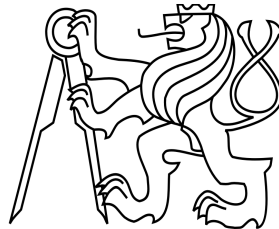


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb



Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Integrovaná bezpečnost staveb

124 DPM – Diplomová práce

**ANALÝZA RIZIK ŠÍŘENÍ ÚČINKU POŽÁRU
VZDUCHOTECHNICKÝMI SYSTÉMY**

ANALYSIS OF FIRE SPREAD THROUGH VENTILATION SYSTEMS

Vypracovala: Bc. Magda Petráková

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

2018

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Magda Petráková

Název diplomové práce: Analýza rizik šíření účinku požáru vzduchotechnickými systémy

Základní část: Analýza rizik šíření účinku požáru podíl: 100 %
vzduchotechnickými systémy

Formulace úkolů:

1) Rozbor tradičních a novodobých VZT systémů (materiálové a konstrukční řešení potrubí)

2) Analýza požárních rizik VZT systémů

3) Problematika instalačních prostupů v místě požárně dělící konstrukce (ucpávky, klapky, potrubí) a v místě vyústění vně budovy

4) Kritická rešerše stávající ČSN 73 0872: 1996

5) Matematický CFD model šíření účinku požáru VZT potrubím

Podpis vedoucího DP: Datum:

Prípadné ďalšie časti diplomovej práce (časti a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: - podíl: - %

Konzultant (jméno, katedra): -

Formulace úkolů: -

-

-

Podpis konzultanta: Datum:

3. Část: - podíl: - %

Konzultant (jméno, katedra): -

Formulace úkolů: -

-

-

Podpis konzultanta: Datum:

4. Část: - podíl: - %

Konzultant (jméno, katedra): -

Formulace úkolů: -

-

-

Podpis konzultanta: Datum:

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

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem na této diplomové práci pracovala samostatně pod odborným vedením Ing. Marka Pokorného, Ph.D. a informace jsem čerpala z uvedených zdrojů.

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

V Praze dne 3. 1. 2018

Bc. Magda Petráková

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Marku Pokornému, Ph.D. za poskytnutí pravidelných konzultací, při kterých jsem získala mnoho věcných rad a připomínek. Především pak za jeho pomoc při přípravě a samotné realizaci laboratorního požárního experimentu. Dále bych ráda poděkovala za poskytnutí osobní odborné konzultace panu Ing. Stanislavu Tomanovi. Děkuji za poskytnutí textilního materiálu použitého pro požární zkoušky panu Ing. Lukáši Kadrmasovi, zástupci firmy Příhoda s.r.o. V neposlední řadě posílám velké díky své rodině a příteli za psychickou podporu a poskytnutí výborných podmínek ke studiu.

Obsah

Abstrakt	.....	IV
Abstract	.....	IV
Seznam použitých symbolů a zkratk	.....	V
1 Úvod	.....	1
1.1 Motivace	.....	1
1.2 Cíle	.....	1
1.3 Struktura	.....	2
2 Současný stav poznání	.....	3
2.1 Tradiční a novodobé vzduchotechnické systémy	.....	3
2.1.1 Nucené podtlakové větrání	.....	4
2.1.2 Nucené rovnotlaké větrání	.....	5
2.1.3 Nucené přetlakové větrání	.....	8
2.1.4 Hybridní větrání	.....	8
2.1.5 Netradiční vedení vzduchotechnického potrubí	.....	9
2.1.6 Rekuperační jednotka	.....	10
2.2 Vzduchotechnické rozvody	.....	11
2.2.1 Potrubí	.....	11
2.2.2 Distribuční prvky – vyústky	.....	13
2.2.3 Izolace potrubí	.....	14
2.3 Zkoušení a klasifikace	.....	15
2.3.1 Třída reakce na oheň	.....	16
2.3.2 Požární odolnost	.....	18
2.3.3 Stupně hořlavosti	.....	20
2.4 Prvky systémů s požárními vlastnostmi	.....	20
2.4.1 Požární klapky	.....	21
2.4.2 Požární stěnové uzávěry	.....	22
2.4.3 Požární ventily	.....	23
2.5 Řešení prostupů potrubí	.....	23
2.5.1 Prostupy na hranici požárně dělících konstrukcí – požární ucpávky	.....	23
2.5.2 Prostupy na hranici obvodových stěn	.....	24
2.6 Požární rizika	.....	25
2.6.1 Příčiny požárů	.....	25
2.6.2 Požár rozšířený potrubím	.....	27
2.6.3 Usazeniny v potrubí	.....	28
2.6.4 Příklady chyb aplikací požárního zabezpečení rozvodů ve stavbách	.....	29
2.7 Kritická rešerše ČSN 73 0872	.....	29
2.8 Závěr	.....	31
3 Matematický model – šíření účinku požáru vzduchotechnickým potrubím	.....	33
3.1 Výpočetní program FDS (Fire Dynamics Simulator)	.....	33
3.2 Vstupní data	.....	34
3.2.1 Zkušební pec	.....	34

3.2.2	Plynový hořák	35
3.2.3	Měřicí zařízení	35
3.2.4	Stanovení výkonu hořáku.....	36
3.2.5	Definice použitých materiálů	37
3.2.6	Výpočetní síť	38
3.2.7	Výpočetní čas	39
3.3	Matematický model zkušební pece – MM0	39
3.3.1	Popis modelu.....	39
3.3.2	Výsledky	40
3.4	Matematický model požárně odolného potrubí uvnitř pece – MM1	40
3.4.1	Popis modelu.....	40
3.4.2	Výsledky	41
3.5	Matematický model potrubí s vyústkami – MM2.....	42
3.5.1	Popis modelu.....	42
3.5.2	Výsledky	43
4	Laboratorní požární experiment	45
4.1	Měřicí zařízení	45
4.2	Plynový hořák	46
4.2.1	Výkon hořáku.....	47
4.3	Materiály	47
4.4	Referenční požární zkouška zkušební pece – PZ0.....	48
4.4.1	Postup přípravy	48
4.4.2	Průběh	48
4.4.3	Výsledky	48
4.5	Požární zkouška požárně odolného pozinkovaného potrubí – PZ1	49
4.5.1	Postup přípravy	49
4.5.2	Průběh	51
4.5.3	Výsledky	51
4.6	Požární zkouška pozinkovaného potrubí s vyústkami – PZ2	52
4.6.1	Postup přípravy	52
4.6.2	Průběh	53
4.6.3	Výsledky	54
4.7	Požární zkouška pozinkovaného potrubí s vyústkami a navazujícím textilním potrubí vně pece – PZ3.....	55
4.7.1	Postup přípravy	55
4.7.2	Průběh	56
4.7.3	Výsledky	56
4.8	Požární zkouška pozinkovaného potrubí s vyústkami a navazující textilní vyústkou vně pece – PZ4.....	58
4.8.1	Postup přípravy	58
4.8.2	Průběh	59
4.8.3	Výsledky	59
5	Diskuze získaných výsledků	61

5.1	Matematický model MM0 a požární zkouška PZ0.....	61
5.2	Matematický model MM1 a požární zkouška PZ1.....	62
5.3	Matematický model MM2 a požární zkouška PZ2.....	63
6	Závěr	66
6.1	Závěr teoretické části	66
6.2	Závěr praktické části	66
6.3	Doporučení pro další činnost	67
	Příloha 1 – Tabulka skutečných požárů	68
	Příloha 2 – Tabulka výkonů hořáku pro matematické modely	69
	Příloha 3 – Tabulka výkonů hořáku pro požární zkoušky	70
	Příloha 4 – Zdrojový kód – Matematický model MM0.....	71
	Příloha 5 – Zdrojový kód – Matematický model MM1.....	73
	Příloha 6 – Zdrojový kód – Matematický model MM2.....	76
	Seznam obrázků.....	79
	Seznam tabulek	82
	Literatura	83

Abstrakt

Předmětem této diplomové práce je problematika požárních rizik vzduchotechnických systémů. První část je věnována obecným znalostem. Popsány jsou základní vzduchotechnické systémy budov, materiálové řešení potrubních rozvodů a jejich izolací. Z hlediska požární bezpečnosti staveb pak klasifikace dle tříd reakce na oheň a zkoušení požární odolnosti vzduchotechnických potrubí a požárních klapek. Shrnuty jsou komponenty s požárními vlastnosti osazované na potrubí, tj. požární klapky, požární stěnové uzávěry a ventily. Konkrétními příklady reálných požárů je poukázáno na nejčastější příčiny vzniku a rozšíření požáru souvisejících s větracími systémy budov. Šíření požáru vzduchotechnickým zařízením je řešeno v národní normě ČSN 73 0872 z roku 1996. Práce dále řeší problematiku neaktuálnosti této normy a možné body její změny. Druhá polovina práce je věnována matematickým modelům šíření účinků požáru vzduchotechnickým potrubím a jejich ověření na laboratorním požárním experimentu. Jedná se o celkem pět malorozměrových požárních zkoušek, které mají za úkol sledovat teploty uvnitř potrubí a na jeho povrchu. Zkoušky jsou zaměřeny na sledování chování pozinkovaného a textilního materiálu používaného na potrubní rozvody.

Klíčová slova

Vzduchotechnický systém; potrubí; požární izolace; požární klapka; Fire Dynamics Simulator (FDS); matematický model; požární zkouška; textil

Abstract

The subject of this diploma thesis is a fire risk analysis for ventilation systems. The first part is devoted to a general information. The basic ventilation systems of the buildings, the material solution of pipelines and their insulation are described, from the fire safety point of view of the fire safety of the buildings, classification according to the classes of reaction to fire and testing of fire resistance of ventilation pipes and fire dampers. The components with fire features fitted to the pipeline, i.e. fire dampers, fire wall shutters, and valves are summarized. Specific examples of real fires point to the most common causes of fire and spreading of fire related to building ventilation systems. The spread of fire by ventilation equipment is dealt with in the national standard ČSN 73 0872 from 1996. This work also addresses the issue of the out-of-date standard and parts which could possibly be change. The second half is devoted to mathematical models fire spread effects through air ducts and their verification on a laboratory fire experiment. This includes a total of five small-scale fire tests with the purpose of monitoring the temperatures inside and on the pipeline. The tests are aimed at monitoring the behavior of galvanized and textile materials used in piping.

