

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV PROCESNÍ A ZPRACOVATELSKÉ
TECHNIKY



DIPLOMOVÁ PRÁCE

2021

Tepelná analýza požárního uzávěru

Bc. Jiří Svoboda

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Svoboda** Jméno: **Jiří** Osobní číslo: **466630**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav procesní a zpracovatelské techniky**
Studijní program: **Energetika a procesní inženýrství**
Specializace: **Procesní inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Tepelná analýza požárního uzávěru

Název diplomové práce anglicky:

Thermal analysis of fire barrier

Pokyny pro vypracování:

- Popište základní typy požárních uzávěrů a jejich funkci.
 - Popište konstrukční řešení horizontálního požárního uzávěru.
 - Shrňte možné přístupy k modelování přenosu tepla.
 - Proveďte analýzu a simulaci přenosu tepla v programu ANSYS Fluent pro zvolený typ požárního uzávěru, porovnejte výsledky s dostupnými experimentálními daty a vyhodnotte tepelné vlastnosti uzávěru.
- Konzultant: Ing. Tomáš Zimmer, AVAPS s.r.o.

Seznam doporučené literatury:

Dle pokynů vedoucího práce.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Karel Petera, Ph.D., ústav procesní a zpracovatelské techniky FS

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

Datum zadání diplomové práce: **21.04.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **06.08.2021**

Platnost zadání diplomové práce: **19.09.2021**

doc. Ing. Karel Petera, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Praze dne

.....
Jméno a Příjmení

Poděkování

Moc děkuji doc. Ing. Karlovi Peterovi, Ph.D., za cenné rady, které mi poskytl k tvorbě této práce. Děkuji mu za ochotu, čas a profesionální přístup, který ke mně měl. Velké díky patří firmě AVAPS s.r.o. v čele s Ing. Tomášem Zimmerem, který mi dodával spoustu rad především při tvorbě prototypu uzávěru, a zároveň mi pomáhal tento projekt vnímat z jiného (stavařského) úhlu pohledu. Dále bych chtěl poděkovat Bc. Adolfovi Valáškoví, který mi poskytl díly do prototypu. Chtěl bych poděkovat lidem, kteří během tvorby této práce a obecně během studia stáli po mém boku. Zmínil bych rád mojí sestru a celou rodinu, mé přátele a mého kamaráda Svartu, jehož skok byl pro mě vždycky inspirující.

Anotační list

Jméno autora:	Bc. Jiří Svoboda
Název práce česky:	Tepelná analýza požárního uzávěru
Název práce anglicky:	Thermal analysis of fire barrier
Rozsah práce:	86 stran
	počet obrázků: 58
	počet tabulek: 4
Akademický rok:	2020/2021
Jazyk práce:	Český jazyk
Ústav:	Ústav procesní a zpracovatelské techniky
Studijní program:	Energetika a procesní inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Karel Petera, Ph. D.
Konzultant práce:	Ing. Tomáš Zimmer

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem požárního uzávěru v širším spektru. Práce obsahuje rozbor problematiky požárních uzávěrů a jejich členění. Dále je práce zaměřena na návrh modelu prototypu konkrétního typu požárního uzávěru s představením jednotlivých prvků uzávěru. Nejdůležitější prvek tohoto uzávěru, kterým je speciální požární textilie, je využit pro zkoušku požární odolnosti, kde jsou získaná data z této zkoušky aplikována do výpočtů přenosu tepla. Práce obsahuje CFD simulace s využitím programu ANSYS Fluent, kde jsou výsledky ze simulací porovnávány s výpočty a experimentálními daty ze zkoušky požární odolnosti. Jednotlivé výsledky jsou rozebrány a komentovány.

Klíčová Slova

Požární uzávěr, požární odolnost, ANSYS Fluent, korelace Nusseltova čísla, přenos tepla, radiace

Abstract

This thesis deals with the technical design of the fire curtain in a broader conception. The thesis contains an analysis of this issue and their division. This thesis focuses on the design of a prototype of a specific type of fire curtain with the introduction of individual elements of the seal. The most important element of this fire curtain, which is the special fire textile, is used for the fire resistance test, where the data obtained from this test are applied to the heat transfer calculations. The thesis includes CFD simulations using the ANSYS Fluent program, where results from the simulations are compared with calculations and experimental data from the test. Individual results are discussed and commented on.

Keywords

Fire curtain, fire resistance, ANSYS Fluent, Nusselt correlation, heat transfer, radiation

Seznam použitých veličin a jejich jednotky

a	Součinitel teplotní vodivosti	$[\text{m}^2 \text{s}^{-1}]$
α	Součinitel přestupu tepla	$[\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}]$
α_{in}	Součinitel přestupu tepla vnitřní exponované stěny textilie	$[\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}]$
α_{out}	Součinitel přestupu tepla vnější neexponované stěny textilie	$[\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}]$
$\bar{\alpha}$	Součinitel přestupu tepla Nusseltovy korelace	$[\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}]$
$\bar{\alpha}_S$	Střední hodnota součinitele přestupu tepla	$[\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}]$
α^{mod}	Modifikovaný součinitel přestupu tepla	$[\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}]$
b_1	Konstanta 1	$[^\circ\text{C}, \text{K}]$
b_2	Konstanta 2	$[\text{s}^{-1}]$
β	Součinitel teplotní objemové roztažnosti	$[\text{K}^{-1}]$
c_p	Měrná tepelná kapacita	$[\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}]$
δ	Tloušťka testované textilie	$[\text{mm}]$
ε	Emisivita	$[-]$
ε_{Al}	Emisivita hliníku	$[-]$
ε_{in}	Emisivita exponovaného povrchu textilie	$[-]$
ε_{fire}	Emisivita požáru	$[-]$
ε_{out}	Emisivita neexponovaného povrchu textilie	$[-]$
Φ	Polohový faktor	$[-]$
g	Tíhové zrychlení	$[\text{m s}^{-2}]$
Gr	Grashofovo číslo	$[-]$
H	Výška požární textilie	$[\text{m}]$
\bar{H}	Výpočetní výška požární textilie	$[\text{m}]$
I	Intenzita záření	$[\text{W m}^{-2}]$
L_{ch}	Charakteristický rozměr pro výpočet bezrozměrných čísel	$[\text{m}]$
λ	Součinitel tepelné vodivosti	$[\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}]$
Nu	Nusseltovo číslo	$[-]$
\bar{Nu}	Zprůměrovaná hodnota Nusseltova čísla	$[-]$
ν	Kinematická viskozita	$[\text{m}^2 \text{s}^{-1}]$
η	Dynamická viskozita	$[\text{Pa s}]$
Pr	Prandtlovo číslo	$[-]$

q	Tepelný tok na plochu	[W m ⁻²]
q_{in}	Velikost tepelného toku v peci	[W m ⁻²]
q_{out}	Velikost tepelného toku z textilie do okolí	[W m ⁻²]
$q_{konv,in}$	Velikost konvektivního tepelného toku exponované strany	[W m ⁻²]
$q_{konv,out}$	Velikost konvektivního tepelného toku neexponované strany textilie	[W m ⁻²]
$q_{rad,in}$	Velikost radiačního tepelného toku v peci	[W m ⁻²]
$q_{rad,out}$	Velikost vyzářeného tepelného toku z textilie	[W m ⁻²]
$q_{rad,out}^{m\check{e}řené}$	Velikost naměřené hodnoty vyzářeného toku textilie	[W m ⁻²]
Q	Teplo	[J]
\dot{Q}	Tepelný tok	[W]
Q^{konv}	Konvektivní teplo	[J]
R	Vzdálenost radiometru od požární textilie	[m]
Ra	Rayleighovo číslo	[-]
ρ	Hustota	[kg m ⁻³]
S	Plocha	[m ²]
σ	Stefanova-Boltzmannova konstanta	[W m ⁻² K ⁻⁴]
T	Teplota	[K]
T_c	Teplota dle definice normované teplotní křivky	[°C]
T_f	Teplota obecné tekutiny	[K]
$T_{f,in}$	Teplota vzduchu v peci	[K]
$T_{f,out}$	Teplota okolního vzduchu	[K]
T_0	Naměřená teplota okolí (počáteční teplota v peci)	[°C, K]
T_p	Průměrná výpočetní teplota	[K]
T_w	Teplota stěny obecné pevné látky	[K]
$T_{wall,in}$	Teplota exponované strany textilie	[K]
$T_{wall,out}$	Teplota neexponované strany textilie	[K]
τ	Čas	[s, min]
τ_1	První časový záznam	[s]
τ_n	Poslední časový záznam	[s]
W	Šířka požární textilie	[m]
\bar{W}	Výpočetní šířka požární textilie	[m]

Obsah

1	Úvod.....	10
1.1	Cíle práce	11
2	Požární uzávěry.....	11
3	Požární odolnost a definice mezních stavů.....	12
3.1	R – Nosnost	12
3.2	E – Celistvost	13
3.3	I – Izolace	13
3.4	W – Radiace	13
3.5	C – Samozavírání	13
3.6	S – Kouřotěsnost	13
4	Požární uzávěry typu EW a EI.....	14
5	Roletové požární uzávěry	15
6	Druhy roletových požárních uzávěrů.....	16
6.1	Rozdělení dle polohy chráněného otvoru.....	17
6.1.1	Svislý typ roletového uzávěru.....	17
6.1.2	Horizontální typ roletového uzávěru	17
6.2	Rozdělení dle způsobu kotvení konstrukce.....	18
6.2.1	Kotvení do otvoru	18
6.2.2	Kotvení na otvor	19
6.3	Rozdělení dle materiálu rolety uzávěru	19
6.3.1	Ocelové roletové požární uzávěry	19
6.3.2	Plastové roletové požární uzávěry	20
6.3.3	Textilní roletové požární uzávěry	21
7	Požární zkoušky.....	22
7.1	Třídy reakce na oheň	22
7.1.1	<i>I</i> – Zkouška nehořlavosti dle ČSN EN ISO 1182	23
7.1.2	<i>II</i> – Stanovení spalného tepla dle ČSN EN ISO 1716	23
7.1.3	<i>III</i> – Zkouška jednotlivým hořícím plamenem dle ČSN EN 13823+A1 ..	23
7.1.4	<i>IV</i> – Zkouška zápalnosti ČSN EN ISO 11925-2.....	24
7.2	Klasifikace dle vývinu kouře	24
7.3	Zkouška požární odolnosti	24
7.3.1	Kritérium celistvosti E	27

7.3.2	Kritérium izolace I	28
7.3.3	Kritérium radiace W	28
7.3.4	Protokol o zkoušce.....	28
7.3.5	Přímé využití výsledků zkoušky na požární odolnost	29
7.3.6	Rozšířené využití výsledků zkoušky na požární odolnost.....	29
8	Popis roletového požárního uzávěru typu EW a jeho současné možnosti na českém trhu.....	30
9	Teorie přenosu tepla pro výpočty požárních uzávěrů.....	33
9.1	Tepelný tok a hustota tepelného toku.....	33
9.2	Způsoby sdílení tepla	33
9.2.1	Vedení tepla (kondukce).....	33
9.2.2	Proudění tepla (konvekce)	34
9.2.3	Sálání tepla (radiace)	35
9.3	Vztahy používané pro výpočet textilních požárních uzávěrů	36
10	Modelování a realizace prototypu horizontálního požárního uzávěru EW 120 (FIBREroll–H).....	39
11	Požární zkouška textilie pro uzávěry EW 120.....	48
12	Korelace Nusseltova čísla přirozené konvekce pro výpočet součinitele přestupu tepla na vnější straně textilie.....	53
12.1	Definice korelace Nusseltova čísla přirozené konvekce pro svislou stěnu ..	53
12.2	Výpočet součinitele přestupu tepla pomocí korelace Nusseltova čísla pro svislou stěnu na vnější straně textilie EW 120.....	55
13	Popis měření emisivity a součinitele tepelné vodivosti textilie pro požární uzávěr EW 120.....	59
14	Modelování s využitím CFD v programu ANSYS.....	60
14.1	Modelování v programu Design Modeler	61
14.2	Tvorba sítě (Meshing)	62
14.3	Nastavení parametrů v aplikaci Fluent.....	62
14.4	Simulace bez uvažování složky radiace	65
14.5	Simulace s uvažováním složky radiace	68
15	Závěr.....	74
16	Seznam obrázků.....	78
17	Seznam tabulek.....	81
18	Seznam příloh	82
15	Reference	83

1 Úvod

Požár v budově nebo nějakém objektu je jednou z možných hrozeb, na kterou stavební inženýr musí brát při svém návrhu ohled. Proto jsou vyvíjena různá zařízení, která mají schopnost zamezit či úplně izolovat požár v místě výskytu. Pro vyvarování se této hrozby se do otvorů instalují požární uzávěry. Vývoj těchto uzávěrů jde stále dopředu a na trhu se objevují nová a nová řešení těchto konstrukcí. Na trhu se objevují uzávěry, které dosahují čím dál vyšší požárních odolností a zároveň se přichází na různá vylepšení z hlediska montáže.

Tato práce je převážně zaměřena na konkrétní skupinu požárních uzávěrů, která je trhu velice rozšířená. Jedná se o textilní roletové požární uzávěry. Tuto textilií obvykle tvoří několik vrstev z různých materiálů. Aby tyto textilní uzávěry mohly být uvedeny na trh, musí mj. projít certifikovanou zkouškou požární odolnosti, která imituje průběh skutečného požáru. Textilie, která tvoří výplň chráněného otvoru a svými vlastnosti zamezuje šíření požáru, podstupuje extrémnímu zatížení vlivem tepla. Během těchto požárních zkoušek se zkoumá přenos tepla skrz textilií, kde dochází k přenosu tepla převážně vlivem konvekce a radiace.

1.1 Cíle práce

1. Seznámit čtenáře s problematikou požárních uzávěrů a jejich všeobecným členěním.
2. Představit způsoby testování požárních uzávěrů.
3. Navrhnout model konstrukce prototypu horizontálního typu textilního uzávěru s využitím programu pro 3-D modelování (CAD).
4. Popsat průběh zkoušky požární odolnosti konkrétní textilie a vyhodnotit výstupy potřebné pro další výpočty.
5. Aplikovat definované vztahy přenosu tepla pro výpočet tepelných vlastností testované textilie s využitím programu Octave (open source alternativa programu MATLAB).
6. CFD simulace s využitím programu ANSYS Fluent zjednodušeného 2-D modelu přenosu tepla textilií do okolí.
7. Porovnat výsledky z výpočtů a simulací a okomentovat. Srovnat výsledky s publikovanými hodnotami pro výpočet.

2 Požární uzávěry

Při návrhu stavby budov se musí uvažovat hrozba možného vypuknutí požáru. Primární myšlenkou v případném vznícení požáru je okamžitá izolace postiženého místa a zabránění šíření požáru. K tomu slouží i kromě jiných zařízení právě požární uzávěry. Jedná se o zařízení, které je schopno izolovat po určitý čas v daném místě požár a tím zabránit jeho šíření do ostatních místností nebo části budov, kterým se říká požární úseky. Požární uzávěry jsou tedy nedílnou součástí protipožárního vybavení budovy, společně s odvody tepla a kouře, značenými únikovými cestami a hasicími přístroji atp. Izolování vzniklého požáru v jednom místě se docílí zdržení průběhu požáru, a tedy prodloužení doby při případné evakuaci, a také hrozbě na materiálových škodách v případě rozšíření do jiných úseků.

Zavedení protipožárních uzávěrů dává smysl, pokud jsou jednotlivé stavební konstrukce oddělující požární úseky ve vodorovném i svislém směru navrženy tak, že jsou schopny izolovat požár. Právě tehdy má smysl do jednotlivých otvorů a výklenků mezi úseky, nainstalovat uzávěr. Může se jednat o roletový systém, dveře s požární odolností nebo také nadsvětlíky či různé poklopy s požární odolností.

Při návrhu systému je nutné dbát na několik faktorů. Zásadním faktorem je, že uzávěr musí splňovat požadovanou požární odolnost (tento pojem bude vysvětlen dále), což ovlivní především konstrukční návrh s vhodnou volbou materiálu. Uzávěr musí být po celou dobu k dispozici, zároveň se však musí navrhnout takový systém, který nebude příliš výstřední a splyne s okolím. Proto se volí vhodný způsob oplechování s barvou odpovídající okolí. Pokud se například navrhuje požární dveře, s tím, že jsou v celé budově dveře jednotného vzhledu, měl by být jejich návrh stejný, jako u dveří bez požární odolnosti, které se v budově rovněž vyskytují. Řídící jednotky systému, musí být vždy dostupné z důvodu pravidelných revizí. Při oplechování a návrhu celé konstrukce se musí také uvažovat kompaktnost a snadný přístup do systému v případě nějakého poškození uzávěru a následné výměny součástky. Uzávěr by měl být navržen co nejuniverzálněji, tak aby se co nejvíce jeho součástí dalo využívat i pro uzávěry navržené na jiné otvory s jinými rozměry. Podstatným faktorem je i ekonomická stránka. Uzávěr se navrhuje tak, aby byly splněny všechny požadované faktory s co nejnižšími výrobními náklady a pokud možno s nižšími než u konkurence.

3 Požární odolnost a definice mezních stavů

Základním parametrem každého požárního uzávěru jakéhokoliv druhu je tzv. požární odolnost. Jedná se o dobu, po kterou je systém schopen odolávat účinkům požáru, tak aby byla zachována jeho funkce (mezní stav). Těchto funkcí (mezních stavů), kterými je uzávěr schopný po daný čas odolávat účinkům požáru, je několik druhů. Jsou definovány dle normy ČSN EN 13501-2 [1].

3.1 R – Nosnost

Schopnost konstrukce odolávat po určitou dobu působení požáru na jeden nebo více povrchů při specifikovaném mechanickém zatížení, bez jakékoli ztráty konstrukční stability. [1]

3.2 E – Celistvost

Schopnost prvku s dělicí funkcí odolávat šíření požáru pouze z jedné strany, bez přenosu požáru na neexponovanou stranu v důsledku průniku plamenů nebo horkých plynů. Mohou způsobit vznícení neexponovaného povrchu, nebo jakéhokoliv materiálu ležícího v jeho blízkosti. [1]

3.3 I – Izolace

Schopnost konstrukčního prvku odolávat působení požáru pouze z jedné strany, bez přenosu požáru v důsledku významného přestupu tepla z exponované strany na neexponovanou stranu. Přestup má být omezen tak, aby se nevznítala ani neexponovaná strana, ani materiál v její blízkosti, Prvek má rovněž vytvářet tepelnou bariéru, schopnou bránit osoby v její blízkosti. Teplota na neexponované straně povrchu nesmí překročit danou mez. [1]

3.4 W – Radiace

Schopnost konstrukčního prvku odolávat požáru pouze z jedné strany tak, aby se snížila pravděpodobnost přenosu požáru následkem prostupu významného sálavého tepla jak prvkem, tak i z neexponovaného povrchu prvku na sousední materiály. Prvek má také chránit osoby v jeho blízkosti. Tepelný tok nesmí v dané vzdálenosti od neexponovaného povrchu překročit danou mez. [1]

3.5 C – Samozavírání

Schopnost otevřených dveří nebo oken se úplně uzavřít do jejich rámců a aktivovat zavírací zařízení, které může být jejich výbavou. Uplatňuje se u požárních uzávěrů, které musí být v případě požáru zavřené. [1]

3.6 S – Kouřotěsnost

Schopnost prvku snížit nebo vyloučit pronikání plynů nebo kouře z jedné strany prvku na druhou. [1]

4 Požární uzávěry typu EW a EI

Dle těchto funkcí, kterým se rovněž také říká mezní stavy, lze uzávěry rozdělit do dvou skupin, které zahrnují kombinaci těchto definovaných vlastností. Jedná se o skupiny EW a EI. Skupina EW zamezuje porušení celistvosti (E) systému a omezuje průchod radiace (W). Skupina EI zamezuje porušení celistvosti (E) systému a má izolační schopnosti (I). Uzávěry spadající do třídy EI, jsou technicky složitější, je kladen větší důraz na konstrukční řešení a tím se zvyšuje cena oproti uzávěrům typu EW. Většina uzávěrů je po celou dobu v režimu otevření, tudíž je nutné, aby se v případě požáru sami zavřely. Proto musí být vybaveny samozavíracím systémem, který je značen symbolem – C. Pokud je konstrukce schopna zamezit nebo alespoň snížit pronikání plynů nebo kouře do dalšího požárního úseku, je uzávěr označen symbolem – S. Například uzávěr typu EW – SC, je schopný omezit šíření požáru, tím že je schopen udržet svou celistvost, je schopen omezit sálavý tok, zamezuje šíření kouře a plynů a je vybaven samozavíracím systémem. Samozavírací systémy reagují na senzory kouře nebo senzory teploty v požárním úseku, pro který je uzávěr instalován. Mezní stav nosnosti (R) se standardně neuvádí v označení, jelikož se uvažuje, že pokud uzávěr splňuje podmínky celistvosti (E), musí tedy splnit i podmínky nosnosti (R). [2]

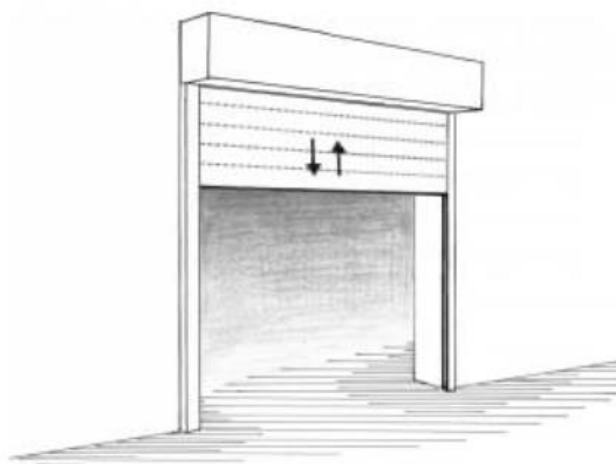
Uzávěry EW a EI mají své stanovené hodnoty požární odolnosti. Jak bylo již naznačeno výše, požární odolnost je doba, během které musí uzávěr s danými funkcemi (mezními stavy) odolávat účinkům požáru. Hodnota doby závisí na tzv. požárním stupni bezpečnosti, který udává, jak moc je rizikový účinek požáru v blízkosti uzávěru. Pokud uzávěr odděluje nějaký důležitý rizikový úsek (sklady hořlavých materiálů, archivy atp.),

je požární stupeň bezpečnosti vyšší a tím musí být vyšší i požární odolnost. Pokud uzávěr odděluje například nějaký koridor mezi dvěma úseky a v blízkosti uzávěru se nevyskytuje nějaké zařízení nebo konstrukce, která by hrála roli v šíření požáru v objektu, požární stupeň bezpečnosti je nižší a rovněž i požární odolnost. Běžnými hodnotami požární odolnosti uzávěrů nejen pro EW a EI obvykle bývají hodnoty 15, 30, 45, 60, 90, 120 a 180 minut. Do požárních úseků, které přiléhají nebo jsou součástí důležitých bodů (například únikových cest nebo prostor s vysokým požárním rizikem), se instalují převážně uzávěry typu EI s odpovídající požární odolností dle stupně bezpečnosti. V opačných případech postačí uzávěry EW. Pokud je tedy pro otvor spojující dva požární úseky navržen uzávěr typu EW, který má schopnost omezovat šíření požáru 120 minut, je označen jako EW 120. [2, 3]

5 Roletové požární uzávěry

Roletový požární uzávěr se zpravidla zavádí v případě, když nelze z různých provozních důvodů umístit klasické požární dveře. Roletový typ uzávěru se upřednostňuje u větších otvorů, oddělující požární úseky, které se častěji vyskytují v rozsáhlejších objektech, jako jsou například výrobní haly, obchodní centra, kulturní budovy, školy, letiště atp.

Typů těchto roletových uzávěrů je hned několik a dají se rozdělit do několika skupin. Základní prvky těchto systémů, jsou však stejné. Nejpodstatnější částí uzávěru roletového typu je jeho výplň, kterou mohou tvořit ocelové lamely, lisované plastové profily nebo speciální protipožární tkanina. Aby výplň uzávěru rovnoměrně kryla celý otvor, drží její strany v bočních vodících lištách, které jsou připevněné do stavební konstrukce. Výplň se při spuštění rolety odvíjí z hřídele, která je poháněna elektromotorem skrze řídicí systém. Boční vodící lišty jsou oplechované, stejně tak může (ale nemusí) být i hřídel, sloužící k navíjení a odvíjení výplně uzávěru.



Obr. 1: Požární uzávěr [4]

V případě, že se systém instaluje do budov, které mají vysoký architektonický význam a nehodí se, aby byla roleta na očích, volí se různé varianty řešení, které by pomohly celému systému splynout s okolím. Mohou to být vhodně zvolené barvy nebo barevné kombinace, nebo také způsob instalování konstrukce do stěny. Pokud je nutné oddělovat prostory, které otvor spojuje, může se volit například systém padacích mříží, jakožto doplněk požární rolety, nebo různé typy vrat, či posuvných dveří bez požární odolnosti a vlivu na funkci požární rolety v případě požáru. Důležitým faktorem, který je třeba uvažovat při návrhu, je rychlost spuštění uzávěru. Především z toho důvodu, aby se výplň uzávěru nespustila příliš rychle a nedošlo k zadrhnutí v boční vodící liště. Obecně není definované, jaké má sestava obsahovat prvky a jak má vypadat jejich konstrukční řešení, sestava však musí splnit požadavky na bezpečnost dle ČSN EN 13241+A2 [5], která obsahuje různé mechanické zkoušky, pro eliminaci ohrožení osob při běžném provozu, eliminaci potíží při zavírání atp. Konstrukce musí projít zkouškou požární odolnosti, kde se v závislosti na výsledcích provede klasifikace dle již zmíněné normy ČSN EN 13501-2 [1]. Aby mohl být uzávěr používán v běžném provozu, musí projít certifikací z hlediska požární bezpečnosti, tak i z hlediska požadavků na bezpečnost při běžném použití. [2, 3]

6 Druhy roletových požárních uzávěrů

Jak již bylo uvedeno, rozdělit roletové požární uzávěry lze do mnoha skupin podle různých způsobů. Kromě již zmíněných rozdělení dle požární odolnosti a dle jejich vlastností (mezních stavů), lze roletové uzávěry dělit z hlediska směru zavírání otvoru, dle kotvení konstrukce do stěny nebo dle materiálu výplně uzávěru.

