protože se nepodařilo dohledat protokol ze zkoušky. V tomto protokolu se měly nacházet průběhy teplot uvnitř zkušební vzorku v podobných místech, jako jsem zvolil polohu termoelektrických článků.

Na obrázku „Rozmístění a popis jednotlivých termoelektrických článků“ (Obr. 26) jsou zakresleny a popsány všechny termoelektrické články uvnitř zkušební vzorku.



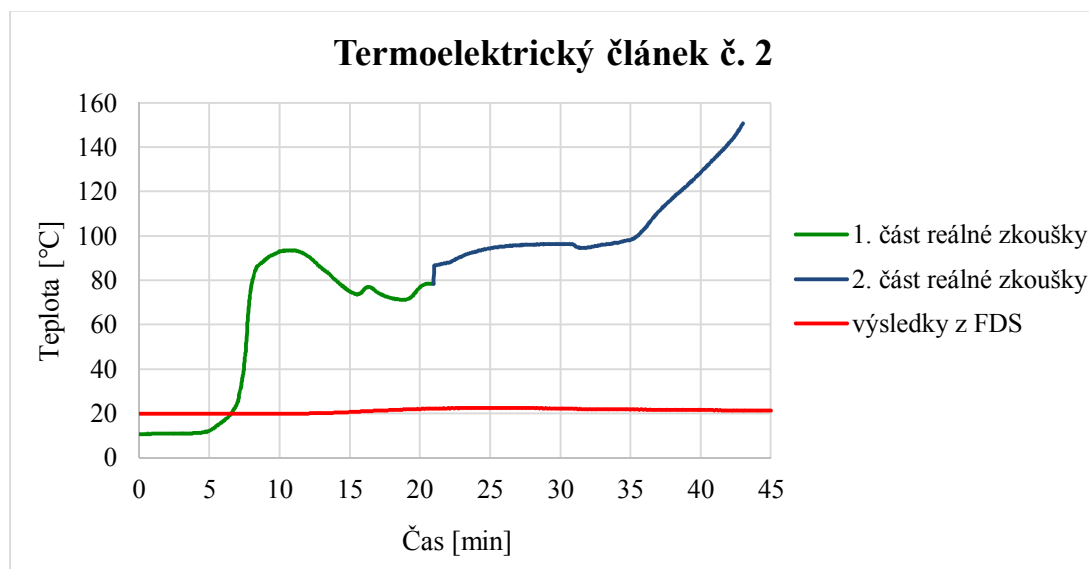
Obr. 26 Rozmístění a popis jednotlivých termoelektrických článků

- **Termoelektrický článek č. 1** je umístěn v předstěně na povrchu OSB desky ve středu pole mezi nosnými sloupky. Na grafu „Porovnání průběhu teplot v místě termoelektrického článku č. 1“ (Graf 12) je vidět, že průběh je velmi rozdílný a to především z důvodu pomalejšího prohřívání předstěny.



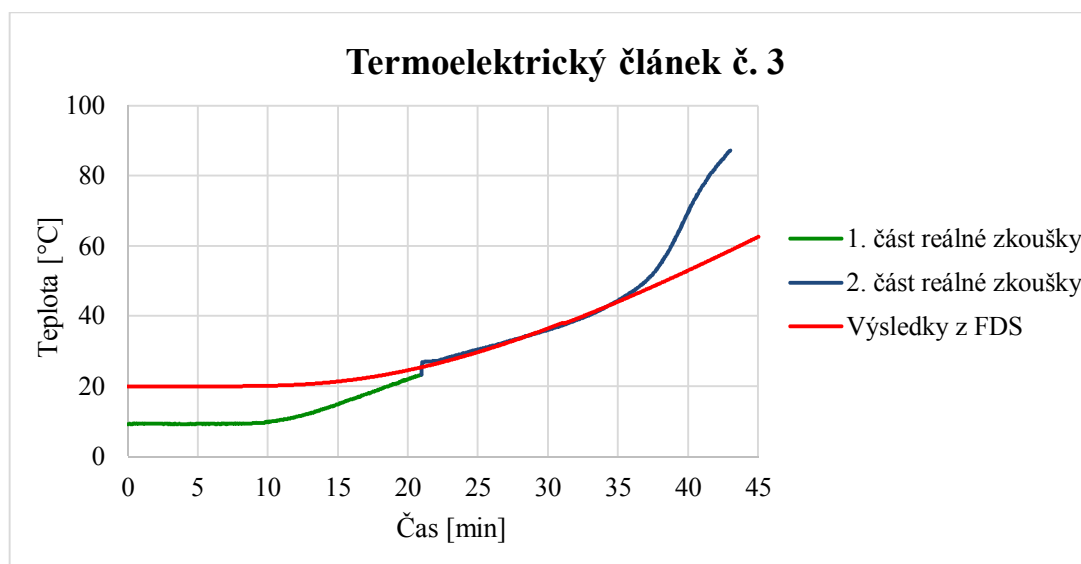
Graf 12 Porovnání průběhu teplot v místě termoelektrického článku č. 1