Keywords

Ventilation system; duct; fireproof insulation; fire damper; Fire Dynamics Simulator (FDS); mathematical model; fire test; textile

Seznam použitých symbolů a zkratek

Latinské symboly

A	Plocha	m ²
a _n	Součinitel nahodilého požárního zatížení	-
a _s	Součinitel stálého požárního zatížení	-
c	Měrná tepelná kapacita	J/(kg.K)
d	Tloušťka	m
h	Požární výška	m
p _n	Nahodilé požární zatížení	kg/m ²
p _s	Stálé požární zatížení	kg/m ²
t	Teplota	°C
T _g	Teplota kouřové vrstvy	°C

Řecké symboly

λ	Součinitel tepelné vodivosti	W/(m.K)
ρ	Objemová hmotnost	kg/m ³

Zkratky

A1, A2, B, C, D, E, F	Třída reakce na oheň
CFD	Computational Fluid Dynamics
CO ₂	Oxid uhličitý
d0, d1, d2	Doplňková klasifikace dle výskytu plamenně hořících kapek
DHZ	Doplňkové sprinklerové hasící zařízení
EPS	Elektrická požární signalizace
FDS	Fire Dynamics Simulator (software)
min.	Minimální
max.	Maximální
MM	Matematický model
PZ	Požární zkouška

s1, s2, s3	Doplňková klasifikace dle vývinu kouře
SHZ	Sprinklerové stabilní hasící zařízení
TC	Termoelektrický článek (termočlánek)
tl.	Tloušťka
VZT	Vzduchotechnika / Vzduchotechnický
ZZT	Zpětné získání tepla

1 Úvod

1.1 Motivace

V současnosti je kladen čím dál větší důraz na úsporu energie, minimalizaci nákladů v průběhu užívání stavby a využívání nových a moderních systémů pro zkvalitnění vnitřního prostředí. Stavebnictví spěje k výstavbě nízkoenergetických či pasivních domů a k vývoji izolačních materiálů pro obálku budov, zejména zateplovacích systémů a výplní otvorů. V souvislosti s tímto kompletním zaizolováním objektů je nutno řešit a navrhovat systémy, které nám umožní zajistit vnitřní pohodu prostředí. Jedná se o VZT systémy, sloužící k výměně a úpravě vzduchu vnitřních prostor.

V objektech jsou v čím dál větší míře zřizovány, případně i modernizovány VZT systémy, které je nutné řešit i z hlediska požární bezpečnosti. Hlavní problém je v první řadě šíření účinku požáru mezi jednotlivými požárními úseky. Slabými místy jsou především prostupy požárně dělícími konstrukcemi, které v praxi nemusí být často kvalitně a odborně provedené. To přináší velké riziko jak pro osoby, tak pro stavbu samotnou. Účinky požáru, jako například toxické zplodiny hoření se tak mohou nekontrolovatelně šířit do sousedních požárních úseků.

Dalším problémem je rychlý vývoj a modernizace VZT systémů a používání nových technologií a materiálů, kdy toto často není v jednom kroku s technickými a právními předpisy a legislativou (například ČSN 73 0872 Požární bezpečnost staveb – Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízení z roku 1996).

1.2 Cíle

Cíle diplomové práce korespondují s jednotlivými kapitolami a jsou tak rozděleny celkem do čtyř hlavních bodů:

- Seznámení se stavem poznání problematiky VZT zařízení v budovách v návaznosti na požární bezpečnost objektu a kritickou rešerši normy ČSN 73 0872.
- Zhotovení matematických modelů šíření účinků požáru VZT potrubím.
- Uskutečnění laboratorního požárního experimentu navazujícího na matematické modely.
- Validace a porovnání matematických modelů s reálným průběhem požárního experimentu.

1.3 Struktura

Kapitola 1 s názvem „Úvod“ obsahuje úvodní motivaci, cíle seminární práce a strukturu jednotlivých kapitol.

Kapitola 2 s názvem „Současný stav poznání“ se zabývá obecným popisem jednotlivých vzduchotechnických systémů budov, jejich materiálů a požárních komponentů, dále jejich klasifikací a stanovováním požární odolnosti. Zabývá se reálnými požárními riziky a problematikou neaktuálnosti normy ČSN 73 0872.

Kapitola 3 s názvem „Matematický model – šíření účinku požáru vzduchotechnickým potrubím“ řeší vypracování matematických CFD modelů šíření účinků požáru vzduchotechnickým potrubím vytvořených v programovém rozhraní FDS.

Kapitola 4 s názvem „Laboratorní požární experiment“ navazuje na předchozí kapitolu a popisuje uskutečnění laboratorního požárního experimentu celkem pěti požárními zkouškami. Požáru je vystaveno několik variant VZT potrubí.

Kapitola 5 s názvem „Diskuze získaných výsledků“ shrnuje předchozí dvě kapitoly a provedena je validace a porovnání výsledků matematických modelů s laboratorními požárními zkouškami.

Kapitola 6 s názvem „Závěr“ kompletně shrnuje problematiku řešenou v diplomové práci a možnosti dalšího rozvíjení řešeného tématu.

Příloha 1 – Tabulka skutečných požárů

Příloha 2 – Tabulka výkonů hořáku pro matematické modely

Příloha 3 – Tabulka výkonů hořáku pro požární zkoušky

Příloha 4 – Zdrojový kód – Matematický model MM0

Příloha 5 – Zdrojový kód – Matematický model MM1

Příloha 6 – Zdrojový kód – Matematický model MM2

2 Současný stav poznání

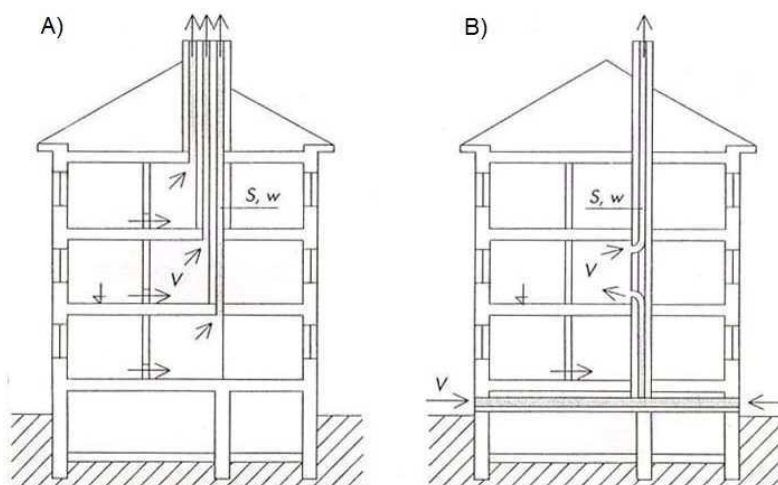
2.1 Tradiční a novodobé vzduchotechnické systémy

Obecně lze větrání objektů rozdělit na dva způsoby. Jedním způsobem je přirozené větrání, které je zajištěno přirozeným přívodem vzduchu, buď přímým otevřením okenních otvorů nebo jejich infiltrací (průvzdušností). Další možností je použití přirozeného větrání zajištěného prouděním vzduchu šachtami, tj. šachtové větrání, kdy je z jednotlivých vnitřních prostor odváděn vzduch samostatnou šachtou (Obr. 1A), nebo jedna šachta slouží jak pro přívod, tak i pro odvod vzduchu (Obr. 1B) [1].

Přirozené způsoby větrání nejsou příliš stabilní. Jsou ovlivněny povětrnostními podmínkami, rozdílné jsou v závislosti na ročním období. Jiné je venkovní klima v létě a jiné v zimě. Trendem poslední doby je snižování nákladů na energie a vytápění. Jsou kladeny vyšší nároky na dostatečnou tepelnou ochranu obálky budovy a přirozený způsob větrání je považován za nedostatečný. Proto se dnes k větrání vnitřních prostor používají převážně nucené způsoby větrání a přistupuje se k návrhu vnitřních VZT systémů, kde je hlavním prvkem těchto systémů ventilátor [1], [2].

Způsoby nuceného větrání budov můžeme rozdělit následovně [2]:

- nucené podtlakové větrání,
- nucené rovnotlaké necentrální,
- hybridní větrání,
- nucené přetlakové větrání.



Obr. 1 Šachtové větrání: A) pouze odvod vzduchu šachtami; B) přívod i odvod vzduchu šachtami ¹

¹ <http://panelovedomy.ekowatt.cz/vetrani/25-prirozene-vetrani.html>

Systémy je možné dále dělit podle příslušnosti na [2]:

- centrální,
- lokální.

Výše vypsané systémy nuceného větrání jsou popsány v následujících podkapitolách 2.1.1 až 2.1.3.

2.1.1 Nucené podtlakové větrání

Nucené podtlakové větrání lze rozdělit podle umístění hlavního větracího prvku, tj. ventilátoru na centrální a lokální systém. Obecné řešení podtlakového větrání pro budovy je nucený odvodem vzduchu z prostor hygienického zázemí a kuchyně (místnosti se zdrojem škodlivin a vlhkosti) odváděcím potrubím skrze instalační šachty. Přívodní vzduch je dopravován z venkovního prostředí pomocí přívodních otvorů v obvodových konstrukcích nebo otvorů zakomponovaných do okenních výplní. Tyto otvory jsou převážně umísťovány pod okna, za nebo nad topná tělesa, případně nad okenní otvory pod stropní konstrukcí. Mohou mít různý průřez, většinou se používají kruhové, obdélníkové, případně úzké šterbiny. Zpravidla jsou osazeny vzduchovými filtry, tlumiči hluku a uzavíracími prvky.

Předehřátí přiváděného venkovního vzduchu je umožněno průchodem kolem topných těles. Množství přiváděného a odváděného vzduchu lze korigovat ventilátory, popřípadě mají větrací otvory zabudovaný termostatický ventil, který na základě teploty venkovního vzduchu reguluje průtok. Mezi hlavní výhody tohoto systému patří jednoduché provedení a poměrně nízké pořizovací náklady. Nevýhodou jsou vyšší náklady v průběhu užívání stavby na ohřev přiváděného vzduchu [2].

Centrální podtlakový systém

Systém byl dříve hojně používán v obytných domech panelové výstavby. Hlavní prvek, tj. centrální ventilátor je osazen na svislé odváděcí potrubí v nejvyšším místě budovy, zpravidla v podkroví, nebo nad rovinou střechy (Obr. 2a). Dříve aplikované ventilátory bylo možno ovládat uživatelem každého bytu v místě průchodu větracího potrubí do instalační šachty. Takový systém je z hlediska hospodárnosti nevyhovující, jelikož v případě spuštění ventilátoru v jedné bytové jednotce jsou nuceně odvětrávány, mnohdy zbytečně, i ostatní jednotky napojené na tento rozvod.