6.1 Rozdělení dle polohy chráněného otvoru

6.1.1 Svislý typ roletového uzávěru

Jedná se o nejběžnější typ uzávěru, kde se výplň uzávěru odvíjí z hřídele, která je umístěna nad otvorem v konzoli, kterou tvoří soustava plechů. Výplň, kterou je na (Obr. 2) speciální protipožární tkanina, je vedena pomocí vodících lišt, které lemují s otvorem, až do své koncové polohy. V případě svislé rolety s tkaninovou výplní, musí tkanina doléhat po celou dobu požáru, až k zemi, tak aby vlivem tlaku od požáru a deformacím nevznikala spára mezi zemí a uzávěrem. Proto se ke konci tkaniny ještě připevní válcovaný profil (koncová lišta), který zaručí, že textilie dosedne až k zemi ve své koncové poloze. Další variantou může být eliminace prvku koncové lišty, a místo ní doplnit konec textile nějakým těžším prvkem. Může se použít například kruhová tyč, která se umístí do přešité kapsy textile, nebo třeba i písek.



Obr. 2: Svislý textilní roletový požární uzávěr [4]



Obr. 3: Ocelový svislý roletový požární uzávěr [6]

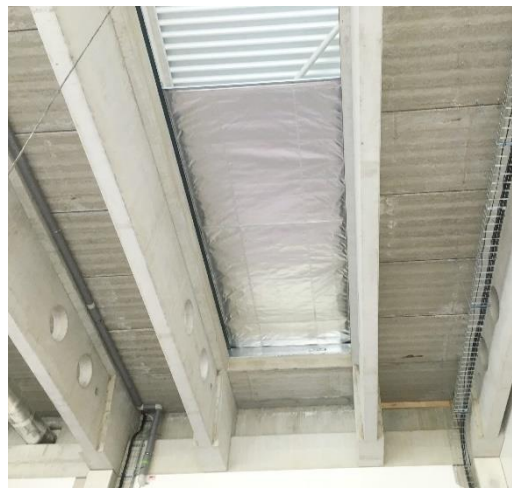
6.1.2 Horizontální typ roletového uzávěru

Stejně jako se zajišťuje otvor před šířením požáru ve svislém směru, se musí zajistit i v horizontálním směru. Může se jednat o atria, komunikační prostory mezi patry, světlík atp. Horizontální typ uzávěru obsahuje stejné prvky jako ten svislý. Z hřídele, která je umístěna v krytu, který tvoří plechy, se odvíjí výplň uzávěru, která je usměrněna

vodicími lištami po obou stranách, které zároveň mají i podpěrnou funkci. Aby bylo zaručeno úplné zavření otvoru, bývá na konci otvoru (na protější straně co hřidel) plech (nebo plechová sestava), na kterou dosedne v koncové poloze výplň uzávěru (v případě tkaninové výplně dosedne koncová lišta). Tento plech (resp. plechová sestava) slouží především jako podpěra při požáru, kde by mohla vznikat spára mezi požárem a chráněným úsekem vlivem teplotní deformace.



Obr. 4: Ocelový horizontální požární uzávěr [7]



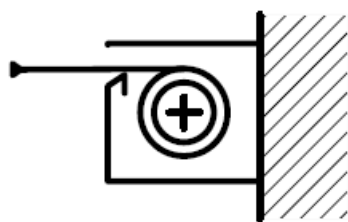
Obr. 5: Horizontální požární uzávěr textilní [4]

6.2 Rozdělení dle způsobu kotvení konstrukce

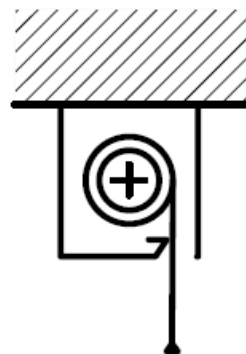
Způsob kotvení konstrukce do nosných prvků lze rozdělit na dva typy, a to *Na otvor* a *Do otvoru*. Obecně se při návrhu konstrukce uvažují obě varianty kotvení z důvodu větší komplexnosti výrobku. Znamená to, že konstrukce bude obsahovat prvky na obě varianty kotvení do nosné konstrukce. Způsob kotvení je pak dán prostorovými možnostmi objektu, vhodnou volbou v závislosti na funkčnosti uzávěru nebo také volbou kotvení v závislosti na estetické stránce uzávěru v objektu.

6.2.1 Kotvení do otvoru

Požární roletou, která je přidělána do stěny způsobem *Do otvoru*, lze chápat tak, že je celá konstrukce ukotvena v otvoru, který má chránit a konstrukce z něj nevyčnívá. Způsob do otvoru se uplatňuje ve vertikálním i horizontálním směru. (Obr. 6 a 7)



Obr. 6: Do otvoru – horizontální



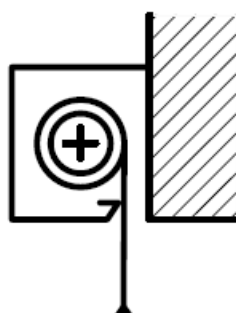
Obr. 7: Do otvoru – svislý

6.2.2 Kotvení na otvor

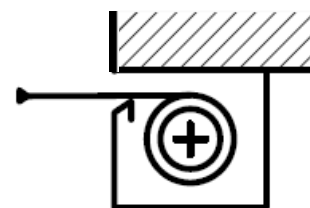
Druhým způsobem kotvení požárního uzávěru, je metoda *Na otvor*. Tento způsob představuje pravý opak předchozí metody kotvení, kde se konstrukce instaluje na stěnu, tak aby lemovala s otvorem, který má chránit. V případě klasického vertikálního typu uzávěru, se dá ještě rozdělit na metodu *Na otvor* a metodu *Na otvor se zpětným chodem*. (Obr 8, 9 a 10)



Obr. 8: Na otvor – svislý
(zpětný chod)



Obr. 9: Na otvor – svislý



Obr. 10: Na otvor – horizontální

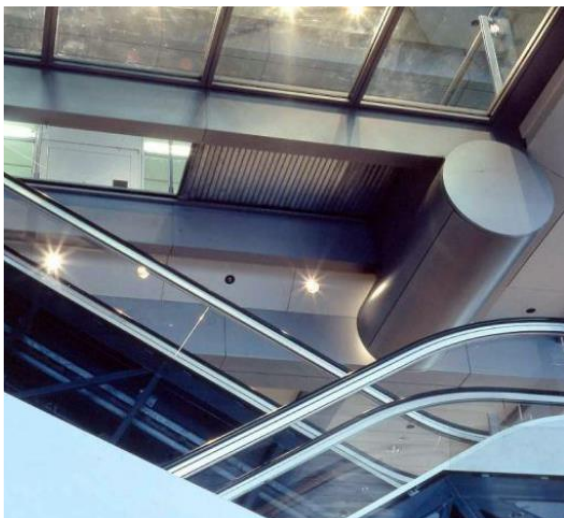
6.3 Rozdělení dle materiálu rolety uzávěru

Kromě způsobu umístění konstrukce má na uzávěr vliv v závislosti na jeho funkci a estetické stránce také materiál rolety, tedy materiál, který vyplňuje otvor chráněný před požárem. Každá varianta volby materiálu má své výhody a nevýhody. Některé z variant jsou standardně a často používané a některé se vyskytují spíše zřídka. Roleta může být z oceli, plastu nebo ze speciální požární textilie

6.3.1 Ocelové roletové požární uzávěry

Uplatňují se ve vertikálních i horizontálních směrech. Roleta je vyrobena z ocelových tvarovaných lamel s tloušťkou 0,7 až 1,2 mm. Lamely mohou tvořit dvojitou

vrstvu, jejíž meziprostor může být vyplněn izolačními materiály (izolační vrstvou). Tuto izolační vrstvu může tvořit minerální vlna nebo keramická vlákna. S rostoucími rozměry chráněného otvoru se volí větší tloušťka lamel. Roleta obsahuje na svém konci válcovaný profil (koncovou lištu), který zaručuje, že uzávěr dosedne k zemi ve své koncové poloze. Celá roleta je galvanicky pozinkována. Standardní rozměr uzávěru bývá 7 x 7 m. Konstrukčními úpravami lze dosáhnout i větších rozměrů. Tento typ uzávěru dosahuje požární odolnosti až EI 120 (tj. odolává účinkům požáru bez narušení mezního stavu celistvosti a izolace po dobu 120 minut) nebo EW 180 (tj. odolává účinkům požáru bez narušení mezního stavu celistvosti a radiace po dobu 180 minut). Požární odolnost lze zvýšit vodním zkrápěním systémem (tzv. zkrápění), který je instalován tak, aby během požáru po celou dobu stříkal vodu na celou plochu uzávěru. V takovém případě je uzávěr schopný splnit i vyšší požární odolnosti. Kromě vysokých požárních odolností, mají tyto ocelové uzávěry také výhodu v tom, že se dají zároveň používat i při běžném provozu jako dveře/zábrana. Nevýhodou je vysoká hmotnost a rozměr navíjecího boxu rolety. [3, 9]



Obr. 11: Ocelový horizontální uzávěr [2]



Obr. 12: Ocelový svislý uzávěr se zkrápěním [10]

6.3.2 Plastové roletové požární uzávěry

Plastová roleta je vyrobena z lisovaných plastových profilů, které jsou vyplněny obvykle dřevěným jádrem. Standardně se využívá v maximálním rozměru 6 x 5 m a bez zkrápění dosáhne požární odolnosti až EI 60. Plastové rolety se využívají zřídka, jelikož je využíváno hořlavého materiálu uvnitř lamel, který je podle ČSN 73 0802 [11] značně omezující pro využití v praxi. Výhodou těchto uzávěrů je stejně jako u ocelových rolet využití i jako spouštěcí dveře v běžném provozu a stejně jako v případě ocelových rolet

je zde limitující vysoká hmotnost a velké rozměry navíjecího boxu kvůli velkému průměru nábalu při uzavření rolety. [2, 3, 9]



Obr. 13: Plastový uzávěr [2]



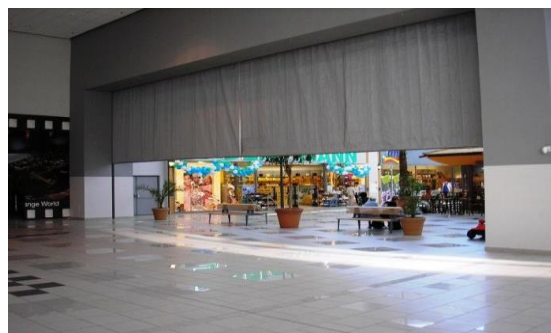
Obr. 14: Detail plastového profilu uzávěru [2]

6.3.3 Textilní roletové požární uzávěry

Jedná se o nejrozšířenější typ roletového uzávěru. Roleta je tvořena speciální nehořlavou textilií. Textilie je z nehomogenního materiálu. Tato směs obsahuje speciální tkaniny ze skelných vláken, se zátěrem z polyuretanu nebo silikonu a případně s hliníkovým prahem. Velkou výhodou je jejich malý průměr nábalu, tudíž roleta zabírá malý prostor a je velice skladná. Roleta je také oproti ostatním druhům lehká. Tento druh rolety je velice variabilní, co se týče možností kotvení konstrukce, existují horizontální i svislé druhy textilních rolet. Standardní rozměr textilních rolet je až 15 x 7 m. Nevýhodou textilní rolety je její náchylnost na mechanické poškození, musí se tedy dbát při návrhu konstrukce, aby textilie při vysouvání někde nedřela, nebo nepřicházela do kontaktu s nějakou ostrou hranou. V případě rolety větších rozměrů je nutné brát při návrhu konstrukce ohled na přetlak vzniklý vlivem požáru, který může způsobit vyboulení textilu a při špatně navržené konstrukci až vytrhnutí textilu z vodících lišt. Textilní uzávěry se instalují mnohdy v případě, že architekt navrhne takové řešení, které neobsahuje využití dveří s požární ochranou, ale například mříží, rychloběžných vrat nebo jiných systémů bez požární odolnosti. V tom případě je systém doplněn textilní roletou. Požární odolnost tohoto typu existuje až EI 120 a s pomocí zkrápění vodou až EI 180. Tyto hodnoty požárních odolností se mohou lišit podle výrobců. [2, 3, 9]



Obr. 15: Zkrápěný textilní roletový uzávěr [13]



Obr. 16: Textilní roletový uzávěr v Letňanech [12]

7 Požární zkoušky

Po návrhu konstrukce je nutné, aby výrobek prošel sérií zkoušek, které imitují skutečný průběh požáru a byly tak splněny všechny požadavky, které se od výrobku očekávají. V případě roletových požárních uzávěrů se zkoumá třída reakce na oheň jednotlivých dílů a pak se vyhodnocuje celá konstrukce a její požární odolnost, případně doplňková zkouška kouřotěsnosti.

7.1 Třídy reakce na oheň

Výrobek musí projít zkouškami, podle kterých se stanoví příslušná třída v závislosti na tom, jak výrobek reaguje při kontaktu s ohněm. Třída reakce na oheň určuje, zda a jakým způsobem výrobek přispívá k šíření požáru, neboli jak rychle hoří a kolik energie při tom uvolňuje. Po zkoumání reakce na oheň a sérii zkoušek různých typů, proběhne rozřazení do jednotlivých tříd reakcí dle ČSN EN 13501-1 [14]. U většiny výrobků bývá reakce na oheň již dána výrobcem. Rozdělení tříd reakcí na oheň je pak uveden v Tab. 1, kde A1 a A2 jsou považovány za nejbezpečnější tzv. nehořlavé výrobky, které se nepodílí nebo téměř nepodílí na šíření požáru. Následují třídy B až F, které se částečně nebo více podílí na šíření požáru, kde E a F jsou nejvíce nevyhovující. [15]

Cílem výrobců roletových textilních uzávěrů typu EW/EI, je používat pro konstrukci díly s třídou reakce na oheň A1 nebo A2. Aby mohl být výrobek zařazen do třídy A1 nebo A2, musí projít několika zkouškami. Dílům konstrukce, které jsou vyrobeny z běžně používaných materiálů, jsou obvykle přiřazovány třídy reakce dle tabulkových hodnot. Například u ocelových materiálů, které tvoří většinu konstrukce, je tabelárně přiřazena třída A1. U textilních uzávěrů je stěžení samotná textilie, kterou je nutné podrobit zkouškám. [2]

Zkoušky, podle kterých je stanovena třída reakce na oheň, se řídí evropskými normami. Výrobek, od kterého se očekává, že má splňovat příslušnou třídu reakce, podstupuje jen ty zkoušky, které jsou pro tuto třídu požadovány (viz. Tab. 1).

7.1.1 *I* – Zkouška nehořlavosti dle ČSN EN ISO 1182

Zkouška nehořlavosti probíhá ve speciální peci k tomu určené. Je použit vzorek výrobku, který je umístěn na stojan v peci. Dále jsou umístěny termočlánky, které snímají teplotu na povrchu vzorku. Tato zkouška je extrémní, co se týče teplot, neboť je vzorek zahříván teplotou 750 °C po dobu 30 minut. Pokud nedochází po 30 minutách v peci k ustálení teploty na hodnotu 750 °C, zkouška probíhá dalších 30 minut, kde se čeká na ustálení teploty. Pokud ani po 60 minutách nedochází k rovnováze, zkouška je ukončena a vzorek je odebrán a vložen do exsikátoru a po ochlazení se změří jeho hmotnost. Stejně tak se postupuje i v případě, že došlo k teplotní rovnováze. Sledovanými parametry je procentuální úbytek hmotnosti vzorku, doba trvalého plamenného hoření a nárůst teploty vzorku. [16, 17]

Tuto zkoušku podstupují výrobky, od kterých se očekává, že budou spadat do tříd A1 a A2 čili i roletové textilní uzávěry. [18]

7.1.2 *II* – Stanovení spalného tepla dle ČSN EN ISO 1716

Cílem této zkoušky je změřit celkové množství uvolněného tepla až do úplného shoření vzorku. Sledovaným parametrem je změna teploty vzorku a změna hmotnosti. [17, 19]

Stejně jako u zkoušky nehořlavosti, je i stanovení spalného tepla nutné pro výrobky, od kterých se očekává, že budou spadat do tříd A1 a A2. [18]

7.1.3 *III* – Zkouška jednotlivým hořícím plamenem dle ČSN EN 13823+A1

Zkouška probíhá ve zkušební píce, která je vybavena dvěma hořáky a systémem pro odtažení kouře. Zkoušený vzorek musí být ve tvaru L – profilu. Chování zkušebního tělesa je pozorováno 20 minut a zaznamenává se tepelný výkon, vývin kouře, boční a horizontální šíření plamene a odpadávající plamenně hořící částice. [17, 20]

Touto zkouškou se testují výrobky, které spadají do třídy A2 a dále hořlavé výrobky třídy B až D. [18]

7.1.4 IV – Zkouška zápalnosti ČSN EN ISO 11925-2

Zkouška zápalnosti je také označována jako test malým plamenem. Popisuje zkoušku pro stanovení zapalitelnosti a vznětlivosti výrobku přímým kontaktem malého plamene na svisle umístěný vzorek po dobu 15 nebo 30 sekund. Je hodnoceno, zdali došlo vůbec k zapálení svisle umístěného vzorku při kontaktu s malým plamenem a pokud ano, měří se za jak dlouho od prvního kontaktu s plamenem, plamen dosáhl výšky 150 mm od zápalného místa. [17, 21]

Tato zkouška se provádí pouze u hořlavých výrobků, které odpovídají třídě B až E. [18]

Tab. 1: Třídy reakce na oheň a jejich potřebné zkoušky [2, 18]

<i>Druh výrobku</i>	<i>Třída reakce na oheň</i>	<i>Chování při požáru</i>	<i>Potřebné zkoušky nehořlavosti</i>
<i>Nehořlavé výrobky</i>	<i>A1</i>	<i>Nezvyšují intenzitu požáru a kouře (např. skelná vlna, kamenná vlna, ...)</i>	<i>I, II</i>
	<i>A2</i>	<i>Téměř nezvyšují intenzitu požáru a kouře (např. minerální vlny s vyšším obsahem pojiva nebo povrchovou úpravou)</i>	<i>I, II, III</i>
<i>Hořlavé výrobky</i>	<i>B</i>	<i>Velmi omezeně přispívají k tvorbě požáru a kouře (např. některé fenolové pěny)</i>	<i>III, IV</i>
	<i>C</i>	<i>Omezeně přispívají k prostorovému vzplanutí</i>	<i>III, IV</i>
	<i>D</i>	<i>Přispívají k prostorovému vzplanutí (např. konstrukční dřevo)</i>	<i>III, IV</i>
	<i>E</i>	<i>Výrazně přispívají k prostorovému vzplanutí (např. fasádní polystyren)</i>	<i>III, IV</i>
	<i>F</i>	<i>Ostatní výrobky</i>	<i>IV</i>

7.2 Klasifikace dle vývinu kouře

Doplňkovou, avšak nutnou pro bezpečnost v případě požáru, je klasifikace dle vývinu kouře. Tato zkouška se provádí pouze pro výrobky A2, B, C a D. Zkouška spočívá v tom, že se měří množství vytvořených emisí, které výrobek během požáru vyprodukuje do okolí. Výrobky jsou rozděleny do tří skupin dle množství vyprodukovaného kouře. Jedná se o skupinu s minimálními emisemi (S_1), se středními emisemi (S_2) a s vysokými (S_3). [18]

7.3 Zkouška požární odolnosti

Celý průběh zkoušky včetně způsobů měření a pomůcek pro měření je definován normou ČSN EN 1634-1+A1 [23], která mj. vychází z norem ČSN EN 1363-1: Zkoušky požární odolnosti (Část 1: Obecné požadavky) [25] a ČSN EN 1363-2: Zkoušení požární

odolnosti (Část 2: Alternativní a doplňkové postupy) [26]. Vyhodnocení zkoušky a klasifikace výsledků zkoušky je dáno normou ČSN EN 13 501-2 [24].

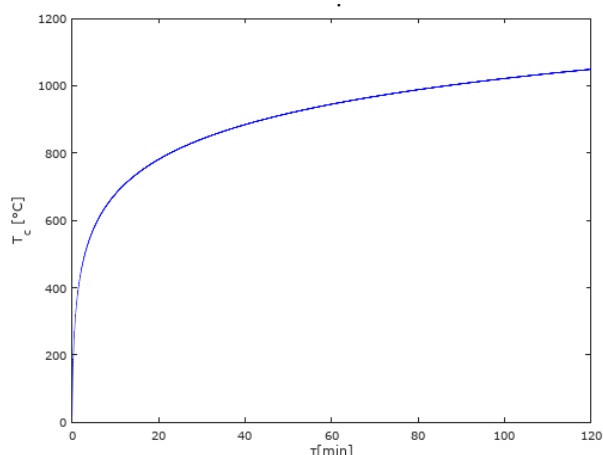
Zkouška probíhá ve speciální peci, která je vybavena několika hořáky symetricky po obou stranách. Jedna strana pece je otevřená, tato strana slouží k testování výrobků na požární odolnost, tak že se pro každou zkoušku postaví z izolačních a nehořlavých materiálů takové otvory, které odpovídají rozměrům výrobků, tak jak by byly použity v praxi. Pro vyzdění otvoru pro zkušební vzorek se používá obvykle jako stavební materiál tvárnice pro obvodové zdivo (Ytong) nebo sádrokarton. Vytvořené otvory a obecně celá vyzdívka by neměla mít vliv na průběh zkoušky. Ostatní strany pece jsou dokonale izolovány silnou vyzdívkou a izolační vatou. Pec je vybavena bočními dveřmi, pro vstup obsluhy před a po zkoušce. Pec může být vybavena otvorem pro odtah spalin do komína. Pec také může být vybavena průzory, kterými lze pozorovat průběh zkoušky z exponované strany vzorku. Zkušební strana pece může být vertikální pro zkoušku výrobků ve vertikálním směru, nebo existují i pece pro horizontální výrobky, které mají odkrytou horní část pro zkoušení vzorků.



Obr. 17: Odkrytá pec firmy AVAPS s.r.o. [4]

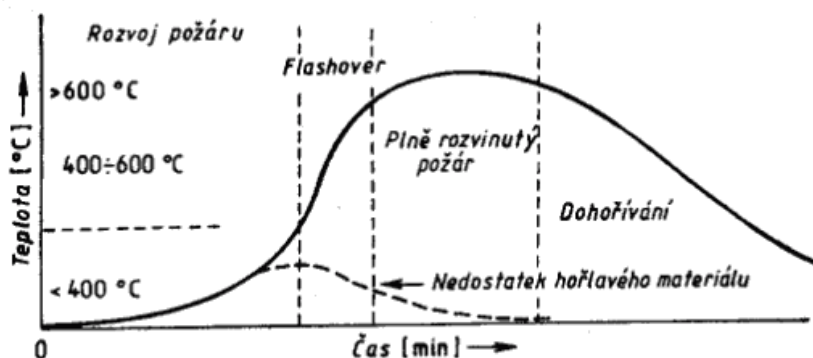
Teplota v peci se vždy řídí dle normované křivky, která je dána rovnicí (1) a průběhem dle (Obr. 17), kde T_c [°C] je teplota v příslušném požárním časovém úseku a τ [min] značí dobu. [27]

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



Obr. 18: Normovaná teplotní křivka

Funkce normované teplotní křivky má logaritmický průběh, který má představovat průběh skutečného požáru v požárním úseku, kterým je při zkoušce právě zkušební pec. Průběh skutečného požáru je však rozdělen do tří etap, kde první etapou je rozvoj požáru, pak následuje plně rozvinutý požár, kde prudce roste teplota a poslední etapa je dohořívání (Obr. 19).



Obr. 19: Průběh skutečného požáru [29]

Normovaná teplotní křivka charakterizuje svým průběhem požár v počátku oblasti plně rozvinutého požáru, kde nastává tzv. flashover efekt (prostorové vzplanutí), což je nejnebezpečnější stádium požáru v uzavřeném prostoru. Jedná se o prostorové vzplanutí zplodin, které byly vyprodukovány během počáteční fáze požáru. [28]

Teplota v peci je měřena termočládky, které jsou umístěny v určitém počtu a geometrii v blízkosti vnitřní straně uzávěru. Na vnější straně jsou také rozmístěné termočládky, z kterých se pak vyhodnocuje lokální teplota a průměrná teplota povrchu na vnější straně uzávěru. Počet termočládků, typ a jejich geometrie je proměnná dle typu zkoušeného vzorku dle norem ČSN EN 1363-1 [30]. Pro požární rolety se způsob volby

typů termočlánků, počet a jejich geometrie řídí již zmíněnou normou ČSN EN 1634-1+A1 [23]. [27]

Dalším parametrem, který je regulovatelný, je vzniklý přetlak v peci vlivem požáru, kde je pro výrobky zkoušené ve svislém směru zavedena tzv. neutrální tlaková rovina, kde je přetlak 0 Pa, která se uvažuje ve výšce 500 mm nad prahem pece. Tlak lze v peci regulovat, jelikož může mít vliv na celistvost (E) testovaného výrobku. Přetlak vzniklý požárem roste o 8,5 Pa s každým metrem do výšky s tím, že v nejvyšším bodě zkoušeného výrobku nesmí přesáhnout hodnotu 20 Pa. Pokud by hodnota přetlaku byla v nejvyšším bodě vyšší než 20 Pa, musí dojít k posunutí neutrální roviny do takové výšky, aby byla tato podmínka splněna. Hodnota 20 Pa imituje přetlak ve výšce stropu, který je způsoben skutečným požárem. Pro zkoušky horizontálních výrobků je hodnota přetlaku nastavena tak, aby na zkoušený vzorek působil po celou dobu přetlak právě 20 Pa. [2]

Zkoušený vzorek podstoupí zkoušce požární odolnosti, při které se naruší mezní stavy výrobku v příslušných časech, vše je pečlivě zaznamenáváno do protokolu o zkoušce. V závislosti, kdy byly mezní stavy uzávěru narušeny, se výsledek klasifikuje dle zmíněné normy ČSN EN 13 501-2 [24], kde jsou definované časy pro výsledné splněné požární odolnosti uzávěrů. Konkrétně jsou to časy 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180 a 240 minut. Pokud by například došlo k narušení mezního stavu zkoušeného uzávěru EW resp. EI v 70. minutě, mohl by být klasifikován jako uzávěr EW 60 resp. EI 60.