- **Termoelektrický článek č. 2** je umístěn v předstěně na povrchu OSB desky v místě středního sloupku. Na grafu „Porovnání průběhu teplot v místě termoelektrického článku č. 2“ (Graf 13) je vidět, že průběh je opět velmi rozdílný a to ze stejného důvodu jako u termoelektrického článku č. 1. Nicméně v tomto případě nedošlo v CFD modelu prakticky k žádnému prohřátí v místě termoelektrického článku č. 2.



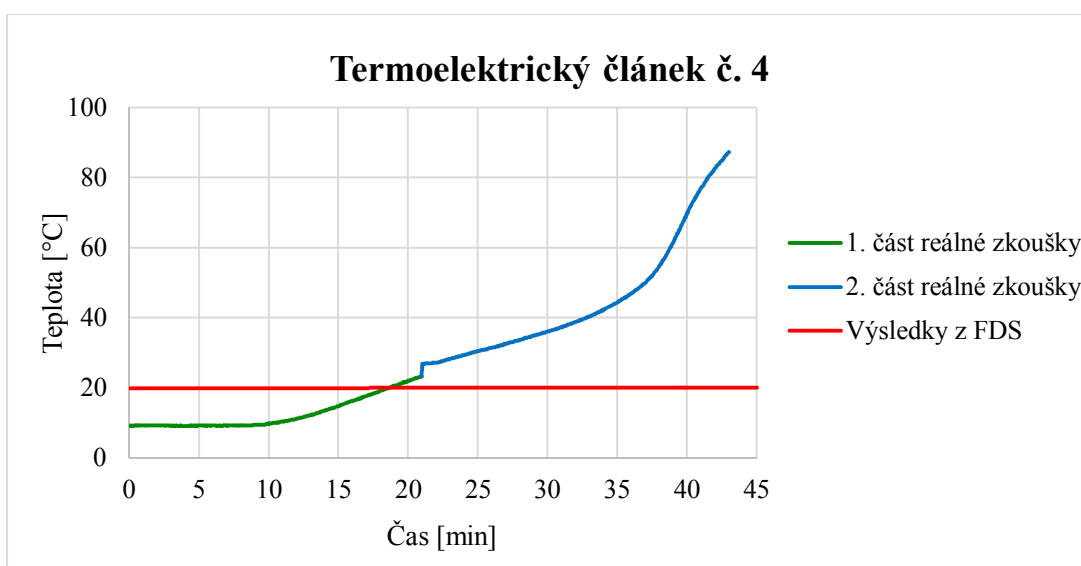
Graf 13 Porovnání průběhu teplot v místě termoelektrického článku č. 2

- **Termoelektrický článek č. 3** je umístěn uvnitř zkušební vzorku na povrchu OSB desky ve středu pole mezi nosnými sloupky. Na grafu „Porovnání průběhu teplot v místě termoelektrického článku č. 3“ (Graf 14) je vidět podobný nárůst teplot, ale v případě reálné zkoušky je znatelný nárůst po 36. minutě, kdy pravděpodobně v tomto místě začínalo prohořívání OSB desky.



Graf 14 Porovnání průběhu teplot v místě termoelektrického článku č. 3

- **Termoelektrický článek č. 4** je umístěn uvnitř zkušební vzorku na povrchu OSB desky v místě středního sloupku. Na grafu „Porovnání průběhu teplot v místě termoelektrického článku č. 4“ (Graf 15) je vidět, že průběh je opět velmi rozdílný a to ze stejného důvodu jako u termoelektrického článku č. 1. Nicméně v tomto případě nedošlo v CFD modelu k zanedbatelnému prohřátí v posuzovaném místě.