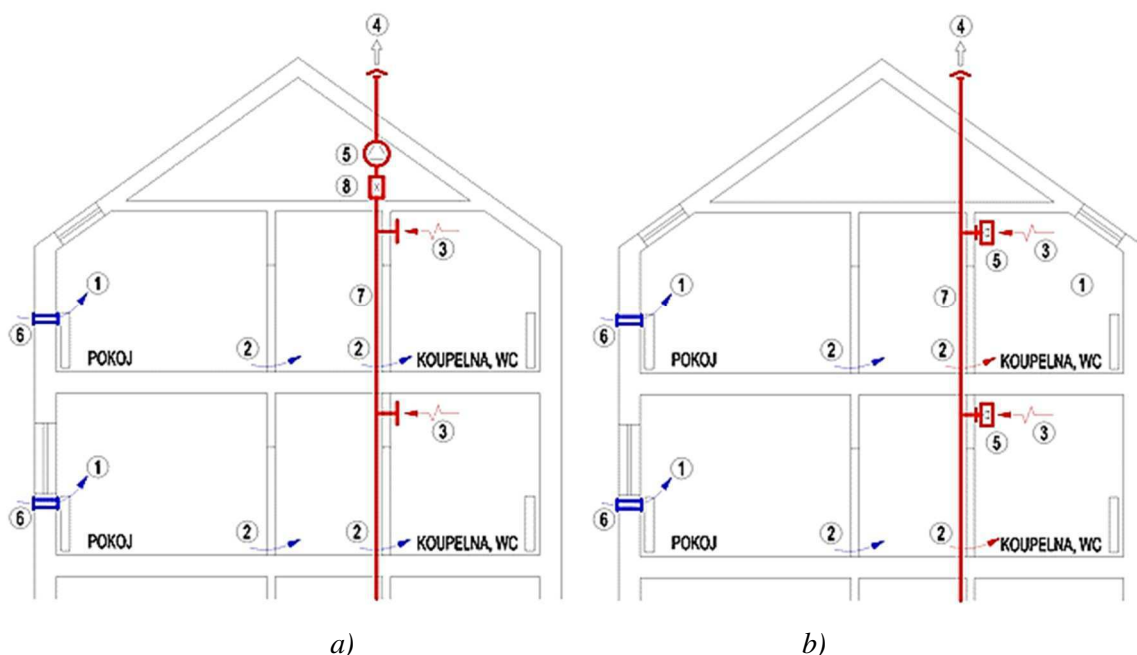
Dnes se přistupuje k návrhu systému trvalého větrání řízeného na základě potřeby, kdy musí být systém opatřen ventilátorem s regulací otáček. Nutné je myslet při návrhu i na hluk, který s sebou centrální ventilátor přináší a řešit protihluková opatření (tlumič hluku). Výhodou je fakt, že je odváděcí potrubí v podtlaku a není umožněno například šíření nežádoucích pachů mezi bytovými jednotkami [1], [2].

Lokální podtlakový systém

Tento systém již nevyužívá jednoho centrálního ventilátoru, ale odvod vzduchu je zajištěn pomocí malých lokálních ventilátorů, osazených v každém větraném prostoru (WC, koupelna, kuchyň).

Odvádí znehodnocený vzduch odvětrávacím potrubím převážně nad střechu objektu (Obr. 2b). Případně může být osazeno na jeden ventilátor více odváděcích hrdel a odvádět tak vzduch z více místností najednou. Ventilátor je možné osadit do podhledové konstrukce, nebo přímo do instalační šachty.

Výhodou je možnost spouštění jednotlivých ventilátorů samostatně, v rámci každé bytové jednotky, tím je tak tento systém úspornější oproti předešlému. Z důvodů umístění ventilátoru v obytných prostorech je nutné osazovat ventilátory s nízkou hlučností, zároveň mají poměrně nízkou účinnost výměny vzduchu. Při tomto způsobu větrání je odváděný vzduch v přetlaku, tím může dojít k průniku pachů do okolních bytů. Tomuto ději zabraňuje umístění filtračních prvků a zpětné klapky do odsávacích zákrytů [1], [2].



Obr. 2 Nucené podtlakové větrání: a) centrální; b) lokální [3]

Popis: 1 – přiváděný venkovní vzduch, 2 – převáděný vzduch, 3 – odváděný vzduch, 4 – odpadní vzduch, 5 – odvodní ventilátor, 6 – přívodní větrací otvor, 7 – potrubní síť, 8 – tlumič hluku

2.1.2 Nucené rovnotlaké větrání

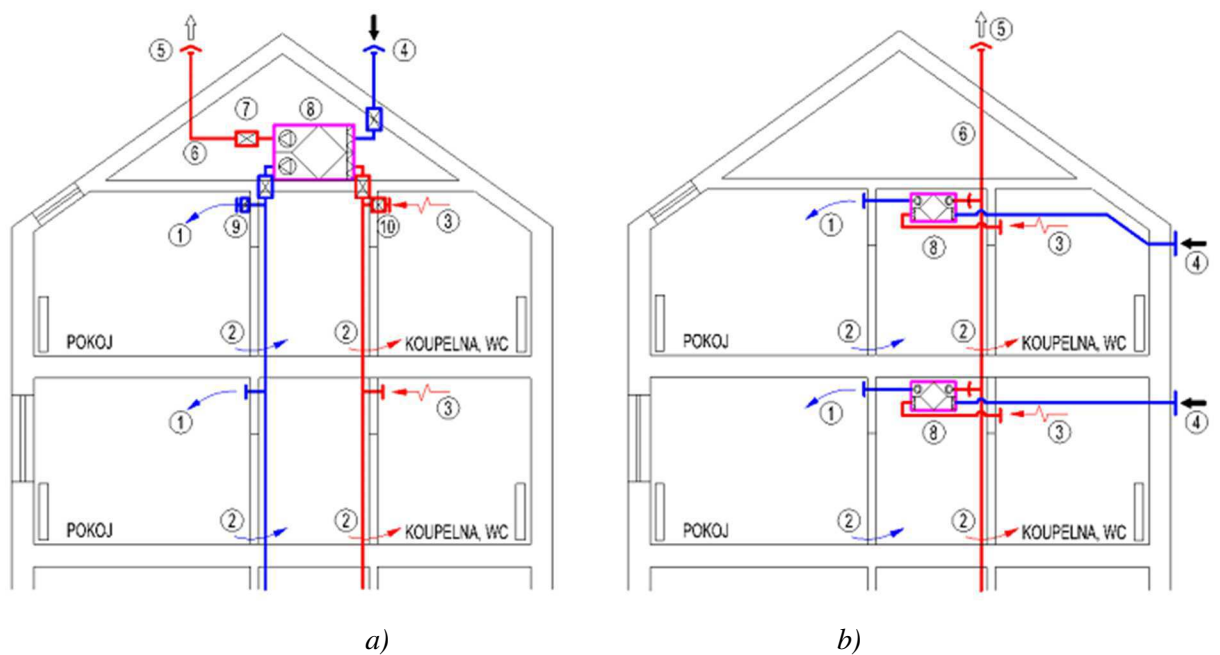
Systém nuceného rovnotlakého větrání zajišťuje jak přívod, tak i odvod vzduchu nuceně, tedy prostřednictvím ventilátorů. Z hygienických důvodů se navrhuje převážně v oblastech s nadměrným vnějším hlukem, nebo s vyšším znečištěním venkovního ovzduší. Tento systém nám dovoluje využít zpětné získání tepla (ZZT) z odváděného vzduchu a snížit potřebu tepla pro ohřátí venkovního vzduchu. Základní skladba tohoto VZT systému je tvořena zpravidla dvěma ventilátory pro přívod a odvod vzduchu umístěnými v ucelené VZT jednotce obsahující filtraci přiváděného vzduchu, výměník ZZT, popřípadě i ohřívač, který slouží k dohřátí přiváděného vzduchu.

Výhodou ventilátorů je umožnění regulace výkonu (regulace otáček), čímž dochází k řízení systému na základě potřeby. Mezi nevýhody můžeme řadit vyšší náklady na pořízení, případně náklady na provoz ventilátorů, kdy dochází k tlakové ztrátě potrubí a výměníku ZZT. Větrací jednotka je rozměrná a nutné je řešit i její umístění vzhledem k velikosti vnitřních prostor.

Centrální rovnotlaký systém

Hlavním prvkem tohoto systému je centrální VZT jednotka zajišťující přívod a odvod vzduchu a jeho úpravu (filtraci a přehřev). Doprava vzduchu do a z vnitřního prostoru budovy je zajištěna dvěma vzduchovody, jeden pro přívod, druhý pro odvod vzduchu. Důležité je dodržení minimální vzdálenosti potrubí pro sání a výfuk, tak aby nedocházelo k vzájemnému ovlivňování. Centrální VZT jednotka může být např. umístěna v podkroví objektu (Obr. 3a). K docílení rovnoměrného provětrání slouží distribuční elementy např. trysky.

Centrální větrací jednotka sloužící pro více místností musí umožnit vyrovnaní tlaků v přívodním a odvodním potrubí, pro individuální potřeby obyvatel, pomocí ventilátorů s proměnnými otáčkami. Nutností je vybavit ventilátory tlumiči hluku, které zabrání přenosu nežádoucího hluku jak mezi vnitřními prostory, tak i do venkovního prostředí. Za nevýhodné můžeme považovat náklady na provoz systému.