7.3.1 Kritérium celistvosti E

Jedná se o dobu, po kterou zkoušený výrobek zachovává svou požárně dělící funkci. Během zkoušky nesmí dojít k uvolnění uzávěru z nosné konstrukce, nesmí vzniknout otvor, kterým by mohl přeskočit požár do chráněného prostoru a nesmí dojít k hoření na chráněné straně. Všechny tyto podmínky zahrnují následující tři kritéria dle [27]:

- 1 Nesmí dojít ke vznícení testovacího bavlněného polštářku, který je umístěn během zkoušky ve vzdálenosti 30 mm od povrchu uzávěru během 30 sekund.
- 2 Nesmí dojít ke vzniku díry o průměru 25 mm a více, zároveň nesmí dojít ke vzniku spáry o průměru 6 mm a více, která bude dlouhá více než 150 mm. K měření těchto otvorů existují speciální měřky.
- 3 Nesmí dojít k souvislému hoření (více než 10 sekund) na odvrácené straně vzorku od požáru.

7.3.2 Kritérium izolace I

Jedná se o dobu, během které povrch zkoušeného výrobek nesmí na odvrácené straně od požáru (neexponované straně) přesáhnout průměrný teplotní nárůst 140 °C od počátku zkoušky a zároveň ani v jednom místě na této straně nesmí dojít k lokálnímu nárůstu teploty o 180 °C od počátku zkoušky. Toto kritérium izolace je označováno jako I_1 . Dále existuje benevolentnější kritérium izolace, které je značeno jako I_2 . Pro kritérium I_2 platí, že lokální nárůst teploty nesmí přesáhnout v kterémkoliv místě hodnotu 360 °C , toto kritérium se však týká pouze vodítek požárního uzávěru. [27]

7.3.3 Kritérium radiace W

Kritérium radiace stanovuje maximální hodnotu sálavého toku z požáru v určité vzdálenosti od uzávěru. Mezní stav radiace se zkoumá z toho důvodu, aby požár nebyl schopný vlivem sálavého toku přeskočit do chráněného úseku, nebo aby požár neohrožoval svým sáláním osoby při případné evakuaci. Sálavý tok je měřen radiometrem (přímá metoda), nebo je výsledný sálavý tok přepočítán pomocí naměřených teplot na povrchu uzávěru (nepřímá metoda). V případě zvolení přímé metody je radiometr umístěn proti zkoušenému výrobku ve vzdálenosti 1 m a je umístěn kolmo k jeho geometrickému středu. Hodnota sálavého toku na úrovni radiometru (1 m) nesmí překonat 15 kW m^{-2} . [27]



Obr. 20: Průběh zkoušky požární odolnosti požární textilie [31] Obr. 21: Průběh zkoušky požární odolnosti dveří [32]

7.3.4 Protokol o zkoušce

Po absolvování zkoušky výrobku na požární odolnost, je vypracován protokol, ve kterém jsou uvedeny všechny výsledky a závěry. Jsou zde vypsány časové záznamy, při kterých byly narušeny mezní stavy vzorku, na které byl vzorek zkoušen, neboli do jaké doby byl vzorek vyhovující. Protokol obsahuje všechny naměřené hodnoty teplot na

vnější i vnitřní straně a přetlaku v peci (případně radiace) a jejich grafický průběh v čase. V případě měření deformací, jsou doplněny i záznamy deformací v čase. Během zkoušky se zaznamenávají v určitých časových intervalech i případné vizuální změny na výrobku. Hořáky, které vytváří teplo v peci dle normované teplotní křivky, pracují s jistými odchylkami, pokud jsou hodnoty teploty v peci mimo dovolený rozptyl, je to uvedeno a odůvodněno. Pokud nastane porušení kritéria izolace v lokálním místě, zaznamenává se místo, které bylo nejvíce narušeno. [2, 27]

7.3.5 Přímé využití výsledků zkoušky na požární odolnost

Většina konstrukcí požárních uzávěrů je navržena tak, aby bylo jejich využití univerzální dle rozměrů otvoru. Většina prvků v uzávěru nezávisle na rozměrech zůstává stejná, jen dochází ke změnám délek profilů, které jsou po obvodu chráněného otvoru (vodítka, koncové lišty a boxy). Tyto profily obvykle bývají ohýbané plechové součásti. I vzhledem k omezeným možnostem pece, co se rozměrů zkoušeného výrobku týče, je zavedena tzv. prodloužená doba, pro kterou se vyhodnocují mezní stavy. Hodnota prodloužené doby je například pro uzávěr EI 120–132 minut (vše je popsáno v ČSN EN 1634-1+A1 [23]). V případě splnění i prodloužené doby, během které byl výrobek zkoušen bez porušení kritéria (mezního stavu), může být protokol platný pro tentýž nezkoušený výrobek, ale i pro výrobek, který je až o 30 % širší a 10 % vyšší v případě ocelových rolet a až o 10 % větší v obou rozměrech pro textilní rolety. To však neplatí pro uzávěry typu EW, neboť s rostoucí plochou se může zvýšit sálavý tok. [2, 27]

7.3.6 Rozšířené využití výsledků zkoušky na požární odolnost

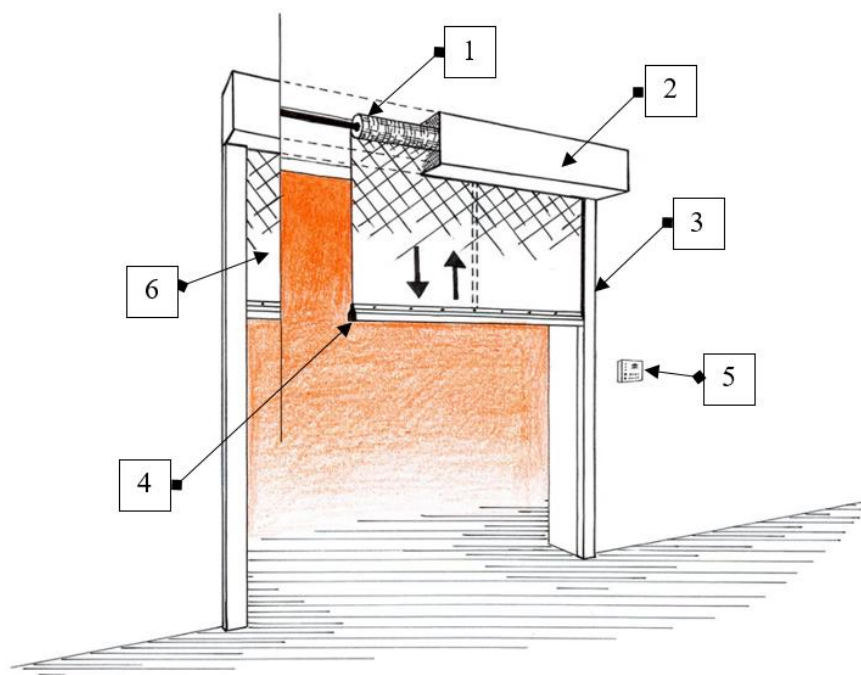
Rozšířené využití výsledků zkoušky je zavedeno proto, aby se platnost výsledků na konkrétní výrobek s příslušnou geometrií mohla rozšířit pro větší rozměry otvoru, ale i na obdobné výrobky, které mají třeba jiný způsob kotvení do stavební konstrukce, nebo mají jiné rozteče otvorů pro kotvící prvky atp. Podmínky pro rozšířené využití výsledků zkoušky konkrétně pro textilní roletové uzávěry zahrnuje norma ČSN EN 15269-11 [34]. Zmíněná rozšířená aplikace výsledků zkoušky platí pro uzávěry ve svislé poloze. Pro horizontální polohu uzávěru norma neexistuje.

8 Popis roletového požárního uzávěru typu EW a jeho současné možnosti na českém trhu

Tuzemský trh nabízí širokou škálu možností v oblasti požárních uzávěrů a jejich příslušenství. Tato kapitola je však zaměřena pouze na roletový požární uzávěr typu EW, jelikož se konstrukční a výpočtová část zabývá právě tímto typem uzávěru.

Jak již bylo nastíněno v kapitole 4, uzávěr typu EW je schopný pro stanovenou dobu požární odolnosti splňovat meznímu stavu celistvosti (E) a omezovat šíření sálavého toku (W).

Firem, které se těmito požárními uzávěry zabývá je několik. I když není normou určený způsob konstrukce a způsob zavírání, tak jejich princip je stejný. Textilie uzávěru je odvíjena z hřídele, která je umístěna v navíjecím boxu. Hřídel je poháněná trubkovým elektromotorem 230 V (nebo i 24 V), který je napojen na řídicí jednotku. Uzávěry lze zavírat ručně pomocí tlačítka na řídicí jednotce, což se v praxi využívá zpravidla po montáži, kdy se zkoumá správná instalace a funkčnost uzávěru, nebo při pravidelných revizích uzávěru. V případě požáru dojde k okamžitému pokynu zavření na základě čidel, která mohou reagovat na zvýšenou teplotu nebo kouř. Řídicí jednotky mívají svůj vlastní záložní zdroj elektrické energie (akumulátor), který v případě výpadku proudu zajistí, aby se uzávěr nespustil. V případě úplného odříznutí od zdroje, nebo absenci vlastního zdroje energie, jsou uzávěry navrženy tak, aby využili gravitaci a spustili se automaticky dolů s využitím uvolnění elektromagnetické brzdy s obvyklou rychlostí $0,1 \text{ m s}^{-1}$ přičemž mohou uzávěry být vybaveny světelnou a akustickou signalizací při zavírání nebo otevírání. Konstrukci obvykle z většiny tvoří soustava ocelových pozinkovaných plechů. Konstrukce, může být různorodá, ale obvykle obsahuje následující prvky dle (Obr. 22).



Obr. 22: Popis prvků textilního roletového požárního uzávěru

1 – Hřídel s textilií, 2 – Box hřídele, 3 – Vodící lišta, 4 – Koncová lišta, 5 – Řídící jednotka, 6 – Textilie [4, 33]

V případě horizontálního typu textilního roletového uzávěru EW je konstrukce, způsob pohonu hřídele a zavírání obdobný. Uzávěr má prvky své konstrukce stejné jako ve vertikálním směru. Jediná odlišnost, kterou musí konstruktér zahrnout do svých návrhů je, že horizontální typ nemůže využívat při svém zavírání gravitaci. Většinou je tento problém řešen tak, že obsahuje soustavu pružin, které jsou v otevřené poloze napnuté a při zavírání využívají své tuhosti a stahují roletu s využitím odstředivé brzy v motoru, která zajišťuje plynulý a pomalý průběh stažení rolety. [4, 10]

Textilie používaná pro požární uzávěry typu EW je ze speciální tkaniny ze skelných vláken s vrstvou polyuretanu nebo silikonu. Textilie je z jedné nebo obou stran tvořena hliníkovou fólií a je prošitá nerezovými ocelovými drátky. Textilie je nasazena tak, aby hliníková folie byla směrem k požáru (pokud je fólie pouze na jedné straně textilie), i když je v peci dle normované teplotní křivky až přes 1100 °C, tak nedochází k tomu, aby se hliník taval (při své teplotě tavení 660 °C), neboť hliník díky své velmi nízké emisivitě ($\epsilon_{Al} = 0,02$ až $0,09$) má schopnost odrazet sálavý tok způsobený požárem [35]. Díky své malé tloušťce (obvykle kolem 0,6 až 0,7 mm), je tato textilie velmi lehká

(kolem 1 kg m⁻²) a tvoří malý průměr nábalu textile na hřídeli v otevřené poloze. Díky malému průměru nábalu na hřidel se zároveň snižuje i velikost boxu pro hřidel. Na trhu se objevují uzávěry typu EW s textilií o rozměru až 30x6 m (pro horizontální typ až 20 x 8 m), přesné složení a informace o tloušťkách jednotlivých vrstev textile si však každá firma nechává pro sebe a zásadně neuvádí. Aby uzávěry splňovaly danou požární odolnost, tak někteří výrobci doplňují konstrukci systémem zkrápění textile vodou pro snížení teploty na povrchu. Na současném trhu jsou textile s požární odolností až EW 180 bez nutnosti zkrápění. [2, 36]



Obr. 23: Požární textile EW [2]

V následující tabulce (Tab. 2), jsou uvedeny možnosti na českém trhu v oblasti požárních uzávěrů typu EW.

Tab. 2: Průzkum tuzemského trhu [4, 10, 33, 37, 38]

Název firmy	Typ	Možnosti požární odolnosti	Maximální rozměr Š x V (L) [m]	Způsoby kotvení
Termetal Moravia s.r.o.	Vertikální	Do EW 90 bez zkrápění Až EW 180 se zkrápěním	30 × 4	Na otvor / Do otvoru
FK Servis s.r.o.	Vertikální	Do EW 30 bez zkrápění Až EW 120 se zkrápěním	Bez omezení	Na otvor / Do otvoru
K. B. K fire s.r.o.	Vertikální	Do EW 30 bez zkrápění Až do EW 120 se zkrápěním	Neuvedeno	Na otvor / Do otvoru
Perfect Door s.r.o.	Vertikální	Do EW 120 bez zkrápění Až EW 180 se zkrápěním	20 x 6	Na otvor / Do otvoru
Perfect Door s.r.o.	Horizontální	EW 60 se zkrápěním (E 120 bez zkrápění)	3 x 6	Na otvor / Do otvoru
Spedos s.r.o.	Vertikální	Do EW 120 bez zkrápění	13 x 6	Na otvor / Do otvoru
Avaps s.r.o.	Vertikální	Do EW 180 bez zkrápění	18 x 7	Na otvor / Do otvoru
Avaps s.r.o.	Horizontální	EW 60 se zkrápěním (E 120 bez zkrápění)	3 x 6	Na otvor / Do otvoru

Jak je z příslušné tabulky patrné, maximální požární odolnosti uzávěrů typu EW na tuzemském trhu jsou EW 180 bez zkrápění a pro horizontální typ uzávěru EW 60 se zkrápěním nebo případně pak E 120 bez zkrápění. Firma AVAPS s. r. o., je jediná firma v České republice, která poskytuje horizontální typ uzávěru, neboť firma PERFECT DOOR s. r. o. pouze skupuje výrobky, a právě i horizontální typ uzávěru, kterou navrhuje firma AVAPS s. r. o.

9 Teorie přenosu tepla pro výpočty požárních uzávěrů

9.1 Tepelný tok a hustota tepelného toku

Během požáru je chladnějším částicím v okolí předávána energie. Tato energie, která je předávána z teplejších částic na chladnější se nazývá tepelný tok. Tento proces vzniká vlivem teplených ztrát požáru do okolí. Obecně lze tepelný tok definovat dle rovnice (2), kde Q [J] je množství přeneseného a τ [s].

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{d\tau} \quad [\text{W}] \quad (2)$$

Pokud je tento tepelný tok vztažen na jednotku plochy kolmé ke svému gradientu, jedná se o hustotu tepelného toku. Tento vztah je definován dle rovnice (3).

$$q = \frac{d\dot{Q}}{dS} \quad [\text{W m}^{-2}] \quad (3)$$

9.2 Způsoby sdílení tepla

9.2.1 Vedení tepla (kondukce)

Tento způsob sdílení tepla se uskutečňuje primárně v pevných látkách, kde částice s vyšší střední kinetickou energií předávají svou energii částicím s nižší kinetickou energií vlivem srážek.

Pro stacionární vedení tepla homogenní látkou v kartézském prostoru (x, y, z), je dán vztah (4), známý jako Fourierův zákon vedení tepla. [39]

$$q = -\lambda \operatorname{grad}(T) = -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad [\text{W m}^{-2}] \quad (4)$$

T [K] je teplota a součinitel λ [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$] se nazývá součinitel tepelné vodivosti. Jedná se o materiálovou vlastnost, která je proměnná s teplotou. Čím vyšší konstanta je, tím lépe příslušný materiál vede teplo. U různých tepelných izolací (skelná vlákna, minerální vlny atd.) se hodnota součinitele tepelné vodivosti pohybuje mezi 0,035 až 0,045 $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$. U materiálů, které jsou použity v konstrukci požárních uzávěrů, jako je například ocel je součinitel tepelné vodivosti kolem 64 $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ a u hliníku, který se využívá jako folie požární textilie EW uzávěrů má tepelnou vodivost zhruba 221 $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$. Tyto hodnoty však odpovídají pokojové teplotě (20 °C) a s extrémními teplotami se pak mohou velmi lišit. [40, 41]

Fourierův zákon však platí pro stacionární vedení tepla neboli pro vedení tepla, které je neměnné v čase. Vztah, který definuje průběh vedení tepla v prostoru v závislosti na čase, je dán Fourier-Kirchhoffovou diferenciální rovnicí vedení tepla (5). [39]

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho c_p} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

Tento vztah popisuje vedení tepla (kondukcí) bez vnitřního objemového zdroje, a kromě součinitele tepelné vodivosti λ [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$], zde figuruje také další materiálové vlastnosti, a to hustota látky ρ [kg m^{-3}], a měrná tepelná kapacita c_p [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$].

Tyto tři materiálové vlastnosti lze zahrnout součinitelem teplotní vodivosti a [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$]. [2]

$$a = \frac{\lambda}{\rho c_p} \quad [\text{m}^2 \text{s}^{-1}] \quad (6)$$

Řešení úloh vedení pro nestacionární vedení tepla je složitou operací. Obvykle se pro tento výpočet využívají různé numerické metody s využitím výpočetní techniky.

9.2.2 Proudění tepla (konvekce)

Jedná se o přenos tepla z teplejších částic na chladnější v plynném nebo kapalném médiu (tekutině). Sdílení tepla mezi tekutinou a pevnou látkou se nazývá přesup tepla. Přestup tepla je definovaný Newtonovým ochlazovacím zákonem, kde lze snadno vypočítat hustotu tepelného konvektivního toku. V diferenciálním tvaru lze tento zákon popsat dle (7). [39]

$$dq = \alpha dT \quad [\text{W}] \quad (7)$$

Hustotu konvektivního toku q [W m^{-2}] přímo úměrně ovlivňuje součinitel přestupu tepla α [$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$]. Po integraci této rovnice lze definovat tento vztah dle (8), kde T_w [K] je teplota stěny pevné látky a T_f [K] teplota tekutiny, která předává teplo do pevné látky pomocí konvekce ($T_w < T_f$). [39]

$$q = \alpha (T_f - T_w) \quad [\text{W m}^{-2}] \quad (8)$$

V opačném případě, kdy je pevná látka teplejší než tekutina ($T_f < T_w$), platí vztah (9).

$$q = \alpha (T_w - T_f) \quad [\text{W m}^{-2}] \quad (9)$$

Součinitel přestupu tepla je funkcí látkových vlastností tekutiny (viskozity, hustoty, měrné tepelné kapacity, tepelná vodivosti), geometrie stěny a její drsnosti a rychlosti proudění tekutiny. Jelikož jsou látkové vlastnosti tekutiny funkcí tlaku a teploty, je tedy součinitel přestupu tepla závislý i na teplotě a tlaku. Hodnoty součinitelů přestupu tepla mohou být v jednoduchých případech uvedeny v literatuře, jinak se obvykle součinitel přestupu tepla vyhodnocuje pomocí korelací s využitím bezrozměrných čísel nebo lze využít nějaký simulační software. [42]

9.2.3 Sálání tepla (radiace)

Jedná se o přenos tepla elektromagnetickými vlnami do okolí. Na rozdíl od jiných způsobů přenosu tepla, probíhá sálání bez závislosti na látkovém prostředí, lze tedy přenášet teplo sáláním i ve vakuu. Pomocí Stefan-Boltzmannova zákona (10) lze definovat intenzitu vyzáření se zohledněním reálného povrchu materiálu. [39]

$$I = \varepsilon \sigma T^4 \quad [\text{W m}^{-2}] \quad (10)$$

Intenzita vyzáření I [W m^{-2}] prudce roste, a to se čtvrtou mocninou teploty T [K]. σ je Stefanova-Boltzmannova konstanta, která má hodnotu přibližně $5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$. ε [-] je emisivita povrchu stěny vyzařovaného tělesa. Hodnota emisivity se v praxi pohybuje v intervalu $0 < \varepsilon < 1$. V případě, kdy by se $\varepsilon = 1$, jednalo by se o tzv. absolutně černé těleso, které kompletně pohltí celý zářivý tok. Ve skutečnosti však dokonalé černé neexistuje a jde pouze o pojem, ke kterému se lze limitně přiblížit. Emisivita je závislá na materiálu a jeho povrchu a na teplotě povrchu. [2, 39]

Materiály, jejichž emisivita se blíží k nule, odráží téměř všechny sálavý tok. Jsou to například leštěný hliník, chrom nebo zinek s rozsahem $\varepsilon = 0,03$ až $0,1$. Materiály, které se blíží k černému tělesu, čili téměř kompletně pohlcují sálavý tok a minimálně odráží, jsou například stavební materiály, jako je třeba dřevo nebo cihly s rozsahem $\varepsilon = 0,93$ až $0,96$. Hodnoty emisivit pro různé homogenní materiály jsou běžně k dohledání v různých tabulkách s příslušnými vlastnostmi materiálu. [35]

9.3 Vztahy používané pro výpočet textilních požárních uzávěrů

Výpočty přenosu tepla požárních uzávěrů vychází ze základních rovnic způsobů přenosu tepla. Je třeba připomenout, že se požár řídí křivkou skutečného požáru, z které je odvozená normovaná teplotní křivka, jejíž průběh reprezentuje požár ve fázi plně rozvinutého požáru (viz. kapitola 7.3). Při výpočtech přenosu tepla požárních uzávěrů, je nutno dodat, že se jedná o úlohy nestacionární, neboť je teplota požáru proměnná v čase.

Následující vztahy nebudou uvažovat zdroj tepla jako nějaký obecný požár, ale požár, který je uměle vytvořen ve zkušební peci, který se řídí normovanou teplotní křivkou. Vzhledem k tomu, že se jedná o nestacionární úlohu, uvažují se následující vztahy v obecném časovém bodě, kterému odpovídá příslušná teplota v peci v grafu normované teplotní křivky. Dále je třeba zmínit, že dle ČSN EN 1363-1 [25] se uvažuje teplota v peci v celém svém vnitřním objemu stejná v daném časovém bodě.

Celkový tepelný tok požáru ve zkušební peci, který dopadá na vnitřní plochu zkoušené textilie, je dán vztahem (11). Kde lze rozdělit celkový tepelný tok na konvektivní a radiační složku. [27]

$$q_{in} = q_{konv,in} + q_{rad,in} \quad [\text{W m}^{-2}] \quad (11)$$

Složka tepelného konvektivního toku se určí dle (12).

$$q_{konv,in} = \alpha_{in} (T_{f,in} - T_{wall,in}) \quad [\text{W m}^{-2}] \quad (12)$$

Hodnota součinitele přestupu tepla α_{in} [$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$] na straně požáru je pro normovanou teplotní křivku $25 \text{ W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ dle ČSN EN 1991-1-2 [44]. Teplotní diference je dána teplotou v peci v daném okamžiku $T_{f,in}$ [K] a teplotou vnitřního povrchu textilie $T_{wall,in}$ [K]. [2, 27, 43]

Pro radiační složku platí vztah (13), který vychází ze Stefan-Boltzmannova zákona.

$$q_{rad,in} = \varepsilon_{fire} \varepsilon_{in} \sigma (T_{f,in}^4 - T_{wall,in}^4) \quad [W m^{-2}] \quad (13)$$

Emisivita požáru se uvažuje jako $\varepsilon_{fire} = 1$ dle ČSN EN 1991-1-2 [44]. ε_{in} [-] je emisivita vnitřní strany textil, σ [$W m^{-2} K^{-4}$] je Stefan-Boltzmannova konstanta. [27]

Na odvrácené straně textilie, lze určit tepelný tok zahrnující ztráty do okolí pomocí vztahu (14). [27]

$$q_{out} = q_{konv,out} + q_{rad,out} \quad [W m^{-2}] \quad (14)$$

Složka konvektivního tepelného toku vlivem ztrát do okolí se stanoví dle (15). [27]

$$q_{konv,out} = \alpha_{out} (T_{wall,out} - T_{f,out}) \quad [W m^{-2}] \quad (15)$$

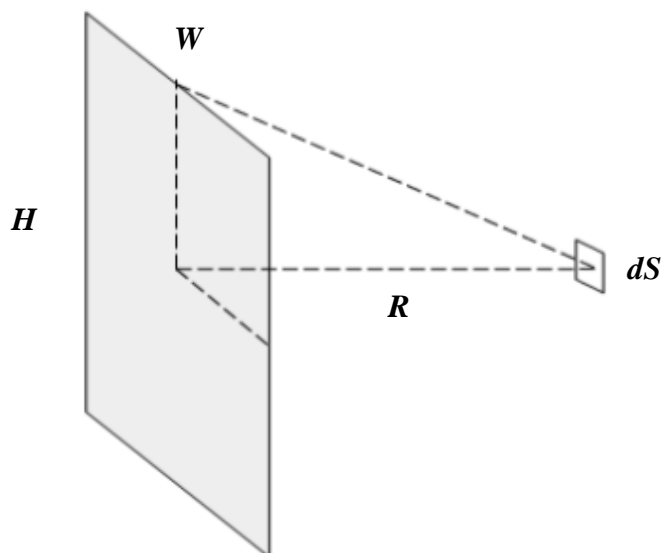
Součinitel přestupu tepla na vnější straně textilie α_{out} [$W m^{-2} K^{-1}$] se uvažuje dle ČSN EN 1991-1-2 [44] při výpočtech jako $4 W m^{-2} K^{-1}$. Tato hodnota je užívána při výpočtech přenosu tepla čistou konvekcí. Dle ČSN EN 1991-1-2 [44] lze uvažovat jakýsi modifikovaný součinitel přestupu tepla na vnější straně, který zahrnuje i radiační složku tepelné ztráty do okolí. Hodnota tohoto součinitele je $9 W m^{-2} K^{-1}$. [2, 27]

Radiační složka vyzářená na odvrácené straně textilie do okolí je dána vztahem (16). [2, 27]

$$q_{rad,out} = \varepsilon_{out} \sigma (T_{wall,out}^4 - T_{f,out}^4) \quad [W m^{-2}] \quad (16)$$

ε_{out} [-] je emisivita vnější strany textilie, která vyzáří sálavý tok do okolí.