Graf 15 Porovnání průběhu teplot v místě termoelektrického článku č. 4

Nárůst naměřených teplot v místě **termoelektrického článku č. 5, 6, 7, 8 a 9** při reálné i virtuální zkoušce dosahoval minimálních hodnot v rozmezí **od 0 do 4 °C** z těchto důvodů:

- **Ve virtuální zkoušce požární odolnosti** došlo k minimálnímu nárůstu teplot v posuzovaných místech, protože v této zkoušce nelze zvoleným řešením zajistit reálné chování jednotlivých vrstev. Jako je například odpadávání konstrukcí (v mém případě odpadávání vnitřní tepelné izolace ze skelných vláken), ubývání zuhelnatělé vrstvy atd. Z těchto důvodů nelze pomocí zvoleného řešení dosáhnout celkového prohoření konstrukce.
- **V reálné zkoušce požární odolnosti** došlo k minimálnímu nárůstu teplot v posuzovaných místech, protože v průběhu zkoušky nebylo dosaženo uvnitř zkušební pece požadovaného průběhu teplot vlivem systémového nastavení, které dvakrát přerušilo zkoušku, a ze stejných důvodů byla zkrácena doba trvání reálné zkoušky pouze na 45 minut.

Z průběhu reálné zkoušky požární odolnosti obvodové stěny Diffuwall lze předpokládat, že za ideálních podmínek (dokončení zkoušky a dodržení nastavení teplot uvnitř zkušební pece) by došlo k celkovému prohoření této stěny a zároveň k naměření odpovídající hodnoty uvnitř zkušební vzorku.

Výsledky z měření **radiometru**, který byl při reálné zkoušce požární odolnosti zkušební vzorku stěny Diffuwall umístěn ve vypočtené vzdálenosti 0,35 m od vnější strany zkušební vzorku byly nulové, protože nedošlo k dostatečnému prohřátí posuzované konstrukce, aby bylo možné zaznamenat působení tepelného toku z vnější strany zkušební vzorku.

5 Závěr

Hlavním cílem diplomové práce byl podrobný návrh matematického modelu zkušební pece pro zjišťování požární odolnosti stěnových prvků v malém a středním měřítku.

V úvodní části byl popsán princip a využití požární odolnosti stavebních konstrukcí a dále zde byly vysvětleny základní pojmy, které jsou využívány v praxi.

V druhé části byly popsány metody zjišťování požární odolnosti, jejich rozdělení a popis jednotlivých zkušebních metod používaných k ověření požární odolnosti konstrukcí.

Třetí část diplomové práce byla zaměřena na řešený příklad, který popisuje podrobný návrh matematického modelu zkušební pece pro zjišťování požární odolnosti stěnových prvků v malém a středním měřítku. Tento návrh byl proveden pomocí výpočtu a CFD modelu, tak aby svými parametry co nejpřesněji odpovídal skutečné zkoušce požární odolnosti stěnových prvků v akreditované zkušební laboratoři.

V rámci tohoto návrhu byl zvolen materiál a rozměry zkušební pece, poloha přírodních/odvodních otvorů, plynového hořáku a rozmístění termoelektrických článků uvnitř zkušební pece.

Pro účely diplomové práce jsem provedl dvě zkoušky požární odolnosti. Nejprve se jednalo o **referenční zkoušku**, kdy se zkoušela samotná zkušební pec, která byla zhotovená pouze z nehořlavých stavebních materiálů a to včetně čelní strany využívané pro osazení zkušební vzorku. Provedení této zkoušky bylo závislé na co nejpřesnějším návrhu výkonu plynového hořáku. Ten jsem navrhl na základě průměrných teplot ve virtuální zkušební peci v programu FDS. Výsledkem návrhu byl funkční virtuální model zkušební pece, kde nárůst teplot uvnitř pece odpovídal normové teplotní křivce po dobu 15 minut. Následně jsem referenční zkoušku zkušební pece provedl v reálném měřítku v univerzitním centru UCEEB, konkrétně v požární laboratoři FireLAB. Po montáži a provedení reálné referenční zkoušky zkušební pece jsem provedl porovnání všech dostupných výsledků. Závěrem k referenční zkoušce lze říci, že navržená zkušební pec i výkon hořáku jsou správné a výsledky z virtuální i reálné zkušební pece jsou téměř totožné s normovou teplotní křivkou.