Obr. 3 Nucené rovnotlaké větrání: a) centrální; b) lokální [3]

Popis: 1 – přiváděný venkovní vzduch, 2 – převáděný vzduch, 3 – odváděný vzduch, 4 – sání venkovního vzduchu, 5 – odpadní vzduch, 6 – potrubní síť, 7 – tlumič hluku, 8 – větrací jednotka se ZZT, 9 – alternativní ohřev, 10 – přeslechový tlumič

Lokální rovnotlaký systém

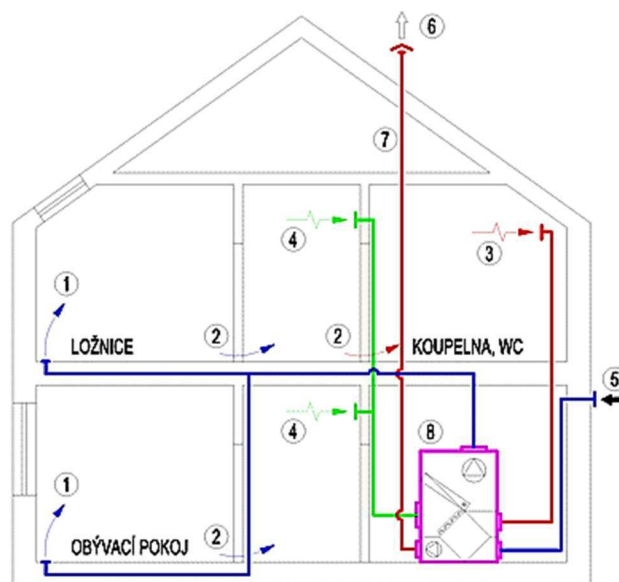
Zdrojem větrání je v tomto případě poměrně malá větrací jednotka, umístěna přímo do větraných prostor, často zabudovaná v konstrukci podhledu. Vzduch je přiváděn buď společným potrubím instalační šachtou nebo jednotlivými přívody přes fasádu objektu (Obr. 3b). Znehodnocený vzduch je odváděn společným odvodem s vyústěním nad střechu objektu.

Za nevýhody se považuje poměrně nízká účinnost ventilátorů, vyšší nároky na umístění větrací jednotky a vzduchovodů přímo ve vnitřních prostorech, s čímž souvisí i nutnost použití prvků pro odhlučnění jednotky. Naopak mezi výhody se řadí vlastní dohled a správa nad systémem a také náklady na provoz [2].

Teplovzdušné vytápění

Systém dohromady kloubí teplovzdušné vytápění a větrání objektu. Otopnou plochu pro ohřev vzduchu tvoří výměník (ohřívač) umístěný ve VZT jednotce (Obr. 4), který ohřívá přiváděný vzduch na potřebnou teplotu pro vyrovnání tepelné ztráty objektu.

Obtížné je ovládání teploty v jednotlivých místnostech. Systém se navrhuje na pokrytí tepelné ztráty objektu, čímž je tak překročena minimální nutná hygienická potřeba vzduchu pro větrání. Použití se v současnosti uplatňuje ve výstavbě nízkoenergetických a pasivních novostaveb, především v menších objektech jako jsou rodinné domy a budovy z konstrukcí s nízkou akumulací hodnotou např. dřevostavby. VZT systém rychle reaguje na změnu teplotních podmínek v objektu [2].

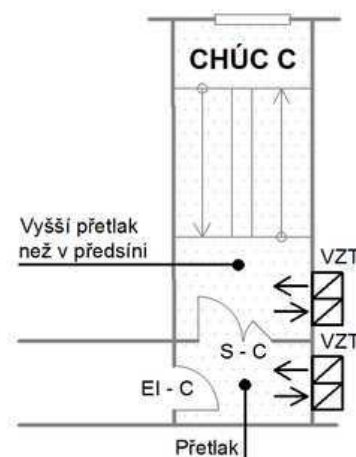


Obr. 4 Teplovzdušné vytápění [3]

Popis: 1 – přiváděný vzduch, 2 – převáděný vzduch, 3 – odváděný vzduch, 4 – oběhový vzduch, 5 – sání venkovního vzduchu, 6 – odpadní vzduch, 7 – potrubní síť, 8 – větrací jednotka se ZZT, cirkulací a ohřevem

2.1.3 Nucené přetlakové větrání

System řeší přívod vzduchu nuceně pomocí ventilátoru. Předem upravovaný přiváděný vzduch, tj. filtrovaný a ohřátý, je nuceně vháněn do centrální místnosti větraného prostoru a dále se větrací vzduch šíří samovolně přetlakem do okolních místností. Odpadní vzduch je odváděn přes netěsnosti výplní otvorů, nebo přímo průduchy v obvodových konstrukcích. Nevýhodou systému je závislost proudění vzduchu na změnách odporu mezi jednotlivými místnostmi, tj. otevírání a zavání dveří. Výhodná je jednoduchost systému a nižší náklady na pořízení např. oproti centrálnímu rovnotlakému systému [4].



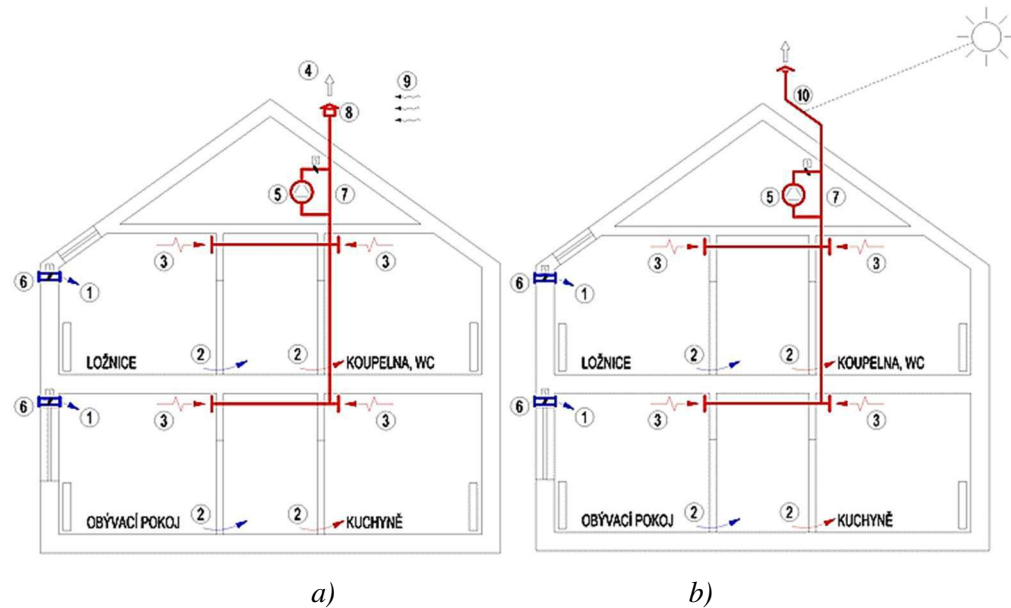
Obr. 5 Půdorys CHÚC typu C s přetlakovým větráním²

System přetlakového větrání se dále uplatňuje pro požární větrání chráněných únikových cest (CHÚC). Základním předpokladem je vytvoření potřebného přetlaku v prostoru CHÚC, čímž dojde k zamezení průniku kouře a zplodin hoření do únikové cesty. Přetlakové větrání je navrhováno pro CHÚC typu B a C (Obr. 5). Normou jsou kladeny požadavky na minimální hodnotu přetlaku mezi prostory, tj. 25 Pa, případně 12 Pa při vybavení přilehlých požárních úseků SHZ nebo DHZ, pro CHÚC typu B. CHÚC typu C je vybavena požární předsíní. Mezi jednotlivými prostory je stanovena minimální hodnota přetlaku 25 Pa, případně 12,5 Pa, kdy je v okolních požárních úsecích instalováno SHZ. Hodnoty přetlaku u obou typů únikových cest nesmí překročit 100 Pa [5].

2.1.4 Hybridní větrání

System kombinuje použití přirozeného a nuceného větrání. Tyto režimy jsou vzájemně kombinovány a střídány, za účelem zkvalitnění vnitřního prostředí, bez větších nákladů na energie. System vyhodnocuje stav vnitřního prostředí na základě koncentrace CO₂ v budově pomocí senzorů CO₂ a koordinuje tak složky větracího zařízení, kdy využívá převážně prvky přirozeného větrání.

² <http://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13656-unikove-cesty>



Obr. 6 Hybridní větrání: a) samoodtahová hlavice; b) solární komín [3]

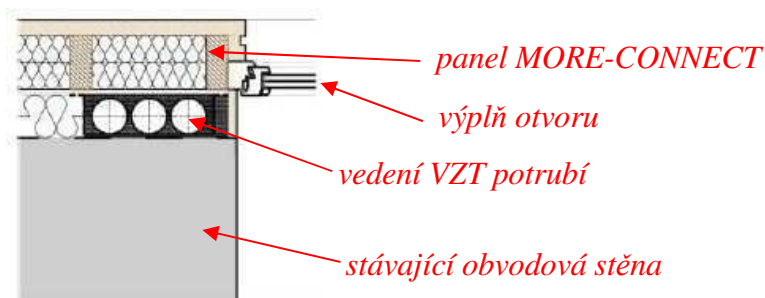
Popis: 1 – přiváděný venkovní vzduch, 2 – převáděný vzduch, 3 – odváděný vzduch, 4 – odpadní vzduch, 5 – aktivní prvek nuceného větrání (ventilátor), 6 – samoregulační vyústka se servopohonem, 7 – potrubní síť, 8 – samoodtahová hlavice, 9 – účinek větru, 10 – solární komín

Přívod větracího vzduchu je zajištěn pomocí samoregulačních vyústek se servopohonem umístěných v obvodových stěnách nad okenními či dveřními otvory. Odvod znehodnoceného vzduchu je zajištěn odtahovým potrubím nad střechu objektu, kde je osazena samoodtahová hlavice (Obr. 6a), která využívá účinek větru, případně solární komín (Obr. 6b). Výhodou je možnost manuálního ovládání a regulace přiváděcích vyústek. Naopak nevýhodné jsou větší dimenze prvků systému z důvodu návrhu přirozeného větrání [2].

2.1.5 Netradiční vedení vzduchotechnického potrubí

Výše popisované systémy řeší vedení VZT potrubí v útrokách objektů. U menších staveb jako jsou rodinné domy je vedení řešeno volně, případně zakryto lehkou konstrukcí. U objektů s více požárními úseky, jako jsou např. bytové domy, jsou tyto rozvody řešeny v rámci instalačních šachet. Systém MORE-CONNECT přichází i s jinou alternativou umístění vedení VZT a teplovzdušných rozvodů.

MORE-CONNECT je projekt pro vývoj prefabrikovaných multifunkčních prvků, sloužících k zateplení obálky stávajících převážně obytných budov. Jedná se o „na míru“ vyrobený dřevostavební panel, s možností integrace rozvodů médií, elektřiny a datových sítí. V panelu je umožněno zahrnout rozvod teplovzdušného vytápění s rekuperací tepla (Obr. 7), kdy se potrubí vede z kotelny k oknům jednotlivých místností.