Pokud se při požární zkoušce využívá radiometr pro měření sálavého toku vyzářeného do okolí, umísťuje se do určité vzdálenosti od měřené textilie (obvykle 1 m). Ten však měří hodnotu sálavého toku v rovině v určité vzdálenosti od textilie, a nikoliv hodnotu na povrchu textilie. Pro přepočítání lze využít tzv. polohový faktor Φ [-]. Jedná se o koeficient, který v sobě zahrnuje geometrii plochy, z níž je sálavý tok vyzařován a dále zohledňuje, v jaké vzdálenosti je plocha, na níž vyzářený sálavý tok dopadá. V tomto případě se jedná o plochu $W \times H$, která vyzařuje sálavý tok, který dopadá na nekonečně malou rovnoběžnou plochu dS . Plochy jsou k sobě umístěny tak, aby jejich společná kolmice k nim procházela geometrickými středy. Plocha tvořena rozměry W a H , představuje požární textilii a nekonečně malá plocha dS představuje snímač radiometru, který je umístěn ve vzdálenosti R od textilie (Obr. 24). [45]



Obr. 24: Polohový faktor [46]

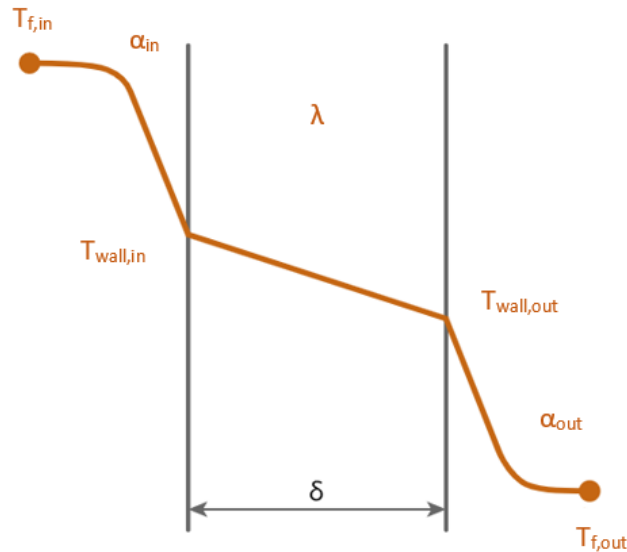
Pokud tuto plochu rozdělíme na 4 stejné obdélníky o rozměrech $\bar{H} \times \bar{W}$, kde $\bar{H} = H/2$ [m] a $\bar{W} = W/2$ [m], tak lze získat vztah pro celkový polohový faktor Φ [-]. [45, 46]

$$\Phi = \frac{2}{\pi} \left(\frac{\bar{W}}{(R^2 + \bar{W}^2)^{0,5}} \arctg\left(\frac{\bar{H}}{(R^2 + \bar{W}^2)^{0,5}}\right) + \frac{\bar{H}}{(R^2 + \bar{H}^2)^{0,5}} \arctg\left(\frac{\bar{W}}{(R^2 + \bar{H}^2)^{0,5}}\right) \right) \quad (18)$$

Sálavý tok vyzařující na stěně textilie lze získat pomocí polohového faktoru a měřeného sálavého toku radiometrem dle (19). [27, 45, 46]

$$q_{rad,out} = \frac{q_{rad,out}^{m\acute{e}řen\acute{e}}}{\Phi} \quad [W \text{ m}^{-2}] \quad (19)$$

Na (Obr. 25), je graficky popsán průběh teploty textilií požárního uzávěru v daném časovém bodě.



Obr. 25: Teplotní průběh textilií [47]

Vzhledem k tomu, že textilie požárních uzávěrů EW dosahuje tloušťky $\delta = 0,6$ až $0,7$ mm a tato textilie nemá izolační vlastnosti (I), lze usoudit, že hodnoty teplot na stěně $T_{wall,in}$ a $T_{wall,out}$ se nebudou o tolik lišit. Lze tedy říct, že pro uzávěr typu EW je $T_{wall,in} \approx T_{wall,out}$.

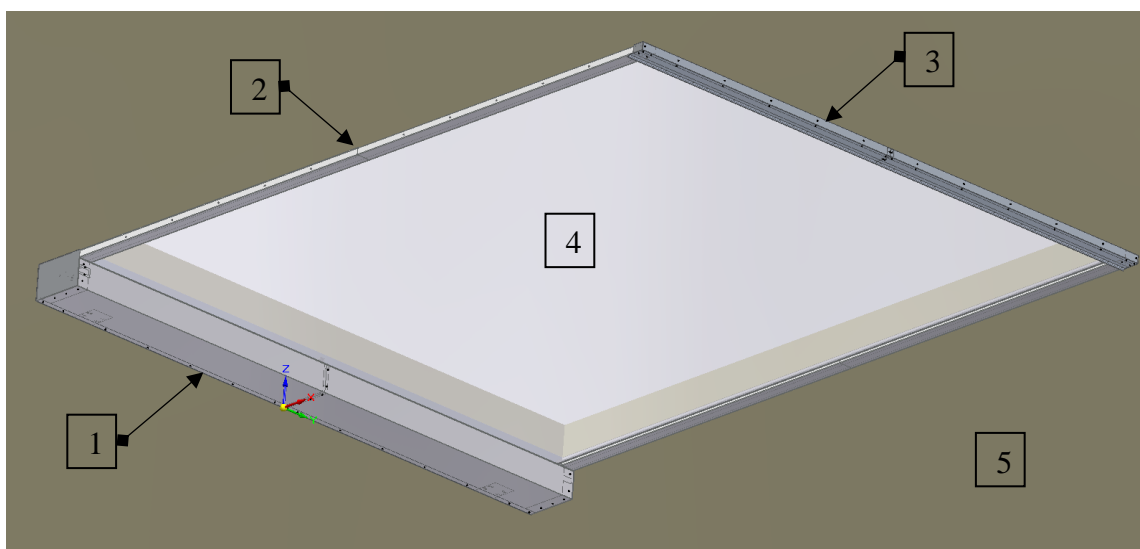
10 Modelování a realizace prototypu horizontálního požárního uzávěru EW 120 (FIBREroll–H)

Jednou z praktických částí je tvorba prototypu horizontálního požárního uzávěru. Cílem této kapitoly je navrhnout konstrukci horizontálního uzávěru, která bude sloužit jako prototyp. Model, který bude navržen do finální podoby, bude mít potenciál na to, aby byl skutečně realizován, a je cílen na to být skutečným produktem. Čili tento model nezůstane jako pouhý teoretický požární uzávěr, ale klade si za cíl projít akreditovanou požární zkouškou, díky které bude moct být používán v praxi. Tvorba modelu uzávěru probíhala ve spolupráci s firmou AVAPS s. r. o., ze které pramenily veškeré požadavky na konstrukci. Veškeré know-how, které bylo načerpáno od zaměstnanců, kteří se pohybují v tomto oboru a mají bohaté znalosti, bylo použito na tvorbu modelu, který byl tvořen v CAD systému Solid Edge. V této kapitole bude představena sestava modelu prototypu požárního horizontálního uzávěru s potenciální požární odolností EW 120 bez systému zkrápění vodou, který je označen jako FIBREroll–H.

Prvním krokem návrhu konstrukce, bylo skicování a různé nákresy, kde se vymýšlel způsob zavírání. Jednou z výchozích podmínek bylo využít standardizovanou hřídel poháněnou trubkovým elektromotorem, z které se bude odvíjet textilie. Tato hřídel je běžně využívána pro jiné produkty firmy AVAPS s. r. o., jedná se tedy o jistou univerzálnost prvků mezi produkty.

Sestava měla obsahovat obecně stejné prvky, jaké se nachází i u vertikálních uzávěrů. Hřídele, z které se odvíjí textilie, je umístěna v navíjecím boxu. Pohyb odvíjené textilie je usměrněn v jejích krajích pomocí bočních vodiček a pro dosažení úplného zavření otvoru má být textilie vybavena koncovou lištou, která slouží zároveň jako vyztužení konce textilie. Koncová lišta má umožnit úplné dovření uzávěru tím, že při dovírání dosedne pomocí nájezdu na plochu boxu pro koncovou lištu.

V následujících obrázcích bude představen finální model kotvený ke stropu s popisem jednotlivých prvků, tak jak byl navržen autorem této práce.

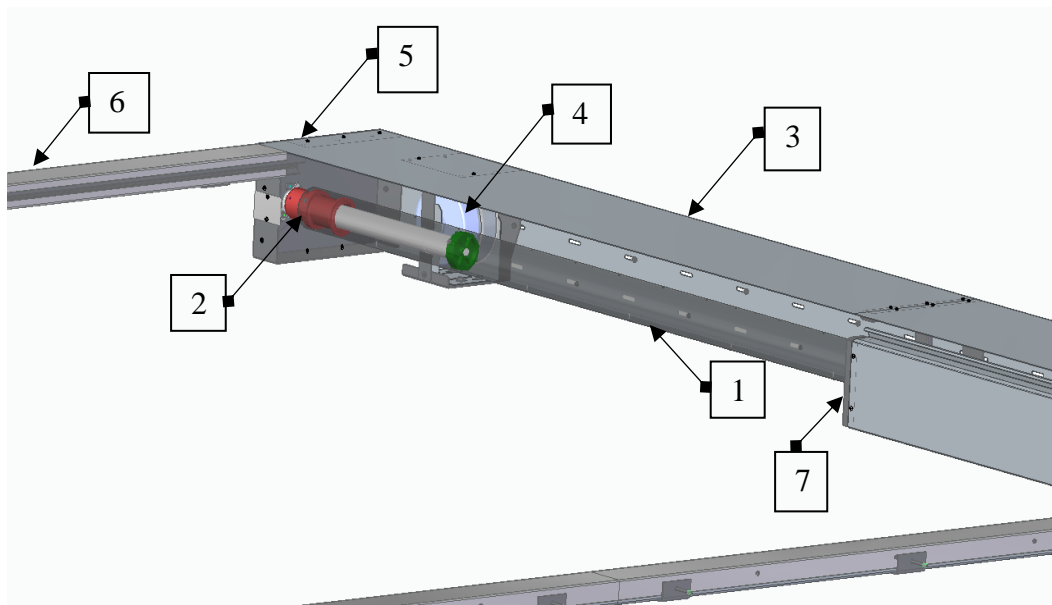


Obr. 26: Sestava modelu požárního uzávěru FIBREroll-H

1 – Navíjecí box s hřídelí, 2 – Vodičko, 3 – Box pro koncovou lištu, 4 – Textilie, 5 – Strop

Je třeba zmínit, že sestava je symetrická podle XZ dle souřadnicového systému z (Obr. 26). Následující detailnější obrázky vždy vystihují jednu ze stran, avšak díly na protější straně jsou totožné v symetrické poloze. Sestavu z většiny tvoří ohýbané plechové díly o různých tloušťkách od 1 do 4 mm v závislosti na tom, zda díl je nebo není součástí nosné konstrukce. Na (Obr. 27), je detailněji vidět navíjecí box, kde byl skryt (pro lepší orientaci) jeden z ohýbaných plechů, který usměrňuje pohyb textilie do vodiček.

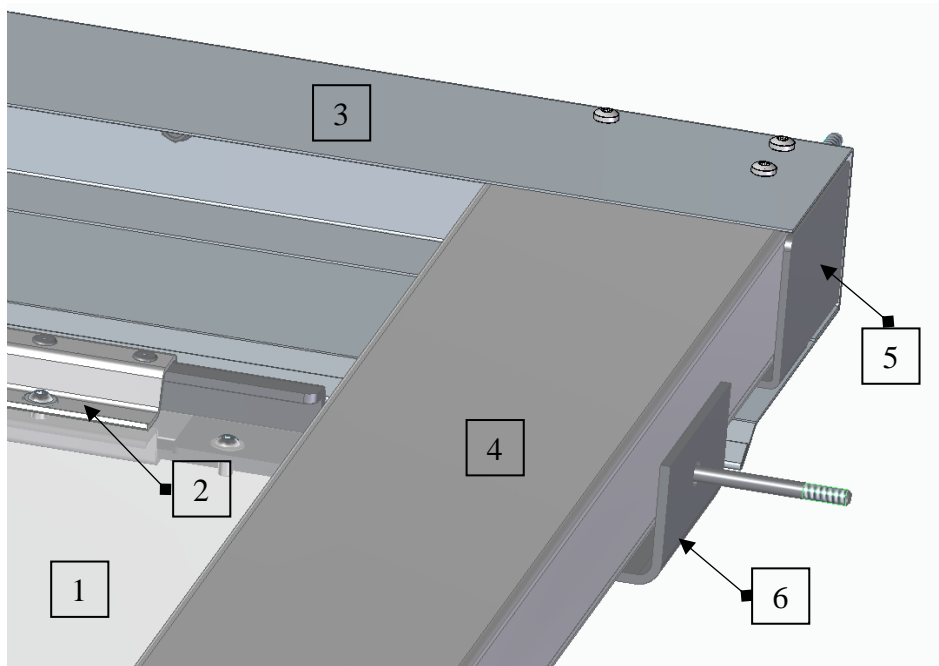
Pro lepší orientaci byla skryta i textilie a strop. Hřídel, které je přiřazena průhledná vizualizace, je vybavena trubkovým elektromotorem. Je zde vidět součástka s modrým povrchem, kterou lze označit jako speciální pružinovou sestavu do teplotně extrémních podmínek. Jedná se o kupovanou součást, která je k mání na zahraničním trhu. Tato součást se značně podílí na usměrnění pohybu textilie uzávěru při zavírání. Pružinová sestava a její význam bude lépe popsán v další části této kapitoly.



Obr. 27: Navíjecí box a jeho okolí

1 – Hřídel, 2 – Trubkový elektromotor, 3 – Horní plech navíjecího boxu, 4 – Pružina, 5 –
Bočnice navíjecího boxu, 6 – Vodítka, 7 – Středová konzole navíjecího boxu

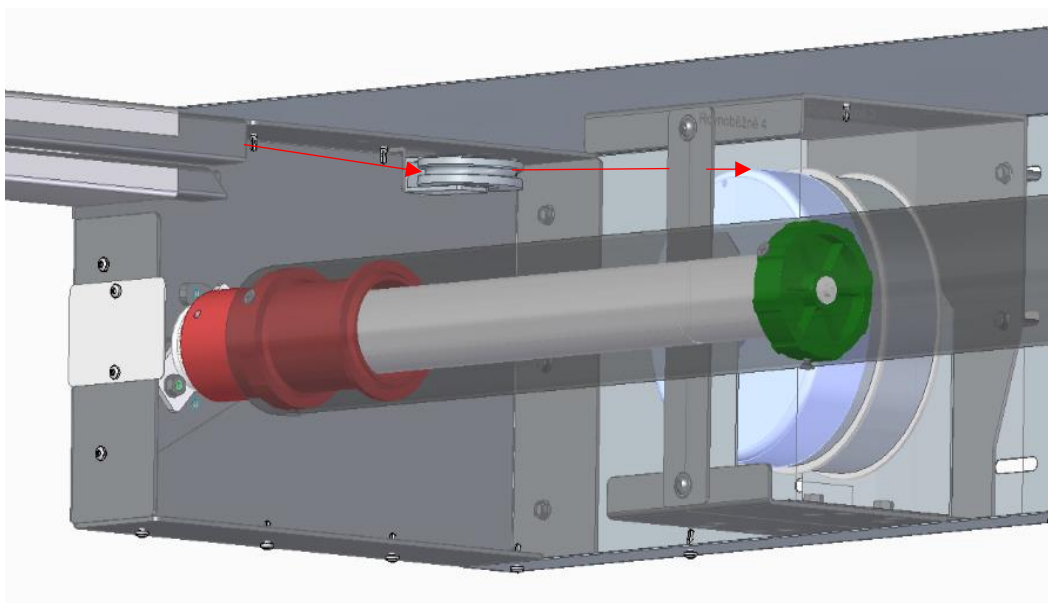
Následující snímek zobrazuje druhou (protější) část uzávěru, kde se nachází koncová lišta a k ní přilehlé díly (Obr. 28).



Obr. 28: Koncová lišta a přilehlé díly

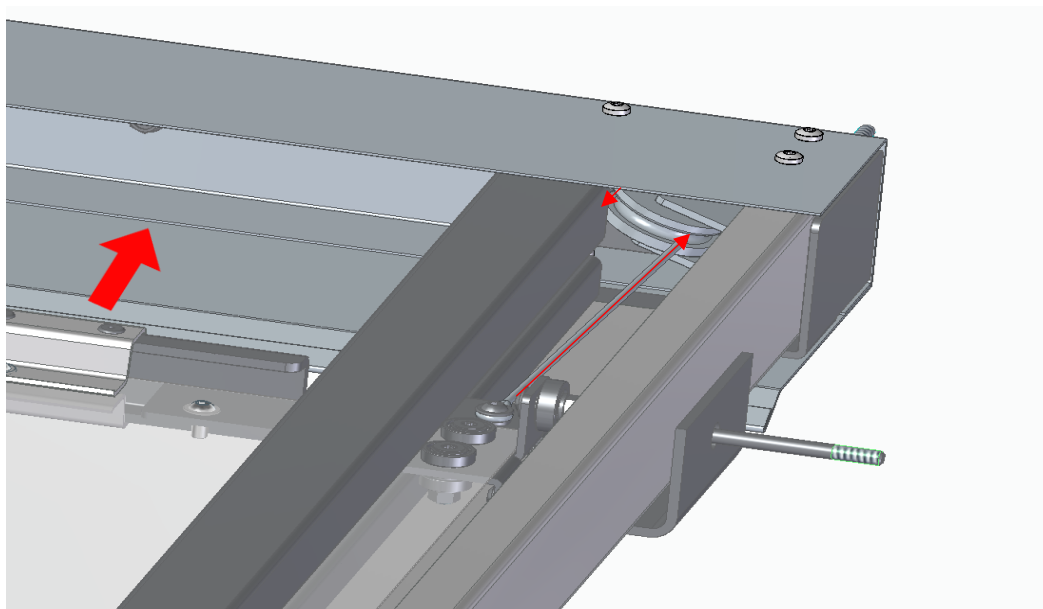
1 – Textilie, 2 – Koncová lišta, 3 – Horní kryt boxu pro koncovou lištu, 4 – Horní kryt vodítka, 5 – Bočnice boxu pro koncovou lištu, 6 – Pomocný prvek pro kotvení uzávěru

Způsob pohybu uzávěru je vymyšlen tak, že je využito instalovaných kladek, které pomocí ocelových lanek přenáší pohyb ze zmiňované pružinové sestavy, které jsou ve stavu otevřeného uzávěru napnuté po obou stranách. Pokud dojde k zavírání uzávěru, elektromotor povolí elektromagnetickou brzdu a pružiny začnou stahovat pomocí kladek a ocelových lanek textílii (resp. její koncovou lištu) tlumeným pohybem, na který má vliv odstředivá brzda motoru. Způsob vedení ocelového lanka, které spojuje pružinu s koncovou lištou textílie pro zavírání a otevírání uzávěru je zobrazeno na dalších obrázcích, kde červené šipky znázorňují pohyb ocelového lanka navíjejícího se na buben pružinové sestavy při stahování textílie uzávěru.



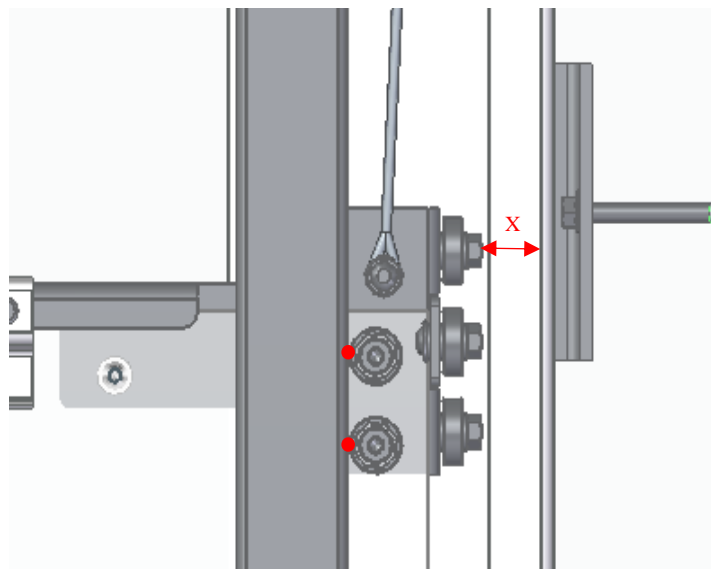
Obr. 29: Vedení lanka navijecím boxem

Vedení lanka je navrženo tak, aby na protější stranu uzávěru vedlo skrze obdélníkový profil (jekl), který je součástí sestavy vodítka. Na (Obr. 30) je vidět připojení lanka ke koncové liště, která je stahována pomocí kladky. Lanko je od bubnu vedeno směrem ke koncové liště horním jeklem. Červené šipky znázorňují pohyb lanka a velká šipka směr pohybu koncové lišty s textilií (uvažuje se stále situace, kdy se uzávěr zavírá). Aby byl vnitřek vodítka možný popsat byl opět jeden z plechů sestavy vodítka skryt.



Obr. 30: Vedení lanka jeklem k boxu koncové lišty

Jak je vidět na předchozím obrázku (Obr. 30), koncová lišta je tvořena soustavou svařených plechů, které po obou svých stranách, jež jsou ve vodičcích, obsahují soustavu kuličkových ložisek, která slouží k usměrnění pohybu ve vodičku. Při tvorbě této části modelu, bylo třeba dbát na to, aby nedocházelo při pohybu koncové lišty ke kolizím a byl zaručen relativně plynulý pohyb. Jednu stranu koncové lišty tedy tvoří tři ložiska ve vodorovné poloze jejich os a další čtyři (dvě nad plechem koncové lišty a dvě pod ním) s osami svislými, tato čtyři ložiska zároveň procházela textilií. Tento celek vytváří jakýsi pojezd ve vodičcích. Zásadní věcí bylo, aby šroubové spoje, které zajišťují ložiska, nepřicházely do kontaktu s protější stěnou plechu sestavy vodička. To bylo zaručeno tím, že vzdálenost čtyř ložisek (s osou ve svislé poloze) od jeklů, byla menší než vzdálenost šroubových spojů zajišťujících ložiska s osou ve vodorovné poloze. Vzdálenost X na (Obr. 31) je vzdálenost šroubových spojů od plechu vodička. Vzdálenost ploch ložisek od jeklů je tak malá (4 mm), že jí nelze zakótovat, proto je vyznačena pouze červenými body.



Obr. 31: Horní pohled na ložiska koncové lišty

Kromě ložisek, která vytváří z koncové lišty jakýsi pojezd vodičky uzávěru, budou umístěna ložiska i do textílie, tak aby nehrozilo vyvlíknutí textílie z vodiček během požární zkoušky. Ložiska budou umístěna v textílii šroubovým spojem obdobně jako ložiska koncové lišty s osami ve svislé poloze, čili jedno ložisko bude nad a jedno pod textílií. Ložiska budou tedy rovněž v bezprostřední blízkosti ke stěně jeklu. Zásadní pro požární zkoušku tohoto prototypu bude rozteč těchto ložiskových spojů. Vzdálenost mezi nimi je odhadována na 400 mm. Se zvětšující se roztečí hrozí vytrhnutí ložisek v textílii z vodiček nebo vznik průrvy vlivem deformace vyvolané tlakem požáru na textílii a její vyboulení a tím přímý nechráněný otvor mezi požárem a chráněným úsekem. Pro

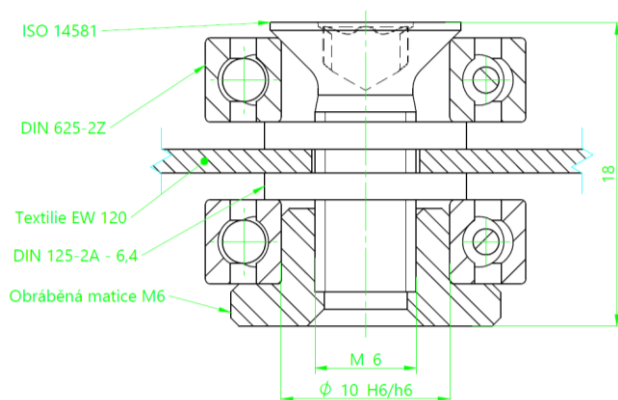
upřesnění je zde ilustrační obrázek (Obr. 32) neznámého požárního uzávěru, kde očividně během zkoušky došlo k vytržení ložiskových spojů z vodítek.