Dále byla v rámci diplomové práce provedena **zkouška požární odolnosti obvodové stěny Diffuwall**, kdy bylo zachováno původní rozvržení zkušební pece, pouze byl v čelní části zkušební pece osazen vzorek obvodové stěny. Pro tuto zkoušku bylo nutné provést

návrh plynového hořáku, který by zajišťoval průběh teplot uvnitř zkušební pece po dobu 60 minut. Poté bylo potřeba provést návrh zkušební vzorku obvodové stěny Diffuwall, tak aby reprezentoval využití této obvodové stěny v praxi. Následně byl opět vytvořen virtuální CFD model zkušební pece se vzorkem obvodové stěny Diffuwall. V tomto modelu již bylo uvažováno s termoelektrickými články umístěnými uvnitř zkušební vzorku a zároveň v tomto modelu bylo nastaveno odhořívání hořlavých stavebních výrobků, které jsou součástí zkušební vzorku. Výsledkem zhotovení virtuálního modelu zkušební pece byla funkční virtuální zkouška, kde docházelo k odhořívání stavebních výrobků ve zkušebním vzorku, což vedlo ke zvyšování průměrné teploty uvnitř zkušební pece nad průběh podle normové teplotní křivky. Následně jsem zkoušku požární odolnosti obvodové stěny Diffuwall opět provedl v reálném měřítku na univerzitním centru UCEEB. Po montáži a provedení reálné zkoušky požární odolnosti obvodové stěny Diffuwall jsem provedl porovnání všech dostupných výsledků. Zkouška nicméně neproběhla podle představ, protože v rámci zkoušky došlo k technickým problémům, v jejichž důsledku byla zkouška ukončena po 22 minutách. Po provedení restartu probíhala zkouška opět pouze 22 minut a poté jsme se rozhodli ukončit zkoušku úplně. Ve výsledku tedy probíhala zkouška pouze 45 minut z plánovaných 60 minut. Přerušování zkoušky se samozřejmě promítlo i do výsledků, kde došlo po 22. minutě k postupnému ochlazení vnitřního prostoru. Závěrem ke zkoušce požární odolnosti obvodové stěny Diffuwall lze říci, že vzhledem k technickým problémům, které nastaly, jsou získané výsledky uspokojivé a potvrzují funkčnost navržené zkušební pece.

Na závěr lze říci, že hlavní cíl diplomové práce navrhnutí matematického modelu zkušební pece a jeho ověření fyzikálním modelem byl splněn a je plně funkční. Zároveň i zkouška požární odolnosti obvodové stěny Diffuwall dopadla uspokojivě, ale to bylo zaviněno především technickými problémy. Současně lze říci, že obvodová stěna Diffuwall v posuzované skladně vyhovuje minimálně požadavku REI 45 a při pokračování zkoušky by bylo určitě potvrzeno, že vyhovuje i požadavku REI 60. [17]

6 Seznam příloh

- **Příloha č. 1** – Zdrojový kód z programu FDS – Referenční zkušební pec
- **Příloha č. 2** – Zdrojový kód z programu FDS – Pec se zkušebním vzorkem
- **Příloha č. 3** – Fotografie z průběhu zkoušky