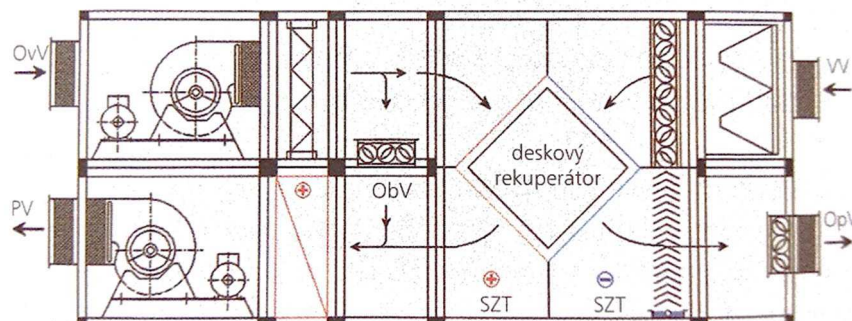
Obr. 7 Půdorys systému MORE-CONNECT s vyznačením vedení VZT potrubí [6]

Systém je zatím ve vývoji, ale lze předpokládat, že při rostoucích nárocích na energetickou úsporu stávajících objektů, se zdá být tato metoda zateplování rychlá a efektivní a má jistě potenciál se do budoucnosti rozvíjet. S tím související rekonstrukce, nebo případný návrh VZT systémů a její vedení v zateplovacích panelech, se zdá být vhodnou alternativou k dosavadnímu vedení těchto zařízení v útrobách objektů v instalačních šachtách [6].

2.1.6 Rekuperační jednotka

Rekuperace je způsob ZZT. V současnosti se tento systém pro úsporu energie využívá čím dál častěji, a to především u obytných budov. Jedná se o zařízení, které umožňuje využití odváděného odpadního vzduchu pro předehřev vzduchu přiváděného a přispívá k úsporám energie pro ohřev vzduchu. Rekuperační výměník pracuje na principu přímé výměny tepla přes teplosměnnou plochu.

V dnešní době je nejvíce používaným typem deskový rekuperační výměník (Obr. 8). Dokonale odděluje odpadní vzduch od přiváděného a je možné ho použít i pro odpadní vzduch znečištěný škodlivinami. Jako základní materiál se používá kov (ocel, hliník, nerez) nebo plast. Přenáší pouze citelné teplo, ale vyrábí se i speciální výměníky, které umožňují i přenos vlhkosti. Výměníky se vestavují do běžných centrálních VZT jednotek, případně do malých ventilátorových jednotek. U nízkoenergetických bytových domů se využívá dvojitý výměník, který dosahuje až 80 % účinnosti. Nevýhodou je špatná dostupnost pro čištění výměníků [2], [7].



Obr. 8 Deskový rekuperační výměník [7]

Popis: OvV – odváděný vzduch, PvV – přiváděný vzduch, Vv – vnější vzduch, OpV – odpadní vzduch, ObV – oběhový vzduch

2.2 Vzduchotechnické rozvody

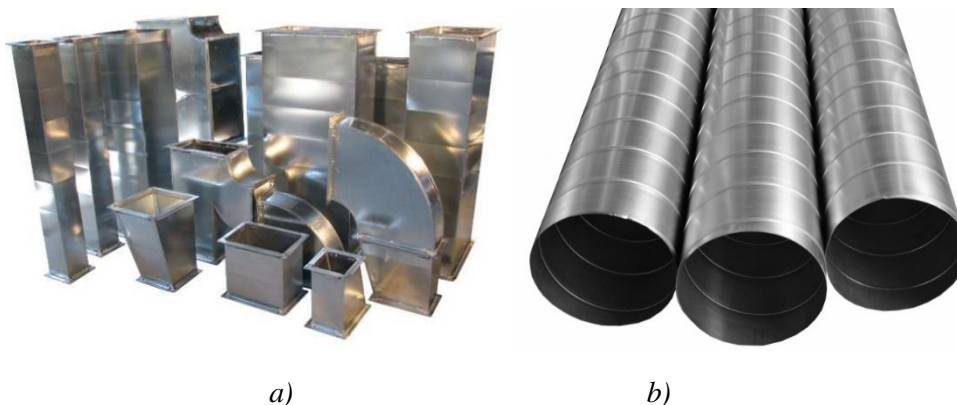
2.2.1 Potrubí

Vzduchovody jsou hlavní prvky VZT systémů. Vzduchovod neboli potrubní rozvod slouží k dopravě přírodního a odvodního větracího vzduchu. V dnešní době se pro výrobu VZT potrubí používá především kovový materiál, a to pozinkovaný plech. Stále častěji se, ale uplatňuje i použití plastových potrubí, nebo textilních materiálů. Tvary průřezů se používají nejčastěji čtyřhranné nebo kruhové, v provedení jak z pozinkovaného plechu, tak i z plastu a textilu. V následujících odstavcích budou tyto materiály podrobněji popsány.

Ocelový pozinkovaný plech

Jedná se o ocelový plech s povrchovou zinkovou úpravou. Čtyřhranné potrubí (Obr. 9a) je vyráběno z ocelového plechu nebo svitku. Jednotlivé dílce se spojují přírubami z úhelníků, v případě malých rozpětí z lisovaného plechu a spojují se šrouby, nebo bezšroubovými lištami. Mezi spoje jednotlivých dílců se vkládá těsnění. Čtyřhranné potrubí se používá pro vedení páteřních větví. Další variantou je kruhové neboli spiro-potrubí (Obr. 9b), které je vyráběno ze spirálně vinutého plechu. Tvarovky jsou vyráběny obdobně jako pro čtyřhranné potrubí, případně se pro menší průřezy lisují. Spojky potrubí jsou řešeny pomocí vnitřních a vnějších spojek samořeznými vruty nebo nýty a přelepeny hliníkovou nebo plastovou páskou [7].

Jedná se o tradiční materiál, který se ve vzduchotechnice používá od prvopočátku. Díky svým požárním vlastnostem, kdy se ocelový pozinkovaný plech řadí z hlediska hořlavosti jako materiál s třídou reakce na oheň A1 – tedy nehořlavý, je používán ve všech odvětvích.



Obr. 9 Ocelové pozinkované potrubí: a) čtyřhranné³; b) kruhové spiro-potrubí⁴

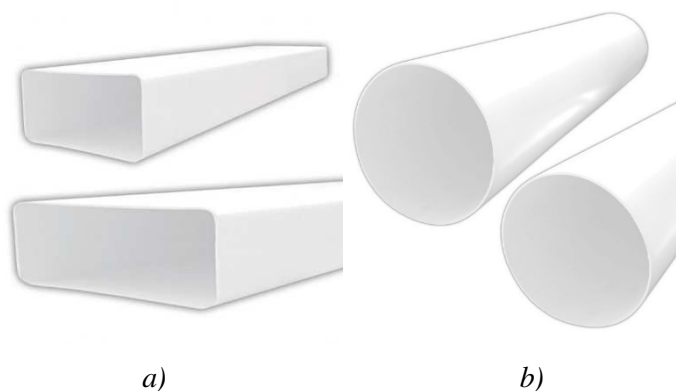
³ <http://airsvent.eu/cs/159-ctyrhranne-potrubi->

⁴ <http://www.ventilace.eu/spiro-potrubi-d29/>

Plast

Plast je v současnosti stále více používaný materiál. Pro rozvody VZT potrubí se převážně používá PVC (polyvinylchlorid). Průřezy se vyrábí čtyřhranné (Obr. 10a) i kruhové (Obr. 10b). Díly se vzájemně spojují vsuvnými spoji. Mezi výhody můžeme řadit snadnou montáž, dlouhou životnost a velký výběr tvarovek [2].

PVC potrubí není tak výhodné z hlediska požární bezpečnosti. Jedná se o značně hořlavé plastové výrobky. V případě požáru je plast nebezpečný pro vývin toxických zplodin hoření a odkapávání. Výrobci ve většině případů neudávají vlastnosti materiálu potrubí, tj. třídu reakce na oheň, což znamená omezení použitelnosti těchto prvků ve stavbách.



Obr. 10 Plastové potrubí: a) čtyřhranné; b) kruhové⁵

Textil

Textilní tkaniny pro použití ve vzduchotechnice jsou vyvíjeny již od konce minulého století. Hlavními kladnými vlastnostmi pro volbu tohoto materiálu je především jeho lehkost, nízká hlučnost při distribuci vzduchu, jednoduchost montáže, barevná variabilita. Jedná se o jediný potrubní systém, který se dá dokonale vyčistit praním v automatické pračce s možnou desinfekcí. Z tkanin se vyrábí potrubní rozvody především kruhových a půlkruhových průřezů, ale i čtvrtkruhových. Dá se docílit i čtyřhranného průřezu, za pomoci konstrukce držící potrubí v rozích nebo trojúhelníkového průřezu, umístěním zátěže v potrubí. Potrubí může být i izolované.

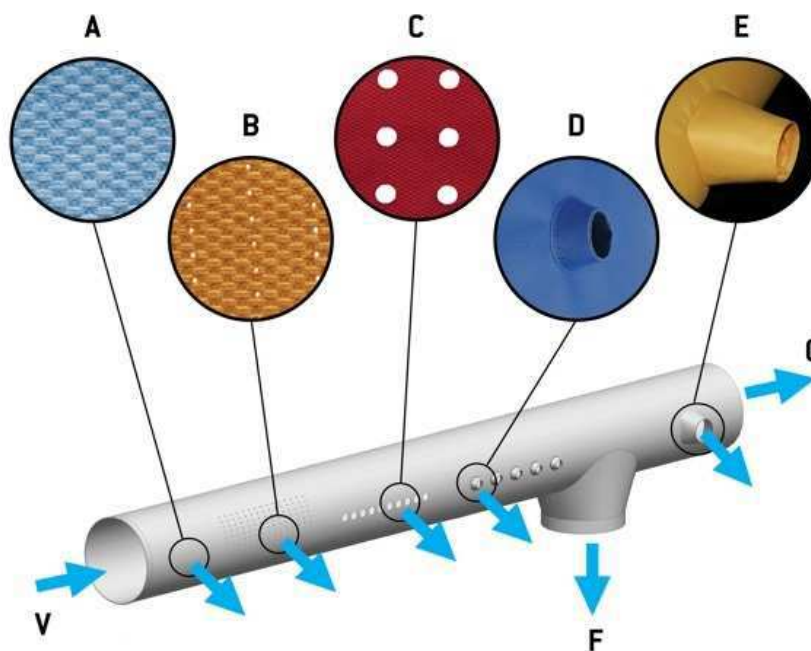
Několik druhů tkanin, které jsou vyráběny v České republice jsou dle ČSN EN 13501-1 certifikovány klasifikací třídy reakce na oheň převážně B – s1, d0, které velmi omezeně přispívají k růstu požáru, ale existuje i tkanina se zatříděním A2 – s1, d0. Použití těchto rozvodů se stále častěji uplatňuje např. v administrativních prostorách, školách, mateřských školách, kde je kladen hlavní důraz na velmi nízkou hlučnost distribuce vzduchu. Dále z hlediska hygieny a čistoty se používá v potravinářských provozech, v bazénech, sportovních halách, chemických a zemědělských provozech atd.⁶

⁵ <https://www.vzduchotechnika-ventilace.cz/vzduchovody/>

⁶ <http://www.prihoda.com/cs>

2.2.2 Distribuční prvky – vyústky

Pro distribuci vzduchu se na potrubní rozvody osazují vyústky. Slouží jak pro přívod, tak i odvod vzduchu z větraného prostoru. Jedná se o mřížky osazované na otvory v potrubních rozvodech. Pro usměrnění vzduchu slouží nastavitelné lamely. Materiálové provedení koresponduje s materiálem použitým na rozvody, na pozinkované potrubí se osazují vyústky z pozinkovaného plechu nebo eloxovaného hliníku [8]. Pro plastová potrubí se používají plastové PVC vyústky.