Obr. 32: Vytržení ložisek z vodítka

Takto umístěná ložiska v textilií budou při zavírání uzávěru a rolování textilie na hřídel tvořit zvětšený průměr nábalu. Ideálním případem by bylo, aby byla navržena taková rozteč těchto spojů, tak aby se s každou otáčkou hřídele tyto spoje nesetkávaly ve stejném místě. To však nelze vzhledem k rozměrům sestavy zaručit. Proto byl kladen důraz na to, aby celková výška tohoto spoje byla co nejmenší, a proto byl navržen následující spoj (viz. Obr. 33).

Pro zmenšení výšky ložiskového spoje se místo klasické šestihranné matice použila zápusťná obráběná matice, která je součástí podsestavy na (Obr. 33) a již zhotovena na (Obr. 34).

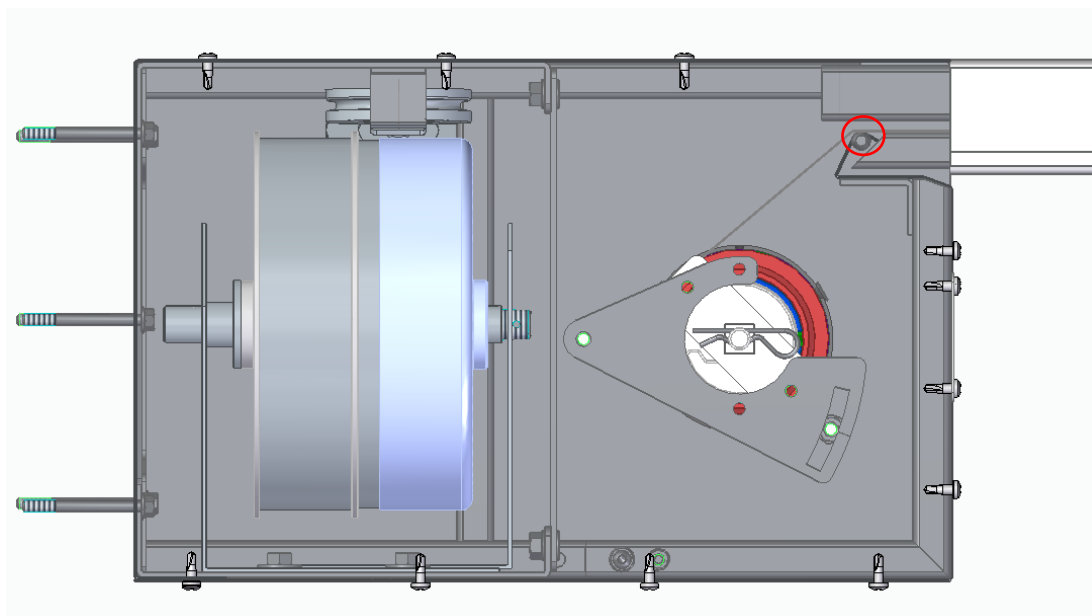


Obr. 33: Ložiskový spoj s obráběnou maticí M6



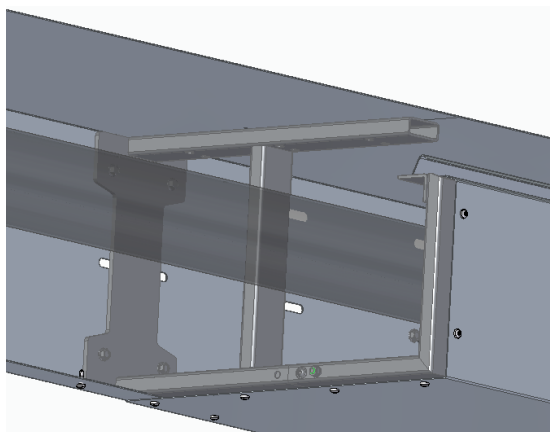
Obr. 34: Obráběné matice M6

Kladen důraz byl také na eliminování ostrých hran, které by mohly narušit textilii při jejím odvíjení, což by bylo při využití v praxi fatální. Na (Obr. 35), je boční pohled na navíjecí box se skrytou bočnicí navíjecího boxu. Je zde vidět textilie, která je odvíjena z hřídele. Textilie je usměrněna ohýbaným plechem, který dosedá na spodní zkosený jekl. Pro úplné zaručení toho, aby nedocházelo ke kontaktu s hranou, je zde k profilu ohýbaného plechu přivařen po obou stranách čep, jehož hlavička zakrývá ostrou hranu plechu (čep vyznačen červeně).

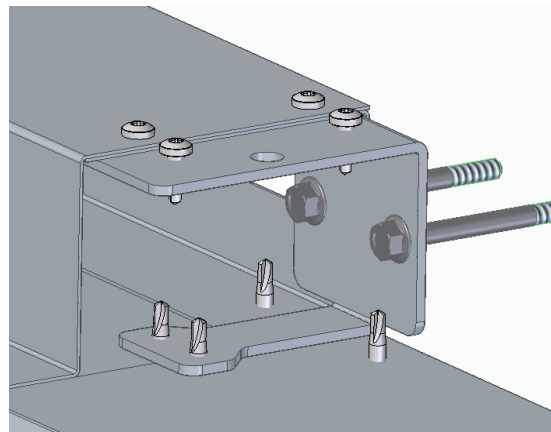


Obr. 35: Boční pohled na navíjecí box se skrytou bočnicí

Za zmínku stojí také svařence, které slouží jako nosný prvky a spojnice plechů boxů. Jeden z těchto svařenců slouží jako nosný prvek u odvíjecího boxu a druhý svařenec je jako nosný prvek boxu koncové lišty. Obecný název pro tyto typy sestav je středová konzole. Středová konzole navíjecího boxu je na (Obr. 36) a středová konzole boxu pro koncovou lištu na (Obr. 37).

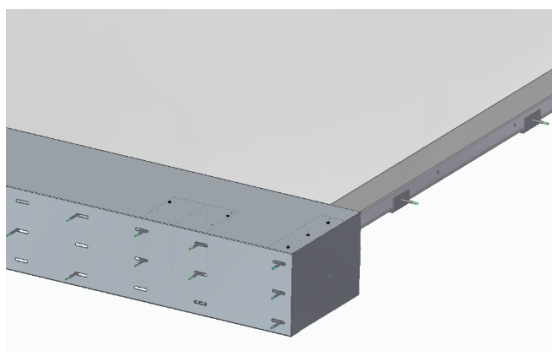


Obr. 36: Středová konzole navíjecího boxu

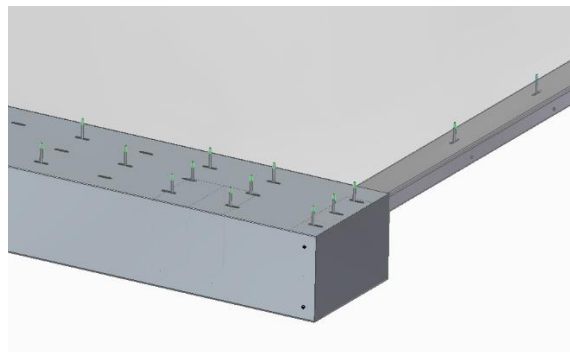


Obr. 37: Středová konzole boxu pro koncovou lištu

Jak již bylo zmíněno například v kapitole 6.2, jednou z podstatných věcí při návrhu prototypu nějakého výrobku je i jeho univerzálnost. V tomto případě se jedná o způsob kotvení, kde existují dva typy. Sestava je navržena tak, aby šlo kotvit do otvoru a i na otvor. Vymyšleno je to tak, že většina prvků sestavy je navržena univerzálně, tak že obsahuje otvory pro kotvení na otvor i do otvoru. Podle způsobu kotvení jsou vytvořeny akorát některé z plechových součástí boxů a vodiček, které sedí jen na příslušný způsob kotvení. Pro větší flexibilitu při kotvení do stavební konstrukce, byly do plechů vytvořeny drážky. Názorné porovnání způsobu kotvení na otvor a do otvoru je na (Obr. 38) a (Obr. 39).



Obr. 38: Kotvení do otvoru



Obr. 39: Kotvení na otvor

V této kapitole se natolik nemluví o rozměrech, neboť stejně jako způsob kotvení jde o jakousi univerzálnost celé sestavy požárního uzávěru. Sestava je koncipována na to, že jí lze vyrobit na míru (na konkrétní rozměr otvoru), aniž by se měnily podstatné díly (Pružiny, kladky, ocelové lanko, bočnice atd.). Uzávěr se přizpůsobuje na konkrétní rozměr tak, že se upravuje pouze rozměr plechů, které tvoří boxy a vodička v závislosti na své symetričnosti dle zmiňované roviny XZ a pak také délka hřídele, kde se v podstatě jedná pouze o trubkový svařenec. Boxy a vodička se velikostně mění pouze ve svém délkovém rozměru v závislosti na rozměru chráněného otvoru, ostatní rozměry boxu zůstávají stejné. Vychází se z možnosti a dostupnosti kupovaných dílů. Například tvarované plechy, lze mnohdy shánět pouze v maximální délce 3 m. Navíc je třeba uvažovat, aby se s díly dobře manipulovalo při montáži. Uzávěr, který je konkrétně na předchozích obrázcích, je vytvořen pro otvor s rozměry 6,0 x 4,6 m, v případě, že se volí konfigurace kotvení na otvor. V případě kotvení toho uzávěru konfigurací do otvoru, by otvor měl mít rozměr 6,5 x 4,9 m. Pochopitelně jsou uvažovány jisté tolerance, které ošetří případné drobné nepřesnosti při montáži. Teoreticky přesný rozměr však musí být ve vzdálenosti mezi vodičky, do kterých se musí nasadit po jejich montáži koncová lišta textilie, která má dle (Obr. 31) z předchozích odstavců pouze 8 mm vůli.

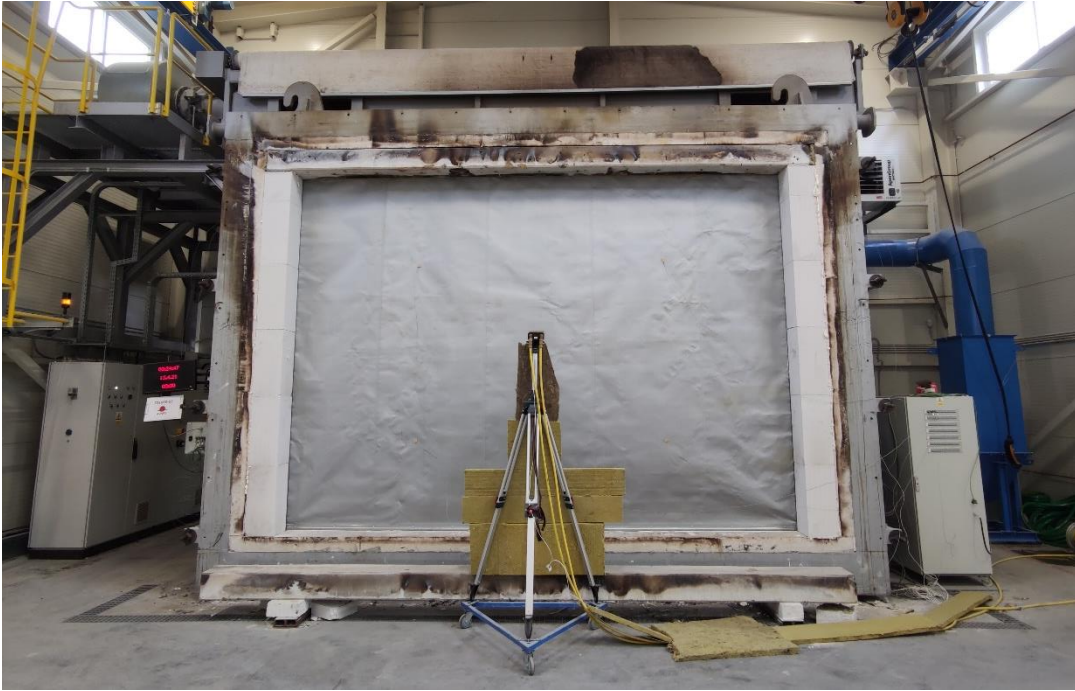
Současný stav tohoto prototypu je takový, že je vytvořen model pro obě konfigurace (na otvor a do otvoru) s regulovatelnými rozměry délek boxů a vodítek v závislosti na velikosti otvoru. Díly, které nejsou normalizované, mají svoji výkresovou dokumentaci. Je vytvořen kusovník normalizovaných a nenormalizovaných součástí a v současné době (30. 6. 2021) probíhá komunikace s několika firmami, kterým je odeslán požadavek na výrobu příslušných součástí jako reakce na jejich cenovou nabídku. Některé součásti jsou již sehnány. Konkrétně se jedná o pružinové systémy, které tu již byly zmíněny. Dále je již k dispozici sada obráběných matic pro ložiskové spoje do textilie a dva obráběné čepy, které budou přivařeny k ohnutému profilu pro zabránění kontaktu textilie s ostrou hranou (možno vidět na předchozím Obr. 35, kde je tento čep zvýrazněn). Tato objednávka mj. proběhla ve spolupráci s Bc. Adolfem Valáškem, který je rovněž studentem Fakulty strojní ČVUT v Praze. Textilie, hřídel a příslušenství pro její uložení je dostupné ve firmě AVAPS s. r. o.

Celá konstrukce obsahuje nespočet prvků, které nebyly výše popsány. Těmito prvky jsou různé plechy a jejich sestavy (svařence nebo sešroubované díly). Dále je zde mnoho spojovacích materiálů. I když realizace prototypu zabrala podstatnou dobu tvorby diplomové práce, není tato část pro tuto práci ta nejpodstatnější, neboť požární zkouška, simulace a ostatní výpočty probíhaly čistě pro textilií, a to ještě ve vertikální poloze, neboť ve firmě AVAPS s. r. o., kde probíhala zkouška, je pec s možnostmi zkoušky vertikálních produktů. Z tohoto důvodu zde nejsou umístěny vytvořené výkresové dokumentace jednotlivých nenormovaných dílů a jejich sestav, stejně tak zde není uveden postup montáže. Dalším důvodem, proč zde nejsou umístěny výkresy, montáž a také seznam všech použitých dílů, je ten, že se zároveň jedná o jisté obchodní tajemství, jelikož prototyp je navrhován jako potenciální produkt firmy AVAPS s. r. o., který má ambice na to projít akreditovanou zkouškou a jít do výroby.

11 Požární zkouška textilie pro uzávěry EW 120

V této části bude popsán průběh požární zkoušky dle ČSN EN 1634-1+A1 [23] samotné textilie navržené (a běžně používané) pro požární uzávěry s mezními stavy EW s požární odolností 120 minut (čili EW 120). Tloušťka testované textilie byla 0,7 mm a jedna její strana obsahovala hliníkovou fólii. Požární zkouška probíhala v požární zkušební laboratoři firmy AVAPS s. r. o. Textilie, byla ukotvena do připraveného otvoru

z tvárnice pro obvodové zdivo (Ytong) s rozměrem otvoru 4,5 x 3,3 m stranou, již obsahovala hliníkovou fólii směrem do pece. Primárním cílem zkoušky bylo naměřit průběh hodnot teploty na vnější straně textilie v závislosti na čase pomocí pěti upevněných plášt'ových termočlánků typu K a dále změřit průběh sálavého toku v čase pomocí radiometru SBG01 umístěného ve vzdálenost 1 m od povrchu textilie. Z těchto hodnot se bude dále vycházet při výpočtech přenosu tepla a pro CFD simulace v dalších kapitolách.



Obr. 40: Požární zkouška EW textile

Na (Obr. 40) je vidět přichystaný vzorek s měřicími přístroji těsně před spuštěním požární zkoušky dle ČSN EN 1634-1+A1 [23]. I když to na příslušném snímku není tolik vidět, na vnější textilií je umístěno pět termočlánků. Jeden v samotném geometrickém středu a další 4 jsou umístěny do středů úseček spojující střed s vrcholy pomyslného obdélníku. Na radiometr jsou z důvodu bezpečnosti při případné manipulaci s radiometrem během zkoušky umístěny izolační desky. Izolační desky jsou zde umístěny i z důvodu ochrany samotného radiometru a hadiček pro cirkulaci vody v radiometru.

Průběh zkoušky trval předpokládaných 120 minut bez narušení celistvosti textilie (E). Pro úplnou kontrolu byly použity i speciální válečkové měrky, které nesmí jít prostrčit případným viditelným vzniklým otvorem dle ČSN EN 1363-1 [25]. Měrka po celou dobu zkoušky nešla prostrčit. Zároveň byla použita i vata, která byla pomocí speciální tyče s úchytem pro vatu umístěna do bezprostřední blízkosti k textilií ve

viditelně kritických místech, kde by teoreticky mohlo hrozit vzplanutí vaty a tím narušení celistvosti E dle příslušné normy. To se však nestalo, tudíž lze konstatovat, že textilie obstála na celistvost.

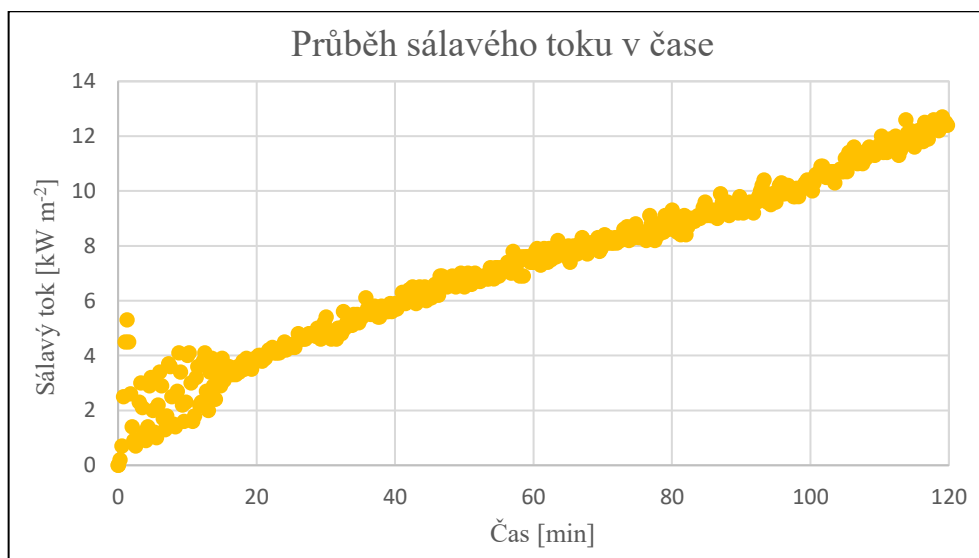


Obr. 41: Požární zkouška – 115. minuta.

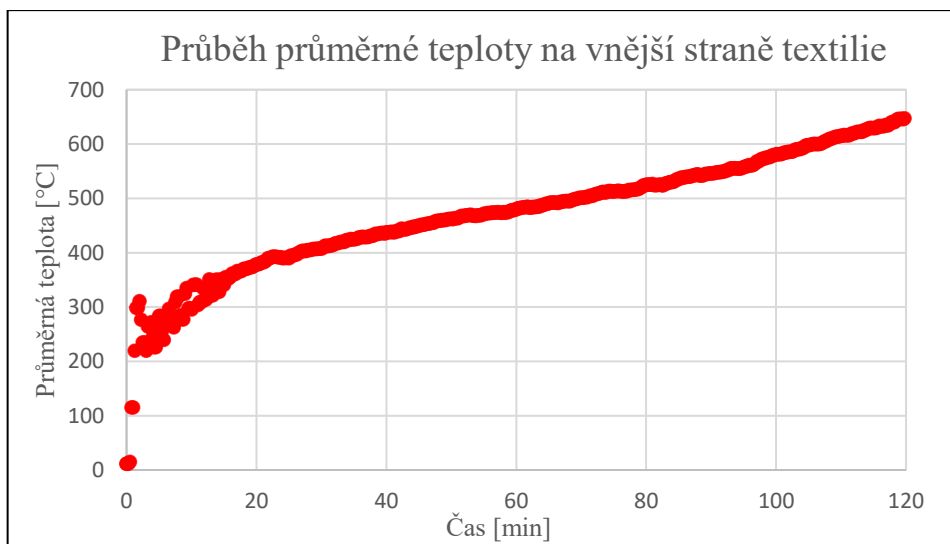


Obr. 42: Přiložení vaty pro měření celistvosti ve 104. minutě zkoušky

Zkouška byla ukončena lehce po 120. minutě od jejího zahájení. Výstupem byl průběh průměrné teploty na vnějším povrchu textilie a průběh sálavého toku ve vzdálenosti 1 m, který dle normy nesměl přesáhnout hodnotu 15 kW m^{-2} . Průběh hodnot byl zaznamenáván každých 15 sekund do tabulek, ze kterých vychází (Obr. 43) a (Obr. 44) vytvořené v MS Excel.



Obr. 43: Průběh sálavého toku radiometru v čase



Obr. 44: Průběh průměrné teploty textilie na vnější straně

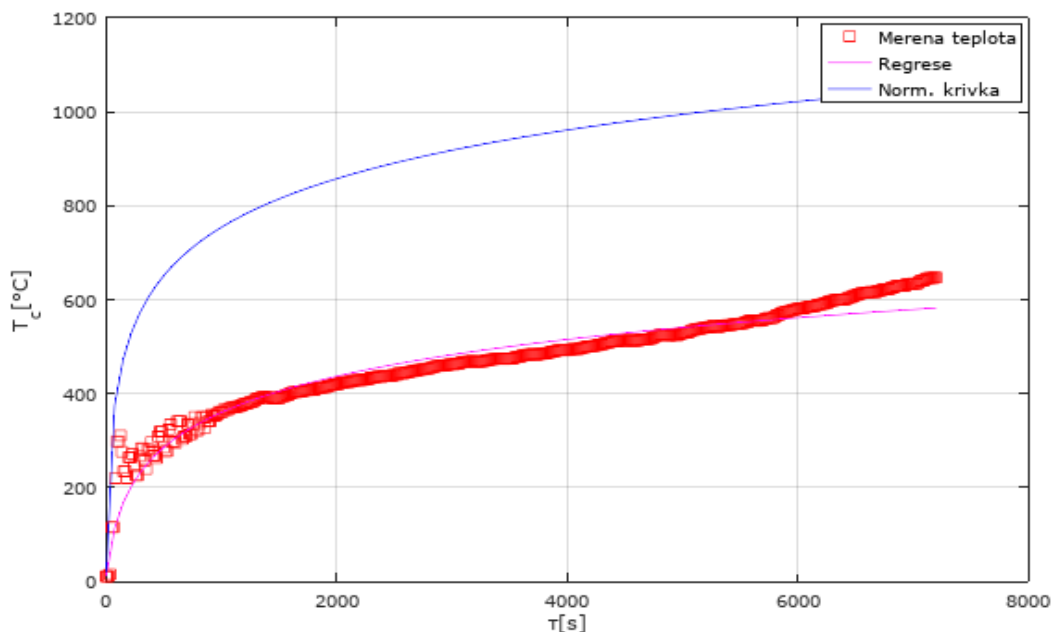
Z grafu průběhu sálavého toku (Obr. 43) je patrné, že hodnota sálavého toku nepřesáhla hranici 15 kW m^{-2} . Požární uzávěr tedy splnil mezní stav radiace (W) po dobu 120 min. Je vidět, že funkce mají v počáteční fázi oscilační průběh, ten je způsobený hořáky, které jsou naprogramovány, tak aby přizpůsobovaly svůj výkon dle normované teplotní křivky, která udává teplotu v peci, hořáky mají tendenci v počáteční fázi při vychýlení se od nominálních hodnot teploty v peci ubrat svůj výkon a takto to opakovat, tím vzniká počáteční oscilační průběh funkcí teploty i na vnější straně textilie a sálavého toku na radiometru, který je závislý na teplotě se čtvrtou mocninou. Během zkoušky byly regulovány hodnoty horního přetlaku na 20 Pa. I když bylo primární cílem pouze získat data průběhu teploty a radiace, lze konstatovat, že textilie vyhověla požární zkoušce pro mezní stavy E a W po dobu 120 min (EW 120) dle ČSN EN 13 501-2 [1]. Nutno dodat, že požární odolnost byla již předem odhadována bez narušení příslušných mezních stavů po dobu 120 min, jelikož je tento typ textilie již standardně používán pro výrobky s odolností EW 120.

Kvůli dalším výpočtům a CFD simulaci bylo potřeba stanovit rovnici průběhu průměrné teploty v čase. Vzhledem k tomu, že se teplota v peci řídí normovanou teplotní křivkou, která má logaritmický průběh (a zároveň je vidět na Obr. 44, že se jedná o logaritmický průběh), vycházelo se pro teplotu na vnější straně z rovnice s obdobným předpisem jako má normovaná teplotní křivka (viz. kapitola 7.3, vztah (1)). Dále bylo třeba zajistit, aby hledaný vztah zaručil, že v čase 0 sekund bude odpovídat hodnotě okolní teploty, což bylo stanoveno dle připevněných termočlánků (a jejich průměrné hodnotě) těsně před začátkem zkoušky (tedy v čase 0 sekund), která byla rovna hodnotě

$T_0 = 11,14 \text{ } ^\circ\text{C}$. Hledaný výraz průběhu teploty na vnější straně textilie v čase byl dán vztahem (20).

$$T(\tau) = T_0 + b_1 \log_{10}(b_2\tau + 1) \quad [^\circ\text{C}] \quad (20)$$

Pro tento vztah se teplota T uvažuje v $[^\circ\text{C}]$ a čas τ je převeden na $[\text{s}]$. Pro výpočet a odvození konstant b_1 a b_2 byl použit výpočetní program Octave. (Obr. 45) obsahuje: červeně – naměřené hodnoty teploty textilie na vnějším povrchu z požární zkoušky, fialově – proložená regresní křivka, modře – normovaná teplotní křivka v peci pro srovnání.