Seznam obrázků

Obr. 1	Hlavní mezní stavy: a) R (nosnost), b) E (Celistvost), c) I (izolační schopnost), d) W (omezení radiace tepla)	3
Obr. 2	Mezní stav „C“ (samozavírání) a „S“ (kouřotěsnost).....	5
Obr. 3	Druhy konstrukčních částí: a) Kce DP1, b) Kce DP2, c) Kce DP3.....	7
Obr. 4	Požadovaný mezní stav, doba požární odolnosti a druh konstrukce	10
Obr. 5	Zkouška požární odolnosti zděné stěny (6).....	13
Obr. 6	Zkouška požární odolnosti protipožárního zasklení oken (8).....	15
Obr. 7	Analýza ohřívání ocel. nosníku vlivem požáru v programu ANSYS (10)	19
Obr. 8	Rozměry virtuální zkušební pece.....	23
Obr. 9	Umístění otvorů ve virtuální zkušební peci.....	23
Obr. 10	Poloha plynového hořáku ve virtuální zkušební peci	24
Obr. 11	Rozmístění termoelektrických článků uvnitř zkušební pece.....	25
Obr. 12	Výsledné rozměry zkušební pece pro referenční zkoušku.....	26
Obr. 13	CFD model zkušební pece a vektorový proudění spalin uvnitř pece	28
Obr. 14	Reálný model zkušební pece bez zakryté přední strany	30
Obr. 15	Pohled do vnitřku zkušební pece	30
Obr. 16	Průběh referenční zkoušky se zakrytou přední stranou	31
Obr. 17	Pohled na boční stranu v průběhu zkoušky	31
Obr. 18	Půdorysný řez zkušebním vzorkem obvodové stěny Diffuwall.....	34
Obr. 19	Rozměry zkušební pece pro zkoušku PO obvodové stěny Diffuwall.....	35
Obr. 20	Poloha termoelektrických článků ve zkušebním vzorku.....	36
Obr. 21	Vizualizace odhořívání hořlavých materiálů ve zkušebním vzorku.....	39
Obr. 22	Umístění termoelektrických článků uvnitř zkušebního vzorku.....	44
Obr. 23	Bočního pohledu na zkušební vzorek	44
Obr. 24	Umístění termoelektrický článků na vnějším povrchu a radiometru.....	44
Obr. 25	Reálná zkouška požární odolnosti	44
Obr. 26	Rozmístění a popis jednotlivých termoelektrických článků	47

Seznam tabulek

Tab. 1	Převod stupňů hořlavosti na třídy reakce na oheň	8
Tab. 2	Výsledný návrh výkonu plynového hořáku pro referenční zkoušku.....	28
Tab. 3	Stavební výrobky použité na zkušební vzorek obvodové stěny Diffuwall.....	34
Tab. 4	Zjednodušená tabulka navrhovaných výkonů plynového hořáku na 60 minut..	38

Seznam grafů

Graf 1	Nominální teplotní křivky	17
Graf 2	Graf průměrných teplot uvnitř virtuální zkušební pece	29
Graf 3	Porovnání výsledku z FDS s normovou teplotní křivkou	29
Graf 4	Graf průměrných teplot uvnitř reálné zkušební pece.....	31
Graf 5	Porovnání normové teplotní křivkou s výsledky referenční zkoušky.....	32
Graf 6	Porovnání všech výsledků referenční zkoušky s normovou teplotní křivkou	32
Graf 7	Graf průměrných teplot uvnitř virtuální zkušební pece	39
Graf 8	Porovnání výsledku z FDS s normovou teplotní křivkou	40
Graf 9	Graf průměrných teplot uvnitř reálné zkušební pece.....	45
Graf 10	Porovnání normové teplotní křivkou s výsledky zkoušky PO	46
Graf 11	Porovnání všech výsledků zkoušky PO s normovou teplotní křivkou	47
Graf 12	Porovnání průběhu teplot v místě termoelektrického článku č. 1	48
Graf 13	Porovnání průběhu teplot v místě termoelektrického článku č. 2	48
Graf 14	Porovnání průběhu teplot v místě termoelektrického článku č. 3	49
Graf 15	Porovnání průběhu teplot v místě termoelektrického článku č. 4	49