Obr. 11 Příklady textilních vyústek: A – prodyšná tkanina, B – mikroperforace, C – perforace, D – malá tryska, E – velká tryska, F – výstup vzduchu nástavcem, G – výstup vzduchu druhým koncem, V – přívod vzduchu⁷

Odlišné řešení mají textilní distribuční prvky. Za vyústku je v tomto případě považována délka tkaniny, která je opatřena buď různými perforacemi nebo tryskami různých průměrů (Obr. 11). Tato terminologie je často v praxi zaměňována a distribuční prvek je chybně označován za rozvod, tj. potrubí. Průřezy textilních vyústek jsou totožné jako pro potrubní rozvody, tj. především kruhové a půlkruhové, ale i čtvrtkruhové, čtyřhranné nebo trojúhelníkové průřezy. Druhy tkanin jsou použity obdobně jako pro textilní potrubí, tj. jsou taktéž klasifikovány a zatříděny dle třídy reakce na oheň (viz kapitolu 2.2.1)⁸. Příkladem je i použití textilní vyústky v učebně Fakulty stavební ČVUT v Praze (Obr. 12).

⁷ <http://www.prihoda.com/cs/distribuce-vzduchu>

⁸ <http://www.prihoda.com/cs/material>



Obr. 12 Textilní vyústka v učebně fakulty stavební ČVUT v Praze

2.2.3 Izolace potrubí

Izolaci VZT potrubí můžeme rozdělit do tří základních typů izolací [6]:

- tepelné,
- protihlukové,
- požární.

Tepelné izolace

Tepelné izolace potrubí se aplikují zejména z důvodu zamezení nežádoucích tepelných ztrát při dopravě teplého vzduchu, případně vzniku kondenzace při dopravě studeného vzduchu. Tloušťka této izolace je závislá na teplotě vzduchu v potrubí, okolní teplotě prostředí, vlhkosti a rosném bodu vzduchu. Materiál izolace se používá převážně minerální vata v tloušťce od 40 mm do 100 mm, nebo izolace z pěnového polyetyleny, které dosahují polovičních tloušťek oproti minerální vatě.

V dnešní době se do povědomí dostávají i materiály pro tepelné izolace VZT potrubí na bázi syntetického kaučuku. Jedná se o materiál s uzavřenou strukturou buněk, díky čemuž je možné používat tenčí vrstvy izolace. Výhodný je pro svou lehkou manipulativnost. Izolace se dodává v samolepicích pásech a aplikovat ji lze již před montáží potrubí. Výrobce pro tento materiál udává třídu reakce na oheň B, tedy nesnadno hořlavý [8].

Protihlukové izolace

Tyto izolace se navrhují v případě, kdy je potřebné zamezit šíření hluku do VZT potrubí, nebo naopak, chceme-li chránit akustické mikroklima místností před hlukem šířícím se v potrubí.

Požární izolace

Požární izolace se řadí mezi pasivní požární ochranu. Jedná se o materiály pro zaizolování potrubí, vynikají nehořlavostí, odolávají účinku vysokých teplot, tepelně izolují, dobře těsní a zachovávají si pevnostní vlastnosti i při vystavení vyšším teplotám. Požární izolace se na potrubí aplikuje v případě, kdy potrubí prochází více požárními úseky a je od něho požadována požární odolnost, tj. dle terminologie se jedná o chráněné potrubí neboli požárně odolné potrubí.

Požární izolace musí být atestované oprávněnou osobou – zkušebnou a prokázány tak jejich vlastnosti. Zkoušejí se buď jednotlivě izolace a jejich komponenty nebo celé požárně bezpečnostní systémy. Nejvhodnější je anorganický materiál na bázi minerálních látek, např. kamene (čedičová vata). Minerální izolace jsou nehořlavé materiály s reakcí na oheň A1 nebo A2. Bod tání minerální vaty je vyšší než 1000 °C. Jedná se o jeden z nejbezpečnějších materiálů. Nejenže nepřispívá k šíření požáru a vývinu kouře, ale svými vlastnosti je schopen požár tlumit.



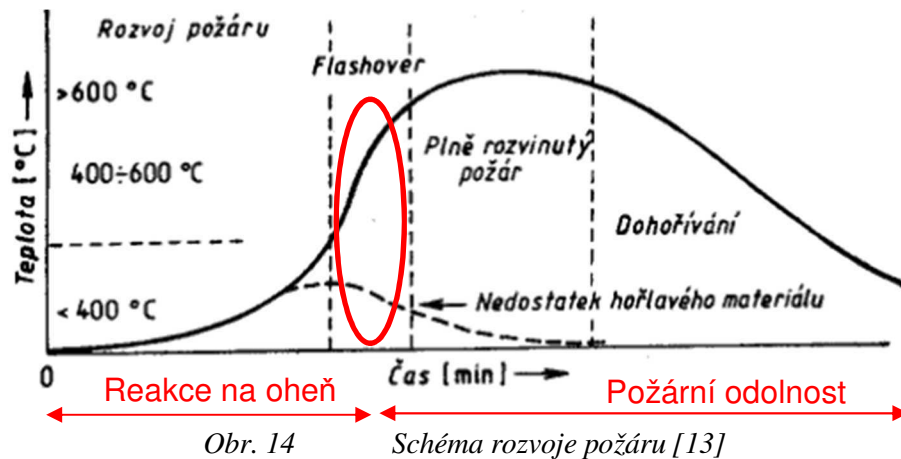
Obr. 13 Příklad požárně odolného potrubí (Knauf Insulation – Firestop)⁹

Izolace se vyrábí ve tvaru desek z vnější strany opatřených hliníkovou fólií pro čtyřhranné potrubí (Obr. 13). Pro kruhové potrubí se používají lamelové rohože s kolmo orientovanými vlákny s hliníkovou fólií nebo při vyšším požadavku požární odolnosti nad 60 minut se uplatňují rohože s drátěným pletivem. Kotvení izolace se provádí přímo na VZT potrubí pomocí přivařovacích trnů s kloboučky. Tento způsob kotvení je vyhovující pro požadovanou požární odolnost 30, 45 a 60 minut, pro vyšší požadavky 90 a 120 minut se používá speciální materiál [9], [10].

2.3 Zkoušení a klasifikace

Prvky VZT systémů, u kterých je požadováno zabezpečení proti šíření účinků požáru jsou klasifikovány podle normy ČSN EN 13501-1+A1 a na základě zkušebních metod jsou zařazeny do třídy reakce na oheň. Reakce výrobku na oheň je důležitá v počáteční fázi požáru do celkového vzplanutí prostoru (flashover) (Obr. 14). V případě, kdy je v časovém horizontu od prvku požadováno zajištění trvanlivosti vůči vystavení vysokým teplotám při požáru, tj. po „flashoveru“, se pro potrubí a požární klapky na základě normy ČSN EN 13501-3+A1 stanovuje požární odolnost [11], [12].

⁹ <http://www.knaufinsulation.cz/firestop>



2.3.1 Třída reakce na oheň

Zkušební metody

Pro klasifikaci výrobku a zjištění jeho třídy reakce na oheň jsou dle ČSN EN 13501-1+A1 používány čtyři následující zkušební metody [11]:

- **Zkouška nehořlavosti (ČSN EN ISO 1182)**

Na základě výsledku této zkoušky jsou výrobky rozříděny na ty, které nepřispívají nebo významně nepřispívají k požáru, používané pro klasifikace A1 a A2. Není přihlíženo ke konečné aplikaci prvku.

- **Stanovení spalného tepla (ČSN EN ISO 1716)**

Tato zkouška určuje nejvyšší množství uvolněného tepla, při níž prvek zcela shoří. Používána je pro klasifikaci A1 a A2. Není přihlíženo ke konečné aplikaci prvku.

- **Zkouška jednotlivým hořícím plamenem (ČSN EN 13823+A1)**

Zkouška určuje jak výrobek, který je vystaven účinku tepla hořícího předmětu nacházejícího se v rohu místnosti v těsné blízkosti zkoušeného výrobku přispívá k rozvoji požáru. Využívána je pro klasifikace A2, B, C, D i pro A1 v případě kdy je použito nesterjnorodého výrobku se každá důležitá složka zkouší jednotlivě.

- **Zkouška zápalnosti (ČSN EN ISO 11925-2)**

Touto zkouškou je výrobek vystaven působení malým plamenem, kdy je určována jeho zápalnost. Využívána je pro klasifikace B, C, D a E.