Obr. 45: Naměřené hodnoty a proložená křivka teploty na vnější straně textilie v Octave

Hodnoty, ze kterých se vycházelo při tvorbě kódu, byly hodnoty ze souboru exportovaných dat z požární zkoušky. Pro dodefinování některých funkcí byly použity rozšířené balíčky s kódy pro Octave. Výsledné konstanty b_1 a b_2 jsou následující:

$$b_1 = 265,09 \pm 8,51 \quad [^\circ\text{C}, \text{K}]$$

$$b_2 = 0,019693 \pm 0,002678 \quad [\text{s}^{-1}]$$

Pro ukázkou je zde kód, kde text za symbolem % je příslušný komentář, který nemá vliv na kód.

```

function [] = n3b()

Tk = 273.15; % Pro přepočítání na [°C]

d = load('Tsout.dat');
t = d(:,2); % čas [s]
T = d(:,3)-Tk; % převod teploty na [°C]
T0 = T(1)

Tsfun = @(b,t) 11.14 + b(1)*log10(b(2)*t+1); % obdobná funkce jako norm.
b = nlinfit2(t,T,Tsfun,[174 1]) % teplotní křivka

ts = linspace(min(t),max(t)+1,100)';
Ts = Tsfun(b,ts);

fTnorm = @(t) 20 + 345*log10(8*t+1); % předpis norm. tep. křivky
Tn = fTnorm(ts/60); % ts/60 pro přepočítání na min.

figure(1);
plot(t,T,'rs', ts,Ts,'m', ts,Tn,'b'); % graf
xlabel('\tau[s]'); % osa x
ylabel('t[°C]'); % osa y
legend('Merena teplota', 'Regrese', 'Norm. krivka');
grid on;

```

12 Korelace Nusseltova čísla přirozené konvekce pro výpočet součinitele přestupu tepla na vnější straně textilie

Jedním z důležitých parametrů popisujících přenos tepla je součinitel přestupu tepla. Jedním z cílů této práce je stanovit součinitel přestupu tepla na vnější straně textilie. Ten lze stanovit pomocí korelace Nusseltova čísla přirozené konvekce s uvažováním textilie jako svislé stěny s využitím dalších bezrozměrných čísel, látkových vlastností vzduchu a s využitím naměřených teplot z požární zkoušky z kapitoly 11.

12.1 Definice korelace Nusseltova čísla přirozené konvekce pro svislou stěnu

Tato korelace je založena na několika bezrozměrných číslech. Nusseltovo číslo Nu , ukazuje poměr mezi konvektivním a konduktivním přenosem tepla na rozhraní mezi stěnou a okolní tekutinou. Nusseltovo číslo je definováno vztahem (21), kde α [$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$] je součinitel přestupu tepla probíhané přirozené konvekce mezi stěnou a obtékanou tekutinou, L_{ch} [m] je charakteristický rozměr a λ [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$] je součinitel tepelné vodivosti příslušné tekutiny. [48]

$$\text{Nu} = \frac{\alpha L_{ch}}{\lambda} \quad (21)$$

Dalším bezrozměrným číslem potřebným k výpočtu korelace pro přirozenou konvekci, je Prandtlovo číslo, což je poměr mezi přenosem hybnosti a tepla na molekulární úrovni. Prandtlovo číslo je definováno vztahem (22), kde c_p [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$] je měrná tepelná kapacita tekutiny, η [Pa s] dynamická viskozita tekutiny a λ [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$] je součinitel tepelné vodivosti příslušné tekutiny. [48]

$$\text{Pr} = \frac{\eta c_p}{\lambda} \quad (22)$$

Vyjádření poměru vztakových a třecích sil udává Grashofovo číslo, které je také bezrozměrné. Vztah pro jeho výpočet je definován dle (24), kde g [m s^{-2}], je tíhové zrychlení (obvykle kolem $9,807 \text{ m s}^{-2}$). β [K^{-1}] je součinitel teplotní objemové roztažnosti tekutiny, který je pro ideální plyn převrácenou hodnotou teploty tekutiny. T_w [K] je povrchová teplota stěny a T_f je teplota okolní tekutiny [K]. L_{ch} [m] je již definovaný charakteristický rozměr stěny. ν [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$] je kinematická viskozita tekutiny. [48]

$$\text{Gr} = \frac{g \beta (T_w - T_f) L_{ch}^3}{\nu^2} \quad (22)$$

Dalším bezrozměrným číslem, které je spojeno s přirozenou konvekcí, je Rayleighovo číslo. Hodnota tohoto čísla definuje režim proudění. Mezi hodnotami Rayleighova čísla – 10^4 až 10^9 , se jedná o laminární režim. Mezi hodnotami 10^9 až 10^{13} , se jedná o turbulentní režim. Toto číslo je součinem Grashofova a Prandtlova čísla (23). [48]

$$\text{Ra} = \text{Gr Pr} \quad (23)$$

To se dá dále poupravit pomocí vyjádření příslušných bezrozměrných čísel a dosazení vztahu mezi dynamickou a kinematickou viskozitou, kde ρ [kg m^{-3}] je hustota tekutiny.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad [\text{m}^2 \text{s}^{-1}] \quad (24)$$

Upravený vztah pro Rayleighovo číslo je dán dle (25).

$$\text{Ra} = \frac{g \beta (T_w - T_f) L_{ch}^3 \rho c_p}{\nu \lambda} \quad (25)$$

Výše uvedené veličiny látkových vlastností tekutiny (λ , c_p , η , ν , β), se dosazují pro hodnoty průměrné teploty T_p [K] mezi stěnou a tekutinou, tedy podle vztahu (26). [49]

$$T_p = \frac{T_w + T_f}{2} \quad [\text{K}] \quad (26)$$

Následující vztahy definují korelace Nusseltova čísla pro přirozenou konvekci svislé stěny, přičemž v závislosti na hodnotách Ra vztah (27) odpovídá turbulentnímu režimu proudění tekutiny a vztah (28) laminárnímu režimu. Korelace je určena pro zprůměrovanou hodnotu Nusseltova čísla $\overline{\text{Nu}}$, přes celou teplosměnnou plochu. [49]

$$\overline{\text{Nu}} = 0,10 \text{ Ra}^{\frac{1}{3}} \quad \textit{Turbulentní režim} \quad (27)$$

$$\overline{\text{Nu}} = 0,59 \text{ Ra}^{\frac{1}{4}} \quad \textit{Laminární režim} \quad (28)$$

Pomocí Nusseltova čísla lze jednoduše stanovit součinitel přestupu tepla $\bar{\alpha}$ získaný korelací Nusseltova čísla přirozené konvekce svislé stěny dle (29). [49]

$$\bar{\alpha} = \frac{\overline{\text{Nu}} \lambda}{L_{ch}} \quad [\text{W m}^{-2} \text{ K}^{-1}] \quad (29)$$

12.2 Výpočet součinitele přestupu tepla pomocí korelace Nusseltova čísla pro svislou stěnu na vnější straně textilie EW 120

Pro přiblížení se k teoreticky přesným výsledkům, bylo nejprve potřeba definovat látkové vlastnosti tekutiny – vzduchu, u kterých je třeba si uvědomit, že nejsou konstantní, ale jsou funkcí teploty a tlaku. Bohužel právě kvůli obrovské teplotní změně, která během požární zkoušky nastává, se dá očekávat, že se hodnoty látkových vlastností vzduchu budou silně měnit s teplotou. Pro látkové vlastnosti byly definovány polynomické funkce, které jsou funkcí teploty. Polynomické funkce byly vytvořeny v programu MS Excel proložením polynomické regrese a vypsání příslušné rovnice. Hodnoty látkových vlastností, vychází z tabulek látkových vlastností vzduchu dle [50], kde byly výsledky dosazováním různých teplot do polynomů porovnávány s hodnotami dle [51]. Byly použity polynomy druhého řádu. Polynom druhého řádu pro obecnou

veličinu Y , teplotu T [K] a koeficienty A_0 , A_1 , A_2 je dán vztahem (30). Hodnoty příslušných koeficientů, které odpovídají příslušné veličině, jsou níže v (Tab. 3).

$$Y \approx A_0 + A_1 T + A_2 T^2 \quad (30)$$

Tab. 3: Tabulka polynomů

Veličina	A_0	A_1	A_2
Měrná tepelná kapacita – c_p [J kg ⁻¹ K ⁻¹]	957,773	0,11952	$6,53 \cdot 10^{-5}$
Součinitel tepelné vodivosti – λ [W m ⁻¹ K ⁻¹]	$1,2046 \cdot 10^{-3}$	$9,1361 \cdot 10^{-5}$	$- 2,6 \cdot 10^{-8}$
Prandtlovo číslo – Pr [-]	0,816178	$- 5,033 \cdot 10^{-4}$	$4,62210^{-7}$
Dynamická viskozita – η [Pa s]	$2,63740 \cdot 10^{-5}$	$- 1,8443 \cdot 10^{-7}$	$5,1179 \cdot 10^{-10}$
Kinematická viskozita – ν [m ² s ⁻¹]	$- 8,6352 \cdot 10^{-6}$	$6,7482 \cdot 10^{-8}$	$7,51 \cdot 10^{-11}$

Tento způsob hledání polynomů byl zvolen právě proto, jelikož se výpočty pohybují ve velkém teplotním rozsahu a v případném hledání již definovaných polynomů z různých vědeckých článků nastává problém se značně omezeným rozsahem platnosti. Polynomy byly tvořeny, aby jejich hodnoty přibližně odpovídaly dané veličině pro teploty v rozsahu 275 až 900 K.

Výpočet součinitele přestupu tepla pomocí příslušné korelace proběhl v programu Octave v závislosti na průběhu teploty vnější strany textilie dle výstupu požární zkoušky textilie EW 120. Výpočty byly nejprve ověřeny v programu MS Excel. Právě z tabulkových výpočtů bylo zjištěno, že hodnota Rayleighova čísla se po celou dobu pohybovala v oblasti turbulentního režimu (konkrétně se Ra pohybovalo v intervalu 10^9 až 10^{11}), to znamenalo, že výpočet Nusseltova čísla pro korelaci proběhl dle zmíněného vztahu (27) z předchozí kapitoly. Látkové vlastnosti byly uvažovány v závislosti na průměrné teplotě T_p [K] v daném okamžiku požární zkoušky dle vztahu (31) s využitím definovaných polynomů z (Tab. 3), který pro konkrétní časovou jednotku odpovídá vztahu (26) z předchozí kapitoly.

$$T_p(\tau) = \frac{T_w(\tau) + T_f}{2} \quad [\text{K}] \quad (31)$$

Kde T_w [K] je měřená teplota vnější strany textilie z požární zkoušky v závislosti na čase τ [s]. T_f [K] je teplota okolního vzduchu, která je uvažována jako neměnná a je rovna 284,29 K (viz. kapitola 11 – požární zkouška a počáteční hodnota 11,14 °C). Pro

výpočet součinitele teplotní objemové roztažnosti β [K⁻¹], se vzduch uvažuje jako ideální plyn, takže jeho hodnoty v čase se uvažují jako převrácené hodnoty průměrné teploty dle vztahu (32).

$$\beta(\tau) = \frac{1}{T_p(\tau)} \quad [\text{K}^{-1}] \quad (32)$$

Pro získání střední hodnoty z bodového průběhu součinitele přestupu tepla v závislosti na čase, byl zaveden integrální vztah (33).

$$\bar{\alpha}_s = \frac{1}{\tau_n - \tau_1} \int_{\tau_1}^{\tau_n} \bar{\alpha} d\tau \quad [\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}] \quad (33)$$

Kde τ_1 [s] a τ_n [s] je první a poslední časový záznam z požární zkoušky, kterým odpovídá příslušná hodnota součinitele přestupu tepla. Kde τ_1 má nulovou hodnotu, neboť první údaj byl zaznamenán v čase 0 sekund.

Příslušný kód uvedený níže, čerpá hodnoty z datového souboru *Tsout.dat*, který obsahuje naměřené hodnoty z požární zkoušky. Zelený text za symboly % opět slouží jako komentář pro lepší orientaci v kódu a nemá vliv na samotný kód.

```
function [] = n5b()

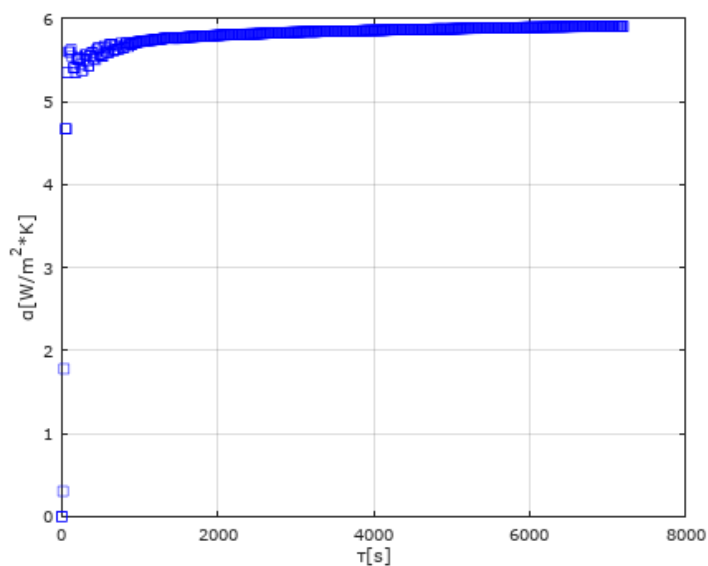
d = load('Tsout.dat');
tau = d(:,2);           % Čas [s]
T = d(:,3);           % Teplota textilie v čase [K]
T_okoli = 284.29;     % Konstatní teplota okolí [K]
g=9.807;             % Tíhivé zrychlení Země[m/s^2]
T_prum = (T + T_okoli)/2; % Průměrná teplota pro výpočet [K]
T_delta = T - T_okoli; % Rozdíl teplot pro výpočet Ra [K]
L_ch = 3.3;          % Charakterisrický rozměr - výška textilie [m]
tau_1 = d(2,2);      % První časový údaj [s]
tau_n = d(end,2);    % Poslední časový údaj [s]

kin_viskozita=-8.6352*(1e-6)+6.7482*(1e-8)*(T_prum)+7.51*(1e-11)*(T_prum.^2);
beta=1./T_prum;
Pr=0.816178-5.033*(1e-4)*T_prum+4.622*(1e-7)*(T_prum.^2);
Ra=(g*beta.*T_delta*L_ch^3.*Pr)./(kin_viskozita.^2);
Nu=0.1*Ra.^(1/3);
lambda=1.2046*(1e-3)+9.1361*(1e-5)*(T_prum)-2.6*(1e-8)*(T_prum.^2);
alfa= Nu.*lambda/L_ch;

figure(1);
plot(tau,alfa,'bs');
xlabel('\tau[s]');
ylabel('\alpha[W/m^2*K]');
grid on;

z=trapez(tau,alfa)/(tau_n-tau_1) % Integrace
```

Výsledné grafické znázornění bodového průběhu hodnot součinitele přestupu tepla na vnější straně zkoušené textilie je dán příslušným (Obr. 46).



Obr. 46: Průběh součinitele přestupu tepla Nusseltovy korelace

Po integraci toho průběhu dle vztahu (33) byla stanovena střední hodnota součinitele přestupu tepla na vnější straně textilie dle Nusseltovy korelace pro svislou stěnu.

$$\bar{\alpha}_s^{kor} = 5,7830 \text{ [W m}^{-2} \text{ K}^{-1}]$$

Je třeba zmínit, že korelace Nusseltova čísla byla provedena v závislosti na datech ze zkoušky požární odolnosti z kapitoly 11, která proběhla ve svislé poloze textilie, a kvůli tomu byla použita korelace pro svislou stěnu s příslušným koeficientem $C = 0,10$ pro turbulentní režim proudění dle vztahu (27), neboť rozsah Ra se pohyboval v intervalu 10^9 až 10^{11} . Pokud by byla korelace Nusseltova čísla aplikována na navržený model horizontálního požárního uzávěru, kde by se uvažoval požár pod uzávěrem, tak by dle [49] měl pro turbulentní proudění s rozsahem platnosti dle Ra v rozmezí 10^7 až 10^{11} koeficient hodnotu $C = 0,15$. Pokud by se uvažoval stejný průběh Rayleighova čísla v čase, tedy stejné látkové vlastnosti, stejné teplotní rozdíly a stejná hodnota charakteristického rozměru, tak by teoreticky z poměru těchto koeficientů vycházelo, že by součinitel přestupu tepla byl v čase 1,5 krát větší pro horizontální uzávěr oproti svislé poloze uzávěru.

13 Popis měření emisivity a součinitele tepelné vodivosti textilie pro požární uzávěr EW 120

Pro simulace v programu ANSYS Fluent, které budou představeny v následujících kapitolách, bylo třeba vyhodnotit některé materiálové vlastnosti, které budou využity při simulaci přenosu tepla. Konkrétně se jednalo o emisivitu lesklé strany textilie (s hliníkovou fólií) a emisivitu matné strany textilie. Dále proběhlo měření součinitele tepelné vodivosti textilie. Měření těchto veličin proběhlo v laboratoři Ústavu procesní a zpracovatelské techniky.

Měření emisivity proběhlo pomocí komparativní metody tak, že se měřila teplota vzorku pomocí digitálního teploměru Pt1000 a zároveň byla na vzorek nastavena i termokamera MicroEpsilon TIM 160. Na termokameře se dala nastavovat emisivita, ta byla nastavována od hodnoty 1 do té doby, dokud se neshodovaly hodnoty teploty na teploměru Pt1000 a na termokameře. Byla stanovena hodnota emisivity lesklejší strany textilie s hliníkovou fólií, která směřuje do pece, aby odrážela sálavý tok požáru, kde byla naměřena hodnota emisivity 0,5. Druhá (matné) strana textilie, která je umístěna od požáru pryč, dosáhla hodnoty měření emisivity 0,91. Měření emisivity proběhlo v laboratoři Ústavu procesní a zpracovatelské techniky pod dohledem Ing. Stanislava Solnaře.

Měření součinitele tepelné vodivosti bylo provedeno pomocí zařízení Kemtherm QTM-D3, kde byla textilie jako vzorek nastříhána a poskládána na sebe, tak aby tvořila silnou izolující vrstvu. Na tuto vrstvu byla umístěna měřící plocha, která postupně ohřívala měřenou vrstvu poskládané textilie až na teplotu 35 °C, a zařízení následně vyhodnotilo odpovídající součinitel tepelné vodivosti. Po sérii několika měření (viz. Tab. 4) byla v programu Octave stanovena střední hodnota součinitele tepelné vodivosti textilie $1,0167 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (pro úplnost byl vyhodnocen i konfidenční interval a výsledkem tedy je $1,0167 \pm 0,0262 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$). Z měření součinitele tepelné vodivosti byl pořízen i snímek (Obr. 47), kde je vidět, že poskládaná textilie byla zatížena pomocným těžítkem, které bylo při ruce v laboratoři, aby mezi jednotlivými vrstvami nevznikala vzduchová mezivrstva, která by mohla mít vliv na výsledek. Jednotlivá měření probíhala s jistým časovým odstupem, aby došlo k vychlazení na teplotu okolí.

Tab. 4: Měření součinitele tepelné vodivosti textilie při 35°C

λ [W m ⁻¹ K ⁻¹] při 35 °C				
1.078	1.085	0.9452	0.9636	0.9982
1.072	1.017	0.9324	1.012	1.033
1.123	0.9708	1.024	1.011	0.9873
1.048	1.119	0.977	0.9895	0.9477



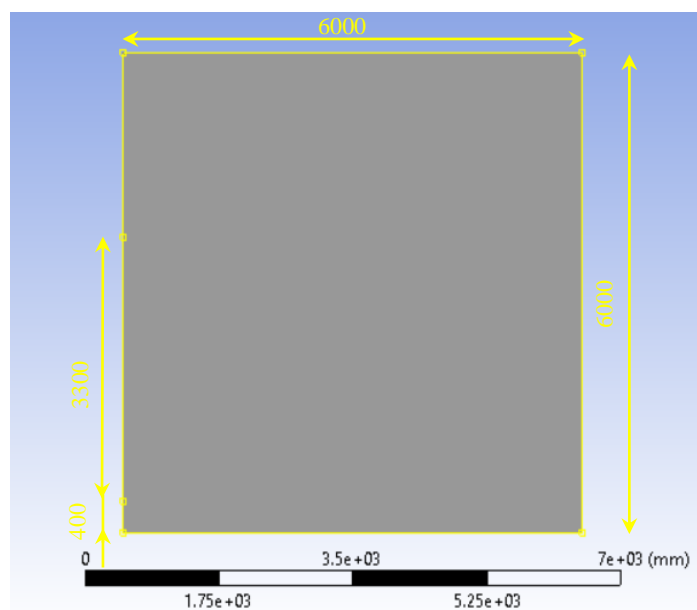
Obr. 47: Měření součinitele tepelné vodivosti

14 Modelování s využitím CFD v programu ANSYS

Jedním z dalších přístupů pro modelování přenosu tepla textilií požárního uzávěru EW 120, bylo modelování s využitím programu ANSYS. Pro modelování byl využit program verze ANSYS 2021 R1 s využitím programu Design Modeler, který je součástí balíčku ANSYS. V Design Modeleru byla vytvořena jednoduchá 2-D geometrie, která demonstrovala průřez prostorem, do kterého pronikají tepelné ztráty skrze textilii. V další etapě byla vytvořena síť na již vytvořené geometrii, která je pak použita při diskretizaci řešení rovnic v programu Fluent. Program Fluent používá při řešení metodu konečných objemů a je nutné v něm nastavit řadu parametrů, počínaje materiálovými vlastnostmi, přes okrajové a počáteční podmínky atp. Po provedení simulace byl výstup získaných hodnot v datovém souboru zpracován v programu Octave.

14.1 Modelování v programu Design Modeler

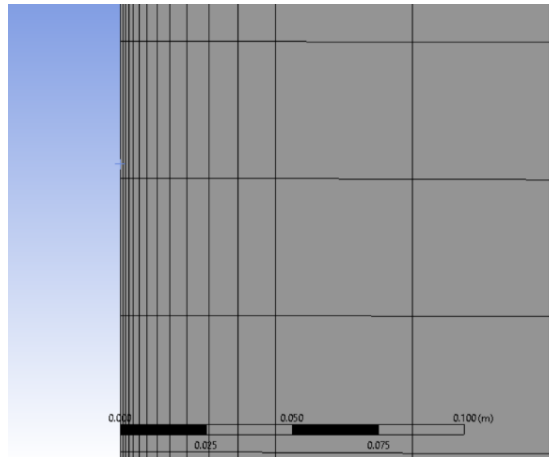
V první řadě bylo třeba vytvořit model, představující geometrii domény, kde budou řešeny příslušné rovnice. Po konzultaci ohledně přístupu k modelování tohoto problému, byl zvolen co nejjednodušší model tvořený 2-D povrchem. Přístup pro 2-D modelování vycházel z toho, že teplota, která byla měřena na povrchu textilie při požární zkoušce z kapitoly 11, se uvažuje pro výpočty a modelování v daný okamžik po celém svém povrchu stejná, a to rovna průměrné teplotě z hodnot, které měřilo pět umístěných termočlánků. Model byl uvažován, jako průřez povrchu textilie a prostorem před pecí, do kterého unikalo teplo skrze textilií vlivem ztrát. Jednoduchý model tvořil čtverec s rozměry 6 x 6 m. Na straně, kde se uvažuje textilie, byly zavedeny úsečky s rozměry výšky textilie v požární laboratoři. Textilie byla uvažována ve výšce 400 mm s výškovým rozměrem 3300 mm. Zavedené úsečky byly vytvořeny kvůli definování stěn a výstupů pro modelování v programu Fluent. (Obr. 48)



Obr. 48: Model v Design modeleru

14.2 Tvorba sítě (Meshing)

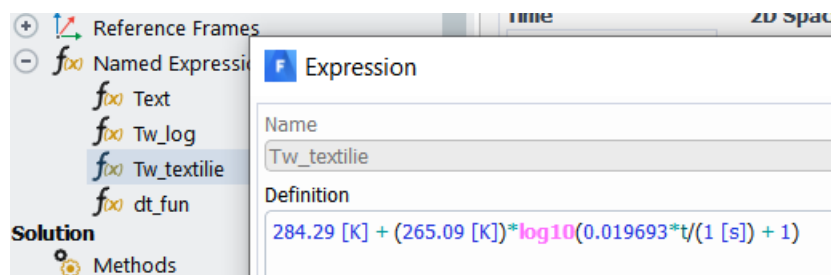
Pro simulování v programu Fluent bylo třeba vytvořit vhodnou síť. Velikost čtvercových elementů, které definují síť, byla nastavena na hodnotu 40 mm. V místě, kde se očekávaly vysoké teplotní změny, bylo zavedeno postupné zjemnění směrem ke stěně pomocí nástroje *inflation*. Zjemnění bylo definováno po celém obvodu modelu. Detail sítě a jejího zjemnění je na (Obr. 49).