Literatura

1. **KUPILÍK, Václav.** *Konstrukce pozemních staveb 80 - Požární bezpečnost staveb (Přednášky)*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-03056-3.
2. **ČSN 73 0810.** *Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení*. Praha : ÚNMZ, 2016.
3. **KUPILÍK, Václav.** *Stavební konstrukce z požárního hlediska*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2006. ISBN 80-247-1329-2.
4. **ČSN 73 0802.** *Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty*. Praha : ÚNMZ, 2009.
5. **KUČERA, Petr, ČESELSKÁ, Tereza a MATEČKOVÁ, Pavlína.** *Požární odolnost stavebních konstrukcí*. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2010. ISBN 978-80-7385-094-4.
6. **HEINRICH, Pavel.** TZB-info. *Nepílené cihly současnosti*. [Online] HELUZ cihlářský průmysl, v.o.s., 21. 6. 2012. [Citace: 20. 12. 2016.] Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/cihly-bloky-tvarnice/8728-nepalene-cihly-soucasnosti>.
7. **ČSN EN 1363-1.** *Zkoušení požární odolnosti - Část 1: Základní požadavky*. Praha : ÚNMZ, 2013.
8. **ČSN EN 1364-1.** *Zkoušení požární odolnosti nenosných prvků - Část 1: Stěny*. Praha : ÚNMZ, 2000.
9. **E-herm TZ s.r.o.** *Pece pro zkoušení požární odolnosti*. [Online] 2011. [Citace: 20. 12. 2016.] Dostupné z: <http://www.ethermtz.cz/vyrobky/pece-pro-zkousky-pozarni-odolnosti/>.
10. **ČSN EN 1991-1-2 (73 0035).** *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-2: Obecná zatížení - Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*. Praha : ÚNMZ, 2004.
11. **PAVUS, a.s.** *Pavus*. [Online] 2004. [Citace: 16. 12. 2016.] Dostupné z: <http://www.pavus.cz/>.
12. **ANSYS - Blog.** *2012's Top 5 Engineering Technology News Articles*. [Online] ANSYS. [Citace: 7. 1. 2017.] Dostupné z: <http://www.ansys-blog.com/2012-engineering-technology-news/>.
13. **PORFIX CZ a.s.** *Prohlášení o vlastnostech tvárnice PORFIX P2-500*. [Online] [Citace: 20. 12. 2016.] Dostupné z: http://www.porfix.cz/media/uploads/prohlaseni_o_vlastnostech/prohlaseni_o_vlastnostech_-_popilkova_tvarnice_p2-500.pdf.
14. **Ytong CZ.** *Prohlášení o vlastnostech překladů Ytong P4,4-600*. [Online] Xella CZ, s.r.o. [Citace: 20. 12. 2016.] Dostupné z: http://www.ytong.cz/cs/docs/20000067_P4_4-600_NEP_125_1250.pdf.
15. **WALD, František, a další.** *Modelování dynamiky požáru v budovách*. Praha : ČVUT, 2015. ISBN: 978-80-01-05633-2.

16. **Univerzitní centrum energeticky efektivních budov. Požární laboratoř.** [Online] UCEB, ČVUT v Praze, 2014. [Citace: 3. 1. 2017.] Dostupné z: <http://www.uceeb.cz/pozarni-laborator>.
17. **Insowool s.r.o. Konstrukce Diffuwall 2010.** [Online] [Citace: 4. 1. 2017.] Dostupné z: <http://www.insowool.cz/cz/drevostavby/diffuwall-vice>.
18. **Rigips. Technický list - Sádrovláknitých desek Rigidur.** [Online] Saint-Globain Construction Products CZ a.s., 2014. [Citace: 4. 1. 2017.] Dostupné z: http://www.rigips.cz/files/sadrokartonove-a-sadrovlaknite-desky/TL__Sadrovlaknite_desky_Rigidur.pdf.
19. **Knauf Insulation a.s. Technický list - Skelná vlna Naturoll 035.** [Online] [Citace: 4. 1. 2017.] Dostupné z: <http://www.knaufinsulation.cz/sites/cz.knaufinsulation.net/files/technicky-list/Naturoll-FCR-035.pdf>.
20. **eStřechy.cz. OSB desky Eurostrand 3 N.** [Online] EGGGER a.s. [Citace: 4. 1. 2017.] Dostupné z: <http://www.estrechy.cz/detail/1511-OSB-desky-Eurostrand-3-N/13573-tl-18-mm-2500-x-1250-mm>.
21. **Pavatex. Technický list - Dřevovláknité desky ISOLAIR.** [Online] [Citace: 4. 1. 2017.] Dostupné z: http://www.pavatex-shop.cz/wp-content/uploads/2013/02/1429127216_tl-isolair-cz.pdf.
22. **JUB a.s. Tenkovrstvá omítka pro dřevovláknité desky JUBIZOL Diffu.** [Online] [Citace: 4. 1. 2017.] Dostupné z: <http://www.jub.cz/fasadni-systemy-energeticka-reseni/fasadni-systemy-jubizol/jubizol-diffu>.
23. **TZB-info.cz. Katalog stavebních materiálů.** [Online] [Citace: 4. 1. 2017.] Dostupné z: http://www.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000068_katalog.html.
24. **KUČERA P., a další. Požární inženýrství dynamiky požáru. 1.vyd.** Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2009. ISBN: 978-80-7385-074-6.