Třídy reakce na oheň

Dle ČSN EN 13501-1+A1 je rozeznáváno následujících sedm tříd reakce na oheň, do kterých jsou stavební výrobky jako celky (tj. včetně všech komponentů, např. těsnění, spojovacích prvků, závěsných systémů apod.) zařídovány na základě provedení výše popsanych zkušebních metod [11]:

- **Třída A1** – do této třídy se zařazují výrobky, které v žádném případě nepřispívají ke zvýšení požárního zatížení ani růstu požáru. Klasifikace stejnorodých výrobků a každá důležitá vrstva nestejnorodého výrobku zařazovaného do třídy A1 se zkouší podle zkoušky nehořlavosti (ČSN EN ISO 1182) a podle zkoušky stanovení spalného tepla (ČSN EN ISO 1716). V případě, kdy má vnější nedůležitá vrstva nestejnorodého výrobku spalné teplo větší než 2,0 MJ/kg a menší nebo rovno 2,0 MJ/m² se dále zkouší dle zkoušky jednotlivým hořícím plamenem (ČSN EN 13823).
- **Třída A2** – jedná se o výrobky, které při plně rozvinutém požáru významně nepřispívají ke zvýšení požárního zatížení ani k většímu růstu požáru. Klasifikace stejnorodých výrobků a každá důležitá složka nestejnorodého výrobku zařazovaných do třídy A2 se zkouší podle zkoušky nehořlavosti (ČSN EN ISO 1182) nebo podle zkoušky stanovení spalného tepla (ČSN EN ISO 1716), podle které se i samostatně zkouší i nedůležité složky výrobku.
- **Třída B** – výrobky splňující třídu C, ale jsou na ně kladeny přísnější požadavky.
- **Třída C** – výrobky splňující třídu D, ale jsou na ně kladeny přísnější požadavky a při vystavení plamenem hořícího předmětu omezeně rozšiřují požár.
- **Třída D** – výrobky splňující třídu E, které zároveň po delší dobu odolávají vystavení plamenem.

Klasifikace výrobků zařazovaných do tříd B, C a D se zkouší podle zkoušky zápalnosti (ČSN EN ISO 11925-2), kdy se plamen nechává na výrobek působit po dobu 30 vteřin. Dále se výrobek zkouší dle zkoušky jednotlivým hořícím plamenem (ČSN EN 13823).
- **Třída E** – výrobky, které při krátké době vystavení plamenem, tento plamen významně nerozšíří. Klasifikace výrobku zařazovaných do třídy E se zkouší podle zkoušky zápalnosti (ČSN EN ISO 11925-2), kdy se plamen nechává na výrobek působit po dobu 15 vteřin.
- **Třída F** – výrobky, které nesplňují kritéria pro zatřídění do třídy E nebo u nich nejsou kladeny požadavky na chování při požáru.

Doplňkové klasifikace

Vedle hlavních klasifikačních tříd jsou dále pro třídy reakce na oheň A2, B, C a D používány tzv. doplňkové klasifikace, které blíže specifikují další vlastnosti výrobku potrubí, kdy se sleduje vývin kouře (označení doplňkové klasifikace s1, s2, s3) a výskyt plameně hořících kapek nebo částic (označení doplňkové klasifikace d0, d1, d2) [11]:

- **Klasifikace s1, s2, s3** („s“ = smoke = kouř) pro vývin kouře se stanovují z výsledků naměřených při aplikaci zkušební metody jednotlivým hořícím plamenem (ČSN EN 13823), kdy nej přísnější požadavky jsou na klasifikaci s1. Klasifikace s2 omezuje celkový vývin kouře a poměrné navýšení množství kouře a pro klasifikaci s3 se nepožaduje žádné omezení vývinu kouře.

- **Klasifikace d0, d1, d2** („d“ = droplet = kapka) plamenně hořících kapek a částic se pozorují a klasifikují následovně:
 - U třídy E při zkoušce zápalnosti (ČSN EN ISO 11925-2) klasifikací d2
 - U tříd B, C a D při zkoušce zápalnosti (ČSN EN ISO 11925-2) a zkoušce jednotlivým hořícím plamenem (ČSN EN 13823) klasifikacemi d0, d1 a d2
 - U třídy A2 při zkoušce jednotlivým hořícím plamenem (ČSN EN 13823) klasifikacemi d0, d1 a d2

Nejpřísnější požadavky jsou pro klasifikaci d0, kdy nesmí vznikat žádné plamenně hořící kapky ani částice. U klasifikace d1 nesmí vznikat tyto částice po určitý čas a klasifikace d2 neurčuje žádná kritéria.

Příklad označení klasifikace třídy reakce na oheň textilních tkanin je následující:

B – s1, d0

2.3.2 Požární odolnost

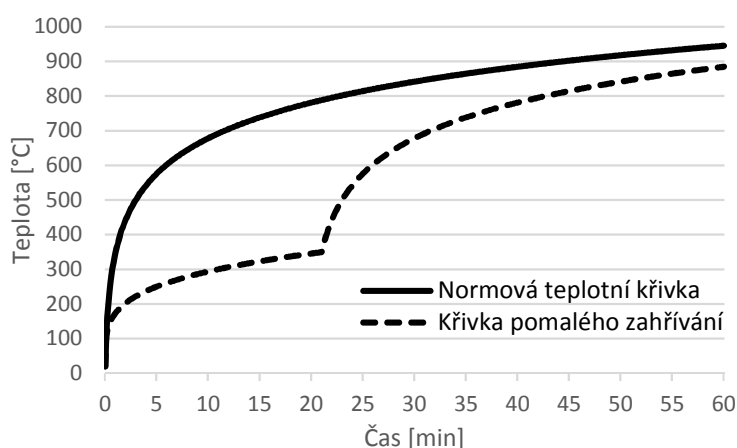
Požární scénáře

Požární odolnost VZT potrubí a požárních klapek se stanovuje na základě vystavení účinku požáru podle **normové teplotní křivky** (Obr. 15) označované jako ISO 834, udávané vztahem dle rovnice (1) následovně [12]:

$$T = 345 \log_{10} (8t + 1) + 20 \quad (1)$$

kdy t je čas požární zkoušky v minutách;

T je průměrná teplota ve zkušební peci ve °C.



Obr. 15 Nominální teplotní křivky

Prvky s vlastnosti závisujícími na vysoké intenzitě zahřívání cca pod 500 °C je možné zkoušet dle **křivky pomalého zahřívání** (Obr. 15), která je dána vztahem dle rovnice (2) následovně [14]:

$$T = 660 \cdot [1 - 0,687 e^{-0,32 \cdot t} - 0,313 e^{-3,6 \cdot t}] + 20 \quad (2)$$

kdy t je čas požární zkoušky a v minutách;

T je průměrná teplota ve zkušební peci.

Mezní stavy požární odolnosti

Požární charakteristiky při určování požární odolnosti VZT potrubí a požárních klapek jsou obdobné jako u ostatních stavebních výrobků, zde se stanovují pouze tři základní mezní stavy těchto prvků [12]:

- **Celistvost E** – při působení účinku požáru musí prvek v maximální možné míře zamezit propuštění plamenů nebo horkých plynů na odvrácenou stranu zkoušeného prvku a zamezit zasažení plamene materiálu nacházejícího se v jeho těsné blízkosti. Při zkoušení celistvosti se sledují celkem čtyři kritéria: výskyt trhlin a otvorů, k prvku se dále přikládá bavlněný polštářek až do doby jeho vznícení, pozoruje se průnik účinku požáru na odvrácenou stranu a netěsnosti prvku. Při použití každého kritéria se určuje jeho doba porušení.
- **Izolace I** – v průběhu zkoušení izolační schopnosti nesmí významně dojít k přenosu tepla na odvrácenou stranu prvku a překročení nárůstu průměrné teploty na 140 °C a maximální teploty na 180 °C současně i na materiál v blízkosti zkoušeného prvku. Izolační schopnost prvku má za cíl i ochranu osob nacházejících se v jeho blízkosti.
- **Kouřotěsnost S** – v průběhu vystavení prvku účinkům požáru dle normové teplotní křivky musí prvek zabránit pronikání kouře a plyných zplodin hoření, kdy je sledován objemový průtok u VZT potrubí při vystavení požáru a u požárních klapek před požární zkouškou a v jejím průběhu.

Pro vyjádření vlastnosti prvku se používají kombinace jednotlivých mezních stavů, např. kombinace „EI S“ zajišťuje jak celistvost, izolační schopnost, tak i kouřotěsnost. Dále se udává doba klasifikace, což je čas udávaný v minutách, po který jsou splněny požadavky pro výše uvedené charakteristiky. Pro klasifikační dobu se udává časová řada 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180 a 240 minut. Definovat lze i směr působení, při kterém prvek na danou vlastnost vyhovuje. Udává se značkami v závorce „(i → o)“ požár uvnitř prvku, „(o → i)“ požár vně prvku, „(i ↔ o)“ zkoušeno v obou variantách a dále i orientace při jaké byl prvek zkoušen „(ve)“ vertikální (svislá) poloha a „(ho)“ horizontální (vodorovná) poloha, případně obě varianty.

Dle normy ČSN EN 13501-3+A1 se pro VZT potrubí a požární klapky klasifikované „EI“ udávají všechny klasifikační doby. Pro klasifikaci celistvosti „E“ se klasifikují pouze doby 30 a 60 minut pro VZT potrubí a doby 30, 60, 90 a 120 minut pro požární klapky. Ovšem norma ČSN 73 0810 omezuje klasifikaci „EI“ pro VZT potrubí pouze na doby 15, 30, 45, 60 a 90 minut a dále je na závěsné mechanismy požadována klasifikace „R“ tedy nosnost systému po minimálně po dobu klasifikace [12], [15].

Požadovaná minimální požární odolnost požárně odolných VZT potrubí a požárních klapek se určí jednoduše podle vyššího stupně požární bezpečnosti požárních úseků, kterými budou tyto prvky procházet (Tab. 1).

Tab. 1 Požární odolnost chráněného vzduchotechnického potrubí a požárních klapek [16]

Stupeň požární bezpečnosti	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
Požární odolnost	15	15	30	30	45	60	90

2.3.3 Stupně hořlavosti

Stupně hořlavosti byly v minulosti používány pro klasifikaci jednotlivých stavebních hmot z hlediska jejich chování při vystavení požáru. Celkem bylo těchto stupňů pět [17]: „A – nehořlavé, B – nepadno hořlavé, C1 – těžce hořlavé, C2 – středně hořlavé a C3 – lehce hořlavé“. Harmonizací evropské normy ČSN EN 13501-1 v roce 2003, byly v souvislosti s tím převzaty klasifikace třídy reakce na oheň stavebních výrobků. Tím byla změněna dosavadní koncepce požární bezpečnosti v České republice založená na stupních hořlavosti stavebních hmot.