Obr. 49: Detail sítě

14.3 Nastavení parametrů v aplikaci Fluent

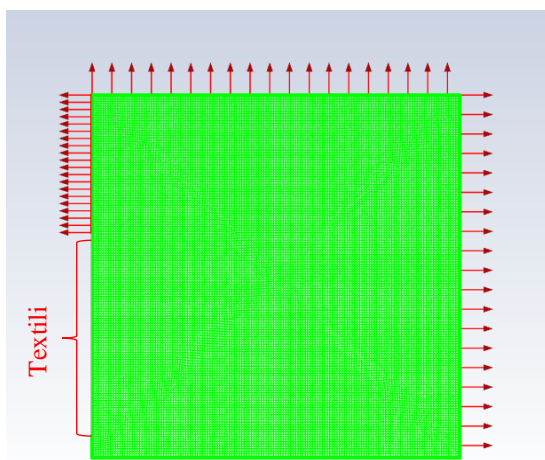
Naprostou zásadní částí, která měla vliv na celý výpočet, bylo definování podmínek, podle kterých bude probíhat simulace. Byl použit defaultní model turbulence SST k-omega, což je typ turbulentního viskózního modelu, ostatní modely zůstaly pro začátek vypnuté. Pro okraje modelu byly definovány výstupy a stěny. Tkanina byla definována jako stěna, s tepelnými podmínkami. Tepelné podmínky byly stanoveny tloušťkou textilie (0,007 m) a proměnnou teplotou, jejíž parametry byly zjištěny v programu Octave z průběhu požární zkoušky, tedy vztahem (20) z kapitoly 11 s výslednými koeficienty b_1 a b_2 . Tento průběh teploty v čase se musel nejprve nastavit v sekci *Named expression*, dle (Obr. 50). Aby byl vztah správně definovaný, musí se v aplikaci Fluent za každý koeficient připsat příslušná jednotka. Proměnná teplota v čase, která byla používána je pojmenována jako $Tw_textilie$.



Obr. 50: Používaná teplota pro modelování – $Tw_textilie$

Země byla uvažována jako izolovaná stěna bez generovaného tepla. Stejně tak malý úsek o velikosti 400 mm mezi zemí a textilií byl uvažován jako izolující stěna bez generujícího tepla. Ostatní okraje modelu tvořily výstupy (s okrajovou podmínkou *pressure outlet*) s definovanou teplotou případného zpětného toku vzduchu směrem do modelu. Teplota měla hodnotu počáteční teploty z požární zkoušky figurující např. ve vztahu (20) v kapitole 11, tedy $T_0 = 284,29$ K. Vnitřek plochy modelu tvoří vzduch, u kterého byly nastaveny jeho látkové vlastnosti (měrná tepelná kapacita, součinitel tepelné vodivosti, dynamická viskozita) pomocí definovaných polynomů v závislosti na teplotě z kapitoly 12.2 dle (Tab. 3). Dále byl pro hustotu zvolen model nestlačitelného ideálního plynu. Tento model zaručuje, že hustota bude závislá na teplotě a statickém tlaku a jelikož se předpokládá, že rychlosti proudění nebudou dosahovat takových hodnot, které by významně ovlivnily stlačování vzduchu, je tento model postačující.

Model, ze kterého vychází výpočty, kde červené šipky demonstrují výstupy vzduchu (s okrajovou podmínkou *pressure outlet*), je znázorněn na (Obr. 51) a pro srovnání a lepší pochopení je tento model dokreslen přímo do snímku požární zkušební laboratoře na (Obr. 52).



Obr. 51: Model textilie v ANSYS Fluent



Obr. 52: Virtuální model v požární zkušební laboratoři

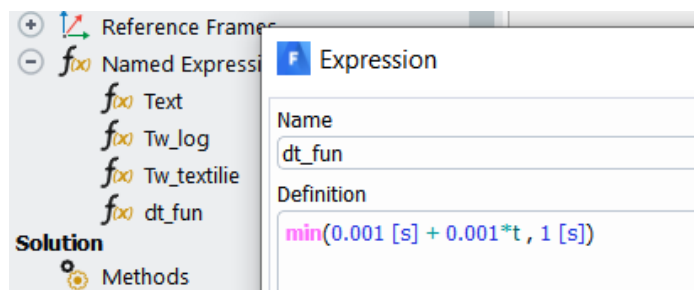
Pro tkaninu byl dále v sekci *Materials* definován součinitel tepelné vodivosti, který se stanovil z měření, které bylo představeno v kapitole 13, tedy $\lambda = 1,0167$ W m⁻¹ K⁻¹. Hodnoty měrné tepelné kapacity a hustoty byly definovány jako pro hliník, jelikož tyto vlastnosti nejsou z důvodu obchodního tajemství známy.

V sekci *Reference values*, lze dodefinovat referenční hodnoty, které jsou používány při výpočtech některých veličin. Byla zde nastavena *Depth* – 4,5 m, což

v tomto případě definuje délku textilie. Dále byla nastavena *Length* – 3,3 m, což symbolizuje výšku textilie. Dohromady textilie zaujímá plochu 14,85 m², což je zásadní pro vyhodnocení součinitele přestupu tepla, který je vztažen na plochu dle své jednotky – [W m⁻² K⁻¹]. Dále zde byla ještě dopsána referenční teplota 284,29 K. Ostatní hodnoty byly ponechány v původním nastavení.

V sekci *Solution* byly nastaveny veličiny, které měly být vyhodnocovány. Všechny tyto veličiny byly vyhodnocovány na povrchu textilie a to konkrétně: Součinitel přestupu tepla, Celkový tepelný tok, Radiační složka tepelného toku, Povrchová teplota textile. Před samotným iterováním se ještě definovaly grafické průběhy v čase těchto veličin, pro grafické znázorňování během iterací. Jako výstup iterací v čase byl zvolen datový soubor s vypsanými hodnotami požadovaných veličin v čase. Tento soubor byl vždy používán jako zdroj hodnot pro následné tvoření kódu v programu Octave.

Dalším faktorem, na který se musel brát ohled při simulaci, byly hodnoty residuí. Residua obecně říkají, jak přesné hodnoty získáváme. Velikost residuí ovlivní zvolený časový krok a plynulost při jeho zvyšování krok iterování. Pro iterování byl pro prvních 100 iterací zvolen krok 0,001 s a pro dalších 1000 iterací krok 0,005. Pro další iterace byl zaveden vztah (dle Obr. 53) v sekci *Named expression*, který byl pojmenován *dt_fun*.



Obr. 53: Parametr *dt_fun* pro plynulé iterování

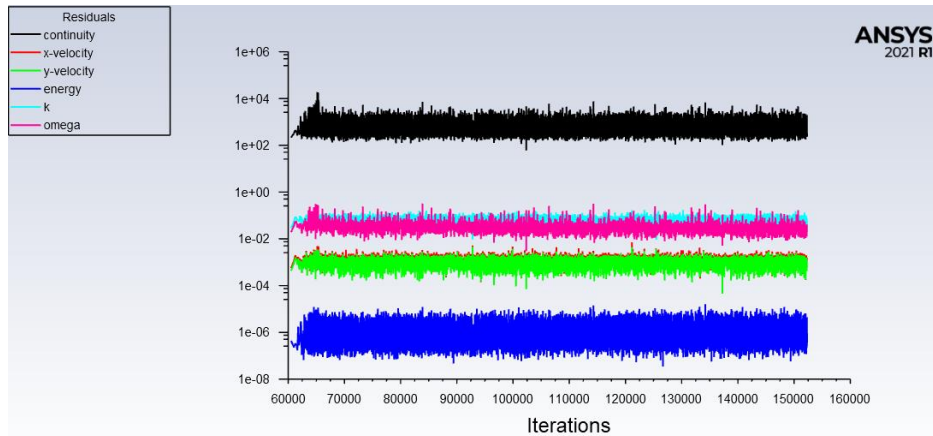
Tento vztah tvořil časový krok dle příslušného vztahu v závislosti na již uplynulé době, a pokud tato hodnota kroku překračovala hodnotu 1 s, již nestoupal.

Simulace, která byla nastavena na dobu 7200 s, což odpovídá době požární zkoušky, byla tvořena pro dva modely. Jednalo se o model bez uvažování radiace, což je model, který odpovídá popisu výše. Druhý model byl s uvažováním radiace, pro který bylo nutné zvolit vhodný model radiace.

14.4 Simulace bez uvažování složky radiace

Prvním modelem pro simulaci přenosu tepla z povrchu požární textilie do okolí byl model bez uvažování radiace. Vycházelo se tedy dle parametrů, které jsou popsány výše beze změny. Vzhledem k tomu, že se jedná o přenos tepla z povrchu pevné látky (textilie) do okolní tekutiny (vzduch) bez uvažování sálavého toku, jedná se tedy o přenos tepla čistě přirozenou konvekcí. Cílem této simulace bylo vyhodnocení průběhu součinitele přestupu tepla a stanovení střední hodnoty v aplikaci Octave a její porovnání s uváděnou hodnotou pro výpočty dle ČSN EN 1991-1-2 [44], která činí $4 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$.

Iterace probíhaly s nastaveným časovým krokem totožně, jako bylo popsáno výše v předchozí kapitole (tedy prvních 100 iterací s krokem 0,001 s, dalších 100 iterací s krokem 0,005 s, a pak dle funkce *dt_fun*). Kromě průběhu grafu součinitele přestupu tepla na vnější straně textilie v čase byl také vytvořen graf teploty textilie, kde se očekával totožný průběh v čase, jako byl odvozen ke konci kapitoly 11 při měření teploty textilie při požární zkoušce. Tento graf byl vytvořen spíše pro kontrolu a lepší orientaci. Dále byl ještě rovněž spíše pro kontrolu vytvořen graf průběhu celkového tepelného toku textilie v čase. Během iterování se mohl sledovat průběh těchto grafů a kontrolovat jejich hodnoty v čase. Dále byla také sledována residua, kde se během prvních iterací, kde časový krok dosahoval zhruba hodnot do 0,1 s, kontinuita pohybovala kolem hodnoty 10^{-4} až 10^{-3} . Během postupného navyšování časového kroku jejich hodnota kolísala kolem 10^3 . Po konzultaci bylo usouzeno, že je to pro tento typ úlohy dostačující, jelikož nedocházelo k výchytkám při vykreslování příslušných grafů a jejich průběh byl hladký. Hlavním důvodem, proč se nevolil menší časový krok pro snížení residua kontinuity, byla příliš velká výpočetní náročnost pro simulaci celkového času (2 hodiny). Pro krokování, které bylo zvoleno, výpočet trval 4–5 hodin. Při volbě nižšího kroku by se tento čas značně zvýšil. Na (Obr. 54) je vidět průběh residuí při vyhodnocování součinitele přestupu tepla textilie při čisté konvekci.



Obr. 54: Průběh residuí simulace konvekce

Po skončení iterací byl průběh hodnot získaných veličin importován do datového souboru pojmenovaného *alfa_konv*, Výsledný průběh součinitele přestupu tepla v čase na vnější straně textilie při uvažování čisté konvekce byl vyhodnocen pomocí následujícího krátkého kódu v programu Octave.

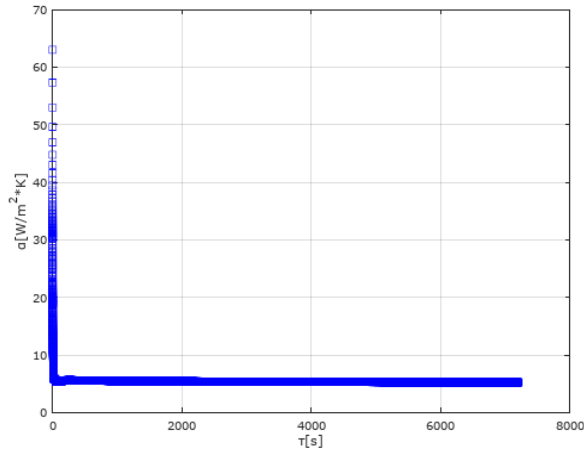
```
function [] = n4b()

d = load('alfa_konv.dat');
tau = d(:,2);                % Čas [s]
alfa = d(:,6);              % Souč. přestupu tepla[W/m^2*K]
tau_1 = d(4,2);             % První časový údaj [s]
tau_n = d(end,2);           % Poslední časový údaj [s]

figure(1);
plot(tau,alfa,'bs');
xlabel('\tau[s]');
ylabel('\alpha[W/m^2*K]');
grid on;

z=trapz(tau,alfa)/(tau_n-tau_1) % Integrace
```

A výsledný průběh součinitele přestupu tepla na vnější straně textilie je na (Obr. 55).



Obr. 55: Součinitel přestupu tepla simulace pro čistou konvekci

Po integraci toho průběhu pro získání střední hodnoty dle vztahu (33), který byl představen v kapitole 12.2, byla stanovena střední hodnota součinitele přestupu tepla na vnější straně textilie z průběhu simulace z programu Fluent.

$$\alpha_s^{konv} = 5,3743 \text{ [W m}^{-2} \text{ K}^{-1}]$$

Průběh hodnot součinitele přestupu tepla byl pro kontrolu vyhodnocen i v programu MS Excel, kde vycházel shodný bodový průběh. Zároveň byl ve stejném programu vyhodnocen i průběh součinitele přestupu tepla pomocí upraveného vztahu (34).

$$\alpha_s^{konv} = \frac{Q^{konv}(\tau)}{S (T_w(\tau) - T_f)} \text{ [W m}^{-2} \text{ K}^{-1}] \quad (34)$$

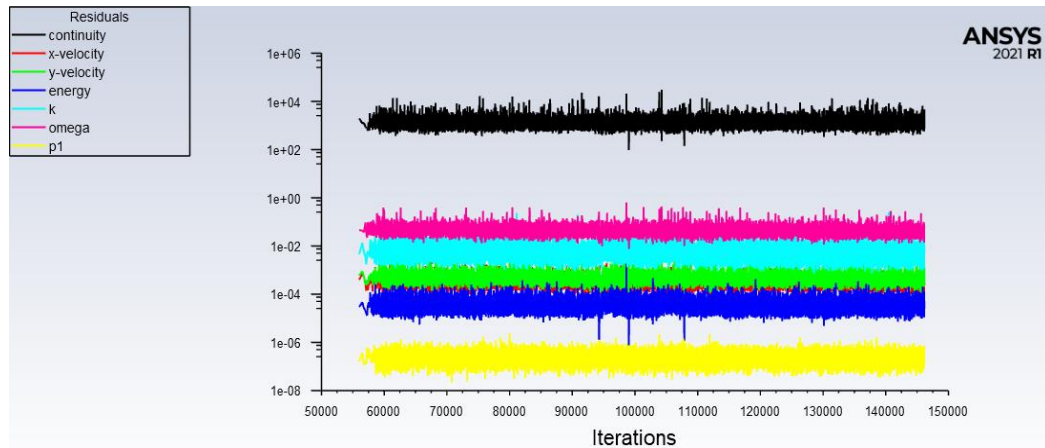
Q^{konv} [W] charakterizuje konvektivní tok na vnější straně textilie v závislosti na čase. S [m²] je plocha, kterou tento tok prochází, což je plocha textilie, jejíž hodnota je 14,85 m². T_w [K] je teplota povrchu textilie v čase vycházející z průběhu měření z požární zkoušky a T_f [K] je teplota okolí, která je uvažována jako konstantní, a to již zmíněných 284,29 K. Po vyhodnocení tohoto průběhu v čase dle stejných časových záznamů z příslušné simulace, vycházely shodné hodnoty pro daný časový záznam, jako vyhodnocoval Fluent z přímé simulace součinitele přestupu tepla. Tento postup sloužil spíše jako ověření výsledků.

14.5 Simulace s uvažováním složky radiace

Druhým modelem, který by se měl podobat průběhu požární zkoušky textilie, byl model s uvažováním složky radiace. Model, který byl pro tuto simulaci nastaven, vycházel ze stejného nastavení jako při simulaci bez uvažování složky radiace, prošel však menším přenastavením. V první řadě byla v sekci *Models* zapnuta radiace, kde se zvolil model DO (Discrete Ordinates). Jedná se o model, který je vhodný i pro případy s malou „optickou tloušťkou“, tj. případy s malou absorptivitou prostředí. U vlastností tekutiny byly ponechány získané polynomy definované v kapitole 12.2. Přibyly zde ale další radiační vlastnosti. Byla zde defaultní hodnota absorpčního koeficientu 0 m^{-1} . Absorpční koeficient je materiálová veličina definující, jaký poměr toku je absorbován prostředím. Udává tedy, jaká část z vyzářených částic sálavého toku neprojde a je absorbována. Absorptivitu mohou značně ovlivnit (navýšit) různé prachové částice, které se mohou v tekutině (vzduchu) vyskytovat. Pro vakuum platí, že je tento koeficient roven nule, neboť vyzářený tok nemá být čím pohlcován a všechny jeho částice projdou, aniž by byly absorbovány. Pro vzduch se tento koeficient uvažuje také nula s tím, že vyzářený tok se přibližně rovná prošlému toku skrze částice vzduchu [52]. Ostatní hodnoty byly ponechány defaultně. V nastavení výstupů a stěn přibyla kolonka pro nastavení radiačních vlastností, kde byla doplněna hodnota emisivity vnější (matné) strany textilie 0,91, jejíž hodnota byla získána měřením, které bylo popsáno v kapitole 13. Hodnota difúzní frakce byla ponechána defaultně s hodnotou 1. Tato hodnota říká, že radiační paprsky, které by dopadly na povrch textilie z vnější strany, budou rovnoměrně rozptýleny do všech stran a nebudou zrcadlově odraženy. Tato hodnota byla ponechána i pro zem a úsek mezi textilií a zemí, který je také definován jako stěna.

Iterace probíhaly s totožným postupem volby časového kroku jako při vyhodnocování součinitele přestupu tepla bez uvažování složky radiace. Cílem tohoto vyhodnocování bylo získat časový průběh celkového tepelného toku, radiačního toku a součinitele přestupu tepla. V tomto případě jde o modifikovaný součinitel přestupu tepla, jelikož se jedná o přenos tepla konvekcí a zároveň radiací. Vyhodnocení modifikovaného součinitele přestupu tepla bude v závěru porovnáno s uváděnou hodnotou $9 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$, která se uvádí dle ČSN EN 1991-1-2 [44] jako hodnota pro výpočty i s uvažováním složky radiace (viz. kapitola 9.3).

Hodnoty residuí měly obdobný průběh, jako bylo uváděno v předchozí části. Jejich hodnota kontinuity pro časový krok 1 s kolísala kolem 10^3 . Křivka průběhu toků a modifikovaného součinitele přestupu tepla byla hladká a nedocházelo k výchytkám, proto se hodnoty residuí považují jako dostačující. Po simulaci, která trvala zhruba 4 hodiny, byly výsledky iterací z datového souboru vyhodnoceny pomocí programu Octave.



Obr. 56: Průběh residuí DO modelu

Výsledky byly zpracovány na základě příslušného kódu v programu Octave, kde se vycházelo z datového souboru *alfa_modifikovana* s výsledky ze simulace.

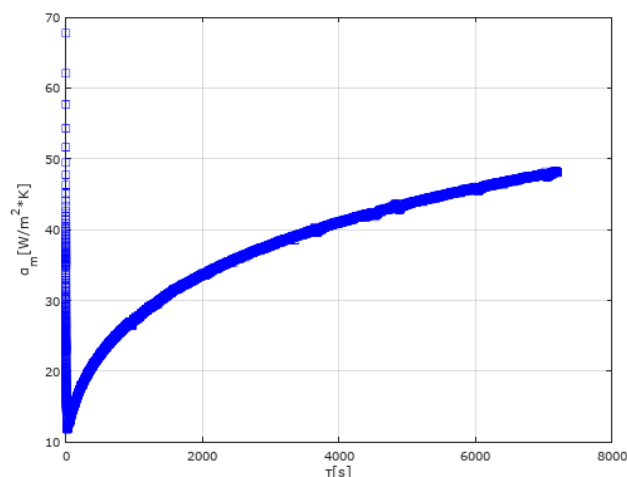
```
function [] = n6b()

d = load('alfa_modifikovana.dat');
tau = d(:,2); % Čas [s]
alfa = d(:,6); % Modif. souč. přestupu tepla[W/m^2*K]
tau_1 = d(4,2); % První časový údaj [s]
tau_n = d(end,2); % Poslední časový údaj [s]

figure(1);
plot(tau,alfa,'bs');
xlabel('\tau[s]');
ylabel('\alpha_m[W/m^2*K]');
grid on;

z=trapz(tau,alfa)/(tau_n-tau_1) % Integrace
```

Výsledkem tohoto skriptu byl průběh modifikovaného součinitele přestupu tepla (Obr. 57).



Obr. 57: Průběh modifikovaného souč. přestupu tepla v čase

Byla spočítána střední hodnota pomocí integrálního vztahu dle (33) z kapitoly 12.2. Výsledná střední hodnota modifikovaného součinitele přestupu tepla na vnější straně textilie s uvažováním složky radiace dle DO modelu z programu Fluent je:

$$\alpha_s^{mod} = 37,660 \text{ [W m}^{-2} \text{ K}^{-1}\text{]}$$

Simulace se zapnutým modelem radiace by teoreticky měla odpovídat skutečnému průběhu požární zkoušky. Proto byl vytvořen graf, který obsahuje skutečný průběh radiačního toku v čase na vnější straně textilie získaný z požární zkoušky v kapitole 11 v porovnání s modelem z programu Fluent. Radiační tok byl vyhodnocován v jednotkách [$kW \text{ m}^{-2}$]. Průběh radiačního toku z programu Fluent byl tedy podělen plochou textilie, která činí $14,85 \text{ m}^2$. V případě průběhu naměřených hodnot sálavého toku radiometrem, které byly definovány Grafem dle (Obr. 43) z kapitoly 11, bylo třeba přepočítat tyto hodnoty pomocí polohového faktoru Φ [-], který byl definován vztahem (18). Jak bylo definováno v kapitole 9.3, tak radiometr měří hodnoty sálavého toku ve vzdálenosti, ve které je od sálavé plochy umístěn. Vydělením těchto hodnot polohovým faktorem, který zohledňuje geometrii měření radiometru a plochy, ze které sálá teplo, bude dosaženo průběhu radiačního toku na povrchu textilie, který již lze porovnat s hodnotami ze simulace z programu Fluent. Výpočet polohového faktoru byl součástí kódu, který je popsán níže. Jeho hodnota byla pro příslušnou geometrii: $\Phi \doteq 0,8128$.

Pro porovnání průběhů sálavých toků z měření při požární zkoušce a ze simulace pomocí DO modelu byl vytvořen kód v programu Octave. Dále byl do tohoto kódu zahrnut ještě průběh sálavého toku pomocí Stefan-Blotzmannova zákona (definovaného

vztahem (16)) pro shodné teploty, jaké byly použity při iteracích, kde se očekávala shoda s DO modelem. Pro průběh dle Stefan-Blotzmannova zákona byla použita vypočítaná emisivita 0,91, teplota textilie ze získaného průběhu z požární zkoušky pomocí termočlánků a konstantní teplota okolí 284,29 K

```
function [] = n7b()
d1 = load('Radiacni_tok_octave.dat'); % Datový soubor z Fluentu - DO model
d2 = load('Radiometr_octave.dat'); % Datový soubor z měření Radiometrem

tau = d1(:,1); % Čas Fluent [s]
T_w = d1(:,2); % Teplota textilie [K]
Q_DO = d1(:,3); % Radiační tok Fluent [W]
tau2 = d2(:,2); % Čas Radiometr [s]
q_RAD = d2(:,1); % Radiační tok Radiometru [kW/m^2]

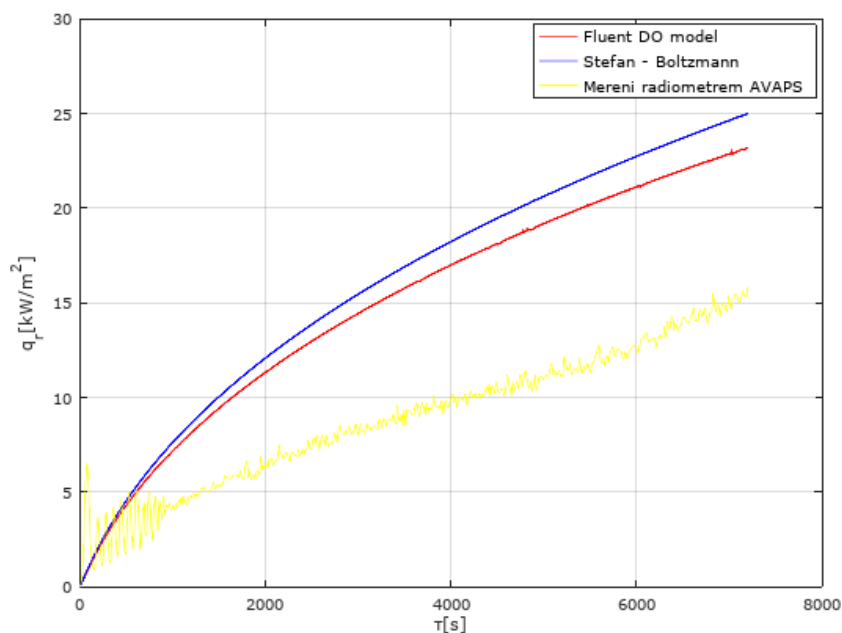
H = 3.3; % Výška textilie [m]
W = 4.5; % Šířka textilie [m]
S = H*W; % Plocha textilie [m^2]
q_DO = Q_DO/(S*1000); % Radiační tok Fluent [kW/m^2]

T_f = 284.29; % Teplota okolí [K] (konstantní)
epsilon = 0.91; % Emisivita vnější strany textilie [/]
SB = 5.669*1e-8; % S.-B. konstanta [W/(m^2*K^4)]
q_SB = epsilon*SB*(T_w.^4-T_f.^4)/1000; % Radiační tok S.-B. zákon [kW/m^2]

H2 = H/2; % Výpočtová výška textilie [m]
W2 = W/2; % Výpočtová šířka textilie [m]
R = 1; % Vzdálenost radiometru od text. [m]
C1 = W2/(R^2+W2^2)^0.5; % Pomocný koef. C1 [/]
C2 = H2/(R^2+W2^2)^0.5; % Pomocný koef. C2 [/]
C3 = H2/(R^2+H2^2)^0.5; % Pomocný koef. C3 [/]
C4 = W2/(R^2+H2^2)^0.5; % Pomocný koef. C4 [/]
fi = (2/pi())*((C1)*atan(C2)+(C3)*atan(C4)); % Polohový faktor [/]
q_wRAD = q_RAD/fi; % Radiační tok text. z měření [kW/m^2]

figure(1);
plot(tau,q_DO,'r',tau,q_SB,'b',tau2,q_wRAD,'y');
xlabel('\tau[s]');
ylabel('q_r[kW/m^2]');
legend({"Fluent DO model", "Stefan - Boltzman", "Mereni radiometrem AVAPS"});
grid on;
```

Získané tři průběhy radiačního toku v čase jsou odlišeny barvami. Průběh odvozeného sálavého toku z měření radiometrem je žlutý, průběh sálavého toku ze simulace pomocí DO modelu programu Fluent je červený a pro porovnání je zde i již zmíněný průběh sálavého toku pomocí Stefan-Boltzmannova zákona, který je modrý.



Obr. 58: Průběhy sálavých toků v Ocatve

Je vidět, že je zde patrný rozdíl mezi modelem a naměřenými hodnotami. Důvodů, proč se mohou hodnoty lišit je několik. Model neuvažuje deformaci textilie, ke které dochází vlivem přetlaku v peci z požáru. Textilie se vlivem tlaku vyboulí a její povrch není v rovině. To může mít dopad na vyzařování sálavého toku, který může být tímto způsobem vychýlen více do prostoru po normálách k povrchu textilie a radiometr může zaznamenat odlišné hodnoty, než kdyby se jednalo o zcela rovnou stěnu. Deformace textilie má rozhodně vliv na hodnotu polohového faktoru, který vychází z teorie, že textilie je rovnoběžnou stěnou k nekonečně malé ploše, kterou představuje snímač radiometru. Pro výpočet se uvažuje konstantní hodnota vzdálenosti umístění radiometru od textilie. Tato hodnota se ale od začátku zkoušky měnila vlivem vyboulení textilie a tím by se teoreticky měla měnit s časem i hodnota polohového faktoru, který se uvažoval pro vzdálenost 1 m a plochu 3,3 x 4,5 m a jeho hodnota tedy vycházela: $\Phi \doteq 0,8128$. Dalším faktem, který je třeba zmínit je, že se pro model uvažovala konstantní hodnota emisivity. Emisivita je však kromě své závislosti na povrchu materiálu, ze kterého je sálavý tok vyzařován také závislá na teplotě, která se na textilii změnila téměř o 600 K. Průběh sálavého toku, který byl definován pomocí Stefan-Boltzmannova zákona pro stejné hodnoty teplot v čase, jako byly použity v simulaci, téměř odpovídají průběhu modelu. Tento průběh byl vymodelován spíše pro kontrolu a porovnání s DO modelem. Drobná výchylka, která vznikla mezi těmito průběhy, může být dána například residui, která měla vyšší hodnotu vlivem vysokého časového kroku, který po počáteční fázi

nabýval hodnoty 1 s. I tak se volba radiačního DO modelu zdá být velmi vhodná. Během práce v programu ANSYS byl zvolen i model P-1, který je uváděn jako základní model pro simulace radiace, jeho hodnoty v porovnání s hodnotami dle Stefan-Boltzmannova zákona absolutně neodpovídaly, a proto bylo od toho způsobu simulace upuštěno.

15 Závěr

Tato práce se snažila pojmout téma návrhů požárních uzávěrů v širším spektru. V první části byl čtenář seznámen s popisem jednotlivých prvků uzávěrů, kde byly uzávěry rozděleny do různých skupin. Bylo definováno, že se uzávěry řadí do skupin dle jejich požární odolnosti, což je doba, během které musí splnit určité podmínky, tak aby nebyly narušeny jejich mezní stavy, kde mezi hlavní mezní stavy patří: E – celistvost, I – izolace a R – radiace. Bylo zde vylíčeno několik zkoušek, které musí výrobek podstoupit, pokud má být potenciálně využit v praxi. Jednak se zkoumá pro každý díl jeho reakce na oheň (obvykle dána výrobcem) a pak celá konstrukce podstupuje zkoušku požární odolnosti ve zkušební peci, která imituje skutečný průběh požáru, kde se teplota v peci řídí normovanou teplotní křivkou, kde se zkoumá, v jaké době jsou narušeny mezní stavy zkoušeného vzorku.

Jednou z praktických částí této práce je návrh prototypu textilního roletového horizontálního požárního uzávěru a jeho potenciální realizace. Textilie, která tvoří výplň uzávěru a tím omezuje šíření požáru, a která bude použita na tento typ uzávěru, je již běžně používanou a odzkoušenou textilií s požární odolností EW 120. To je doba (120 minut), během které uzávěr ve styku s požárem musí splnit mezní stav celistvosti (E) a radiace (R). Čili hodnota sálavého toku nesmí ve vzdálenosti 1 m od povrchu uzávěru přesáhnout hodnotu 15 kW m^{-2} a zároveň se nesmí tvořit prohořelé otvory nebo spáry vzniklé deformací, kterými by šla prostrčit speciální měrka, a další podmínky. Tento uzávěr má ambice být potenciálním produktem, který by mohl projít akreditovanou zkouškou požární odolnosti na mezní stavy EW s potenciální dobou požární odolnosti 120 minut (tedy EW 120). Nutno podotknout, že návrh uzávěru je ve spolupráci s firmou AVAPS s. r. o. pro kterou je tento produkt navrhován.

Byl zde představen i menší průzkum trhu v tabulce, z kterého lze vyčíst, že horizontální uzávěr s požární odolností EW 120 se na tuzemském trhu ještě nevyskytuje. V případě dotažení tohoto projektu do konce by to byl první produkt s takto vysokou odolností. Realizace konstrukce a hlavně přihlášení výrobku na akreditovanou zkoušku, kde by byl výrobek testován na speciální horizontální peci, kde by mohl být teoreticky schválen, je však dlouhodobá záležitost. Proto byla využita již běžně používaná textilie, která bude součástí konstrukce prototypu a byla testována v peci pro svislé výrobky na požární odolnost ve firmě AVAPS s. r. o. Výstupem z požární zkoušky byl protokol o

zkoušce, který obsahoval průběh teploty v čase na vnější straně textilie měřený pěti termočlánky, který byl využit pro následnou simulaci a výpočty. Dále byl z požární zkoušky získán průběh sálavého toku v čase měřený radiometrem ve vzdálenosti 1 m. Právě teplota na vnější straně textilie v čase byla zpracována a byl získán její funkční předpis v čase pomocí programu Octave. Tento předpis byl dále používán pro další výpočty a simulace.

V této práci je uvedeno, že celkový tepelný tok vlivem ztrát do okolí skrze textilií, se uvažuje jako součet celkového konvektivního a celkového radiačního toku. Proto jsou výpočty a simulace rozděleny pro čistou konvekci na vnější straně textilie, čistou radiaci, která prochází textilií do okolí a jejich kombinaci. Pro přenos tepla čisté přirozenou konvekcí se počítala korelace Nusseltova čísla pomocí Rayleighova čísla pro naměřený průběh teploty z požární zkoušky textilie. Výstupem Nusseltovy korelace byl průběh součinitele přestupu tepla na vnější straně textilie v čase, z kterého byla definována střední hodnota, která vyšla $5,78 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Bylo konstatováno, že pokud by se vyhodnocoval součinitel přestupu tepla pro horizontální polohu textilie s očekávaným požárem pod ní, tak by pro stejné hodnoty Rayleighova čísla v čase, jako byly použity pro textilií ve svislém směru, byl součinitel přestupu tepla 1,5 krát větší než pro svislou polohu uzávěru.

Dále byl vytvořen model v programu ANSYS, který obsahoval průřez prostoru před zkušební pecí přiléhající ke stěně, která reprezentovala textilií, kde byl definován průběh teploty dle získaných dat z požární zkoušky, kde unikalo teplo do okolí. V programu ANSYS Fluent byla provedena simulace nejprve pro čisté konvektivní přenos tepla z povrchu textilie do okolí. Výsledkem simulace byl obdobně časový průběh součinitele přestupu tepla na vnější straně textilie, kde jeho střední hodnota vyšla $5,37 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Výsledky z Nusseltovy korelace a simulace čisté konvekce na vnější straně textilie lze v závěru porovnat s hodnotou uváděnou pro výpočty konvektivního přenosu tepla pro obecný povrch na odvrácené straně od požáru (neexponované straně), kde je tato hodnota uváděna jako $4 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ dle ČSN EN 1991-1-2 [44]. Při porovnání výsledků s obecnou předepsanou hodnotou jsou výsledky výpočtu a simulace brány jako úspěšné.

V dalším kroku byl v ANSYS Fluent vytvořen radiační model, který zahrnoval přenos tepla jak radiací, tak i konvekcí. Do modelu byla zakomponována naměřená

hodnota emisivity matnější strany textilie, která je určena na odvrácenou (neexponovanou) stranu od požáru měřená v laboratoři Ústavu procesní a zpracovatelské techniky, kde její hodnota vyšla 0,91. Výsledkem této simulace byl modifikovaný součinitel přestupu tepla, jehož hodnota by měla zahrnovat nejen konvektivní přenos tepla, ale i přenos tepla radiací řídicí se Newtonovým ochlazovacím zákonem. Výsledek simulace byl opět zpracován v programu Ocatve, kde byla vyhodnocena jeho střední hodnota, která vyšla $37,66 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$, což v porovnání s obecnou předepsanou hodnotou pro výpočty odvrácené strany zábrany od požáru, která má mít dle ČSN EN 1991-1-2 [44] hodnotu $9 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ neseďí. To, že tato hodnota neseďí, se dalo očekávat, neboť právě hodnota $9 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$, je uvažována pro obecný neexponovaný povrch, který může být jakéhokoliv typu a jakéhokoliv tloušťky, proto modifikovaná hodnota součinitele přestupu tepla může mít širší rozptyl hodnot a obecně by nebylo dobré výpočetně vycházet z této předepsané hodnoty bez užití známých vztahů pro přenos tepla radiací.

Dalším výstupem ze simulace byl získaný čistě radiační tepelný tok v čase vyzařovaný z povrchu textilie. Tento průběh byl porovnán pomocí Stefan-Boltzmannova zákona, ale hlavně byl porovnán s přepočítaným průběhem sálavého toku (s využitím polohového faktoru) z naměřených hodnot radiačního toku, které naměřil radiometr ve vzdálenosti 1 metr při požární zkoušce. Průběh sálavého toku na radiometru byl podělen polohovým faktorem – Φ [-], což je geometrická konstanta, díky které lze z naměřených dat sálavého toku v určité vzdálenosti odvodit odpovídající průběh toku přímo na textili. Polohový faktor byl vyhodnocen jako $\Phi \doteq 0,8128$. Průběhy sálavých toků, které byly pro porovnání graficky znázorněny, se v čase značně lišily, kde důvodem by mohla být deformace textilie během zkoušky, uvažovaná konstantní hodnota emisivity atd. (podrobněji je psáno přímo v práci).

Výsledkem této práce je navržený prototyp horizontálního požárního uzávěru, jehož CAD model v programu Solid Edge má ke každému nenormovanému dílu výkresovou dokumentaci a celé sestavě přísluší kusovník s normovanými a nenormovanými díly. Prototyp je navržen, tak aby ho bylo možné univerzálně kotvit do stavební konstrukce, a je navržen s maximální univerzálností příslušných dílů. Pro prototyp jsou v tuto chvíli sháněny díly dle cenových nabídek, které firmy jako reakci na poptávku výroby nabídly. Některé díly už jsou sehnány, mezi nimi je například i textilie, pro kterou byly vyhodnoceny zmíněné tepelné vlastnosti.

Model, simulace a výsledky simulací v programu ANSYS by mohly teoreticky sloužit jako jakýsi odrazový můstek pro jiné prototypy, pro které by se mohlo vycházet z podobného modelu, nebo by šlo alespoň z toho modelu brát inspiraci. Získané výsledky ze zkoušky a měření textilie EW 120 (součinitel přestupu tepla na vnější straně, emisivita obou povrchů, součinitel tepelné vodivosti nebo i získaný průběh teploty textilie) by jistě mohly být využity pro výrobky, které by tuto textilií obsahovaly. Čistě teoreticky by celý koncept testování produktů mohl procházet ještě mezikrokem, kterým by byly simulace v ANSYS Fluent (nebo třeba i v jiném programu), který by mohl odhalit případný problémy, které prototyp má a který by byl jinak odhalen až požární zkouškou, která firmy stojí nemalou finanční částku.

16 Seznam obrázků

Obr. 1: Požární uzávěr	16
Obr. 2: Svislý textilní roletový požární uzávěr	17
Obr. 3: Ocelový svislý roletový požární uzávěr	17
Obr. 4: Ocelový horizontální požární uzávěr	18
Obr. 5: Horizontální požární uzávěr textilní	18
Obr. 6: Do otvoru – svislý	19
Obr. 7: Do otvoru – horizontální	19
Obr. 8: Na otvor – svislý (zpětný chod)	19
Obr. 9: Na otvor – svislý Na otvor – horizontální	19
Obr. 10: Na otvor – horizontální	19
Obr. 11: Ocelový horizontální uzávěr	20
Obr. 12: Ocelový svislý uzávěr se zkrápěním	20
Obr. 13: Plastový uzávěr	21
Obr. 14: Detail plastového profilu uzávěru	21
Obr. 15: Zkrápěný textilní roletový uzávěr	22
Obr. 16: Textilní roletový uzávěr v Letňanech	22
Obr. 17: Odkrytá pec firmy AVAPS s.r.o.	25
Obr. 18: Normovaná teplotní křivka	26
Obr. 19: Průběh skutečného požáru	26
Obr. 20: Průběh zkoušky požární odolnosti požární textilie	28
Obr. 21: Průběh zkoušky požární odolnosti dveří	28
Obr. 22: Popis prvků textilního roletového požárního uzávěru	31
Obr. 23: Požární textilie EW	32
Obr. 24: Polohový faktor	38

Obr. 25: Teplotní průběh textilií	39
Obr. 26: Sestava modelu požárního uzávěru FIBREroll–H	40
Obr. 27: Navíjecí box a jeho okolí.....	41
Obr. 28: Koncová lišta a přilehlé díly.....	42
Obr. 29: Vedení lanka navíjecím boxem	43
Obr. 30: Vedení lanka jeklem k boxu koncové lišty.....	43
Obr. 31: Horní pohled na ložiska koncové lišty	44
Obr. 32: Vytržení ložisek z vodítka	45
Obr. 33: Ložiskový spoj s obráběnou maticí M6.....	45
Obr. 34: Obráběné matice M6	45
Obr. 35: Boční pohled na navíjecí box se skrytou bočnicí	46
Obr. 36: Středová konzole navíjecího boxu.....	46
Obr. 37: Středová konzole boxu pro koncovou lištu	46
Obr. 38: Kotvení do otvoru.....	47
Obr. 39: Kotvení na otvor	47
Obr. 40: Požární zkouška EW textile.....	49
Obr. 41: Požární zkouška – 115. minuta.....	50
Obr. 42: Přiložení vaty pro měření celistvosti ve 104..	50
Obr. 43: Průběh sálavého toku radiometru v čase	50
Obr. 44: Průběh průměrné teploty textile na vnější straně	51
Obr. 45: Naměřené hodnoty a proložení křivky teploty na vnější straně textile v Octave	52
Obr. 46: Průběh součinitele přestupu tepla Nusseltovy korelace	58
Obr. 47: Měření součinitele tepelné vodivosti.....	60
Obr. 48: Model v Design modeleru	61
Obr. 49: Detail sítě.....	62

Obr. 50: Používaná teplota pro modelování – Tw_textilie	62
Obr. 51: Model textilie v ANSYS Fluent	63
Obr. 52: Virtuální model v požární zkušební laboratoři	63
Obr. 53: Parametr dt_fun pro plynulé iterování	64
Obr. 54: Průběh residuí simulace konvekce	66
Obr. 55: Součinitel přestupu tepla simulace pro čistou konvekci	67
Obr. 56: Průběh residuí DO modelu	69
Obr. 57: Průběh modifikovaného souč. přestupu tepla v čase	70
Obr. 58: Průběhy sálavých toků v Ocatve	72

17 Seznam tabulek

Tab. 1: Třídy reakce na oheň a jejich potřebné zkoušky	24
Tab. 2: Průzkum tuzemského trhu	32
Tab. 3: Tabulka polynomů.....	56
Tab. 4: Měření součinitele tepelné vodivosti textilie při 35°C.....	60

18 Seznam příloh

Součástí této práce jsou přílohy, které jsou odevzdány současně s elektronickou podobou této práce. Součástí příloh jsou kódy, pomocí kterých byly vyhodnoceny veškeré výsledky a k nim příslušné datové soubory. Zároveň je jako příloha umístěn soubor ANSYS, který obsahuje použitý 2-D model, jeho vytvořenou síť a soubor Fluent v kterém probíhaly veškeré simulace. Dále jsou zde umístěny snímky ze zkoušky požární odolnosti textilie.

19 Reference

- [1] ČSN EN 13501-2 *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb - Část 2: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti kromě vzduchotechnických zařízení*. Praha: ÚNMZ, 8/2017
- [2] ZIMMER, Tomáš. *Textilní roletové požární uzávěry schopné bránit šíření požáru*. Praha, 2014. Diplomová práce. Fakulta stavební, ČVUT v Praze.
- [3] ŠMEJKAL, David. *Atypické požární uzávěry*. Praha, 2012. Semestrální práce. Fakulta stavební, ČVUT v Praze.
- [4] *Avaps.cz* [online]. Klecany: AVAPS s.r.o., © 2020 [cit. 2021-4-8]. Dostupné z: <http://www.avaps.cz/>
- [5] ČSN EN 13241+A2. *Vrata - Norma výrobku, funkční vlastnosti*. Praha: ÚNMZ, 9/2017
- [6] *Tor System* [online]. Jindřichův Hradec: TorSystem s.r.o., © 2021 [cit. 2021-4-10]. Dostupné z: <https://www.torsystem.cz/vrata>
- [7] *Fress* [online]. Praha: Focus Info s.r.o., © 2009-2021 [cit. 2021-4-13]. Dostupné z: <http://www.fress.eu/>
- [8] *STÖBICH* [online]. Brno: STÖBICH Brandschutz s.r.o., © Stöbich Brandschutz 2021 [cit. 2021-4-20]. Dostupné z: <https://www.stoebich.com/cz/>
- [9] BOHÁČ, David a Jiří VALENTA. *Roletové požární uzávěry otvorů*. In: *Technický zpravodaj 32* [online]. J Seidl., s.r.o., 2009. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <http://www.seidl.cz/cz/technicky-zpravodaj/technicky-zpravodaj-32/roletove-pozarniuzavery-otvoru-37.html>
- [10] *Perfect Door* [online]. Zdiby: PERFECT DOOR s.r.o., © 2021 [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: obchod@perfect-door.cz
- [11] ČSN 73 0802. *Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty*. Praha: ÚNMZ, 5/2009
- [12] *Univers* [online]. Kladno: Univers s.r.o., © 1996-2020 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.perfect-door.cz/>
- [13] *Intisi* [online]. Barcelona, © 2020 [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: <https://www.intisigroup.com>

- [14] ČSN EN 13501-1 *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb - Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň*. Praha: ÚNMZ, 10/2019
- [15] *Allux* [online]. Praha: ALLUX – STAV s. r. o., © 2021 [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: https://www.svetliky-bodove.cz/wp-content/uploads/2014/04/tridy_reakce_na_ohen.pdf
- [16] ČSN EN ISO 1182 *Zkoušení reakce výrobků na oheň - Zkouška nehořlavosti*. Praha: ÚNMZ, 10/2010.
- [17] KRIVDA, Antonín. *Studium reakce na oheň u tepelně izolačních materiálů*. Brno, 2018. Bakalářská práce. Fakulta stavební VUT v Brně
- [18] PETRÁKOVÁ, Magda. *Analýza rizik šíření účinku požáru vzduchotechnickými systémy*. Praha, 2018. Diplomová práce. Fakulta stavební, ČVUT v Praze
- [19] ČSN EN ISO 1716 *Zkoušení reakce výrobků na oheň - Stanovení spalného tepla (kalorické hodnoty)*. Praha: ÚNMZ, 11/2018
- [20] ČSN EN 13823 *Zkoušení reakce stavebních výrobků na oheň - Stavební výrobky kromě podlahových krytin vystavené tepelnému účinku jednotlivého hořícího předmětu*. Praha: ÚNMZ, 9/2020.
- [21] ČSN EN ISO 11925-2: *Zkoušení reakce na oheň - Zápalnost stavebních výrobků vystavených přímému působení plamene - Část 2: Zkouška malým zdrojem plamene*. Praha: ÚNMZ, 8/2020.
- [22] BOHUSLAV, Petr. Kouřotěsnost požárního uzávěru-rolety. In: *Poradna* [online]. J Seidl a spol., s.r.o., 2009. [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <http://www.seidl.cz/cz/poradna/kourotesnost-pozarniho-uzaveru-rolety-991.html>
- [23] ČSN EN 1634-1+A1: *Zkoušení požární odolnosti a kouřotěsnosti sestav dveří, vrat, uzávěrů, otevíracích oken a prvků stavebního kování - Část 1: Zkoušky požární odolnosti sestav dveří, vrat, uzávěrů a otevíracích oken*. Praha: ÚNMZ, 9/2019.
- [24] ČSN EN 13501-2: *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb - Část 2: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti kromě vzduchotechnických zařízení*. Praha: ÚNMZ, 8/2017.
- [25] ČSN EN 1363-1: *Zkoušky požární odolnosti - Část 1: Obecné požadavky*. Praha: ÚNMZ, 7/2020.
- [26] ČSN EN 1363-2 *Zkoušení požární odolnosti - Část 2: Alternativní a doplňkové postupy*. Praha: ČNI, 1/2000.

- [27] WALD, František. Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 1, Praha 6, 2005. ISBN 80-01-03157-8.
- [28] HZSCR.cz [online]. Pardubice: Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, © 2021 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/z-hasicu-jsou-instruktori-vycvikoveho-polygonu-flashover.aspx>
- [29] TZB-info [online]. Praha: Ing. Stanislav Toman, Projektová kancelář ÚT+VZT, © 2021 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/2725-pozarni-minimum-pro-vzduchotechniku-i>
- [30] ČSN EN 1363-1 *Zkoušení požární odolnosti - Část 1: Základní požadavky*. Praha: ÚNMZ, 8/2020
- [31] *K. B. K. fire* [online]. Ostrava: K.B.K. fire s. r. o., © 2021 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.kbkfire.cz>
- [32] ADOR CZ [online]. Lanškroun: ADOR CZ s. r. o., © 2016 - 2021 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.ador.cz>
- [33] Termetal Moravia [online]. Praha: TERMETAL Moravia, © 2020 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.termetalmoravia.cz>
- [34] ČSN EN 15269-11+AC: *Rozšířená aplikace výsledků zkoušek požární odolnosti a/nebo kouřotěsnosti sestav dveří, uzávěrů a otevíracích oken včetně jejich prvků stavebního kování - Část 11: Požární odolnost pohyblivých textilních závěsů*. Praha: ÚNMZ, 12/2019
- [35] Testo [online]. Praha: Testo, © 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.testo.com/cz-CZ/Hodnoty+emisivit+nejd%C5%AFle%C5%BEit%C4%9Bj%C5%A1%C3%ADch+materi%C3%A1l%C5%AF/services%20knowledgeable%20thermography%20emissivity%20table>
- [36] Overhead Door [online]. Portland, © 2021 [cit. 2021-5-23]. Dostupné z: <https://www.overheaddoorpdx.com>
- [37] FK Servis [online]. Libušín: FK Servis s.r.o., © 2014 [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <http://www.fkservis.cz>
- [38] Spedos [online]. Krásno nad Bečvou: SPEDOS, © 1991-2021 [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://www.spedos.cz>
- [39] ŠESTÁK, Jiří a František RIEGER. *Přenos hybnosti, hmoty a tepla*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01715-X.

- [40] TZB-info [online]. Praha: Topinfo s.r.o., © 2021 [cit. 2021-5-30]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/298-mineralni-izolace>
- [41] VYDRA, Vítězslav. Termomechanika - sbírka úloh. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2018.
- [42] KOVAŘÍK, Petr. *Termomechanika*. Katedra energetických strojů a zařízení [online]. Plzeň: ZČU v Plzni [cit. 2021-6-3]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~kovarikp/TM/cviceni/sdileni.pdf>
- [43] CÁBOVÁ, Kamila. *Ověřování modelů v požární bezpečnosti*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2019. ISBN 978-80-01-06616-4.
- [44] ČSN EN 1991-1-2. *Zatížení konstrukcí - Část 1-2: Obecná zatížení - Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*. Praha: ÚNMZ, 8/2004
- [45] HEJTMÁNEK, Petr. *Odstupové vzdálenosti požárně otevřených fasád*. Praha, 2019. Disertační práce. Fakulta stavební, ČVUT v Praze.
- [46] SIKORA, Jakub. *Hustota tepelného toku a jeho odstínění textilní zábranou*. Ostrava, 2011. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [47] Svět energie [online]. Praha: ČEZ s.r.o., © 2020 [cit. 2021-6-20]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/jaderne-elektrarny/jaderna-elektrarna-podrobne/parogenerator/fyzikalni-principy>
- [48] ILAVSKÝ, Karel. *Přestup tepla v cylindricko-kónickém fermentačním tanku*. Praha, 2019. Diplomová práce. Fakulta strojní, ČVUT v Praze.
- [49] INCROPERA, F. P., D. P. DEWITT, T. L. BERGMAN a A. S. LAVINE. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. USA: John Wiley & Sons, 2017. ISBN 9781119382911.
- [50] ŠESTÁK, Jiří. *Tepelné pochody*. Praha: ČVUT Praha, 2004. ISBN 80-01-02934-4.
- [51] Engineering ToolBox, (2001). [online] Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/dry-air-properties-d_973.html [cit. 2021-7-10]
- [52] *Absorpční polovrstva pro záření γ* [online]. Brno: VUT v Brně [cit. 2021-7-11]. Dostupné z: <https://physics.fme.vutbr.cz/~mcerny/BF/labiny/gama.pdf>