Stále se pro návrhy konstrukcí používají normy, které ještě nebyly aktualizovány a stále uvádí nepřesné požadavky na konstrukce ve stupních hořlavosti. Příkladem je norma ČSN 73 0872 z roku 1996 zabývající se ochranou staveb proti šíření účinku požáru vzduchotechnickým zařízení. Pro jednodušší orientaci slouží tabulka¹⁰ převodu mezi stupni hořlavosti stavebních hmot a třídami reakce na oheň stavebních výrobků (Tab. 2).

Tab. 2 Převod stupňů hořlavosti na třídy reakce na oheň [15]

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

2.4 Prvky systémů s požárními vlastnostmi

Z důvodů zamezení šíření účinků požáru VZT systémy mezi jednotlivými požárními úseky se na hranici těchto úseků v požárně dělících konstrukcích, případně v jejich blízkosti navrhuje osazení požárních klapek. Pro požární uzavření koncových elementů VZT potrubí se na potrubí osazují požární stěnové uzávěry nebo požární ventily. Tato jednotlivá zařízení jsou popsána v následujících podkapitolách.

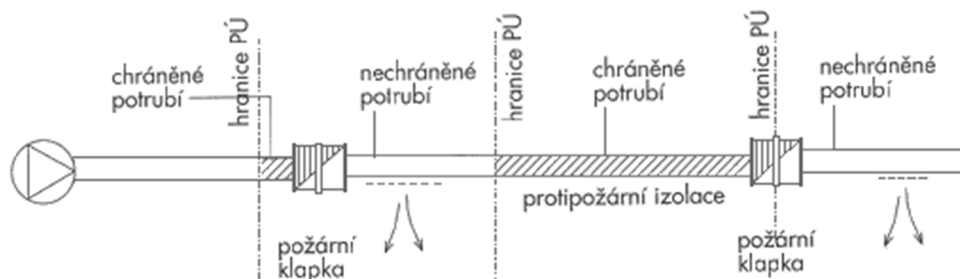
¹⁰ Převodní tabulka platí pouze ve směru zleva doprava

2.4.1 Požární klapky

Požární klapky se řadí mezi vyhrazené požárně bezpečnostní zařízení, na které jsou dle vyhlášky č. 246/2001 Sb. [18] kladeny normativní požadavky na výrobu, projektování, montáž a dále na provoz, kontroly, údržbu a opravy těchto zařízení. Hlavním úkolem požární klapky je uzavření požárně nechráněného VZT potrubí v místě osazení klapky. Pokud není umožněno klapku umístit přímo do požárně dělící konstrukce, pak je možné ji osadit v těsné blízkosti a VZT potrubí mezi požární klapkou a požárně dělící konstrukcí opatřit požárním obkladem vyhovujícím požadavkům vyššího stupně požární bezpečnosti přilehlého úseku (Obr. 16).

Požární klapky musí být na potrubní rozvod osazeny vždy, norma ČSN 73 0872 ovšem udává tři příklady, kdy se klapky osazovat nemusí:

- Pokud se jedná o potrubí velikosti plochy průřezu max. 40 000 mm² prostupujícího požárně dělící konstrukcí, za předpokladu splnění podmínky, kdy jednotlivé prostupy nemají plochu větší než 1/100 plochy požárně dělící konstrukce s min. vzdáleností prostupů 500 mm.
- Pokud je potrubí umístěné v požárním úseku i v prostupu požárně dělící konstrukcí chráněné (tj. s požární odolností).
- Pokud se jedná o jedno potrubí do velikosti plochy průřezu max. 90 000 mm² a plocha všech potrubí prostupujících požárně dělící konstrukcí nepřesahuje 1/100 plochy této konstrukce, nebo je v požárním úseku instalováno zařízení, které zabrání šíření účinků požáru potrubím (např. zařízení pro odvod tepla a kouře).



Obr. 16 Případ kombinace požární klapky a požární izolace [19]

Výše uvedená omezení se nevztahují na chráněné únikové cesty, kde se požární klapky osazují vždy. Mezní rozměr 40 000 mm² je dán v normě historicky, kdy tehdejší tuzemští výrobci nedokázali vyrobit klapky menších průřezů. Uzavírání klapky dochází samočinně na základě vyhodnocení situace přímo v místě potrubí nebo impulsem na základě podmínek v okolních požárních úsecích. Požární klapky se tak dělí na dva typy. Prvním typem jsou klapky, které se uzavírají lokálně pouze na základě aktivace tavné pojistky (Obr. 17a). Tato pojistka je umístěna přímo na požární klapce a k aktivaci dochází při teplotě vzduchu v potrubí 70 °C, kdy se přetaví pojistka a klapka se uzavře pomocí předpjaté pružiny. V tomto případě se klapka uzavírá s časovým zpožděním, až při dosažení této teploty, není tak zabráněno šíření tzv. studeného kouře (studený kouř vzniká již od teploty 40 °C) do okolních požárních úseků, který může rovněž ohrozit

osoby a způsobit škody. Druhým typem jsou klapky s elektromotorem (Obr. 17b) napojeným kabely funkčními při požáru na EPS a tepelnou pojistkou. Tyto klapky se uzavírají buď impulzem z ústředny EPS, případně velínu VZT zařízení nebo na základě aktivace tepelné pojistky umístěné na požární klapce. Tato pojistka se aktivuje obdobně jako u předchozího druhu klapky, tedy při dosažení teploty vzduchu v potrubí 70 °C. K tomuto stavu, kdy se aktivuje dříve tepelná pojistka před aktivací impulsem z ústředny EPS, může dojít například pokud dojde k požáru přímo ve VZT potrubí. Pokud dojde k aktivaci pomocí EPS jsou aktivačními prvky samočinné nebo tlačítkové hlásiče. V případě ovládnutí klapky pomocí EPS je nutné při návrhu systému taktéž zajistit i jejich zpětné otevření pomocí ovládacích prvků z ústředny [20].



Obr. 17 Příklady požárních klapek (Mandík, a.s.)¹¹ : a) požární klapka ve čtyřhranném potrubí s tavnou pojistkou; b) požární klapka v kruhovém potrubí s elektromotorem

Klapky se vyrábí jak pro průřezy čtyřhranného potrubí (Obr. 17a), tak i pro potrubí kruhové (Obr. 17b). Výrobní řada požárních klapek je pro požární odolnost 30, 60, 90 a na základě požadavku až 120 minut. V České republice se vyrábí klapky s požární odolností převážně 90 minut, což vyhovuje maximálnímu požadavku dle normy ČSN 73 0872 (Tab. 1). Klapky se navrhují vždy na vyšší požadavek stupně požární bezpečnosti sousedních požárních úseků.

2.4.2 Požární stěnové uzávěry

Požární stěnový uzávěr (Obr. 18a) s krycími mřížkami se osazuje na potrubí, které již dále nepokračuje. Jedná se o nepotrubní prostup v požárně dělící konstrukci stěny nebo stropu. Uzávěr se aktivuje pomocí tepelné pojistky (aktivační teplota 72 °C), která odblokuje tažnou pružinu a listy uzávěru se přetočí do uzavřené polohy. Další možností je aktivace pomocí servopohonu. K uzavření dojde při dosažení teploty 72 °C v termoelektrickém zařízení a následně díky přerušení napájecího vedení dojde k uzavření. Uzávěry se obdobně jako požární klapky vyrábí s maximální požární odolností 90 minut.

¹¹ <http://www.mandik.cz/produktova-rada/pozarni-technika>



Obr. 18 a) Požární stěnový uzávěr (Mandík ,a.s.), b) Požární ventil (Mandík, a.s.)¹²

2.4.3 Požární ventily

Požární ventil (Obr. 18b) se podobně jako stěnový uzávěr osazuje jako koncový element pro požární uzavření VZT potrubí a zároveň slouží jak pro přívod, tak pro odvod vzduchu. Uzavření ventilu je zajištěno přetavením tepelné pojistky při teplotě $73\text{ °C} \pm 1,5\text{ °C}$, kdy je ventilový talíř pomocí pružiny vtažen do sedla ventilu. K mechanickému zajištění proti slouží planžetová zarážka.

2.5 Řešení prostupů potrubí

Obecně jsou prostupy instalací v konstrukcích z hlediska požární bezpečnosti brány jako citlivá místa a jinak tomu není u prostupů VZT potrubí. V místě prostupu jsou kladeny požadavky na materiály potrubí a izolace. Prostupy se musí řádně těsnit jak u požárně dělících konstrukcí (stěny, stropy), tak i u obvodových konstrukcí (obvodové stěny, střechy).

2.5.1 Prostupy na hranici požárně dělících konstrukcí – požární ucpávky

Potrubí prostupující požárně dělících konstrukcí musí být v tomto místě z nehořlavých hmot, tj. třídy reakce na oheň A1. Izolace potrubí v místě prostupu smí být alespoň z nesnadno hořlavých hmot, tj. z materiálu třídy reakce na oheň A2.

Požární ucpávky se aplikují okolo požárních prostupů v požárně dělících stěnách a střepech, tak aby bylo docíleno maximálního utěsnění prostupu a nedošlo k narušení požárně dělící funkce a šíření účinků požáru do sousední požárních úseků. Tyto ucpávky se provádí pomocí intumescentních, tj. zpěňujících materiálů, především tmelů a stěrtek. Pro dotěsnění mezery mezi požárně dělících konstrukcí a potrubím se používá minerální izolace. Na tuto vrstvu je možné aplikovat požární tmel či stěrku, která při vystavení vyšším teplotám zvětší svůj objem a chrání

¹² <http://www.mandik.cz/produktova-rada/pozarni-technika>

konstrukci před tepelným namáháním. Dále se aplikuje přídatná manžeta z další vrstvy izolace ukotvenou navařovacími trny (Obr. 19), případně může být ještě stažena drátem.



Obr. 19 Prostup potrubí požárně dělící stěnou¹³

Prostupy potrubí požárně dělící stěnou patří při požárních zkouškách těchto systémů k nejkritičtějším místům. Docházet může k velkému namáhání a k borcení potrubí. Je tedy nutné, aby stejně jako aplikace požární izolace, tak i požární ucpávka byly řádně provedeny a dále pravidelně revidovány odborně certifikovanou a k tomu oprávněnou firmou [9], [10], [16].

2.5.2 Prostupy na hranici obvodových stěn

Prostupy obvodovými stěnami jsou řešeny především v souvislosti s materiálovým řešením obvodových konstrukcí a kontaktním zateplením objektu (ETICS) v návaznosti na požární výšku objektu h .

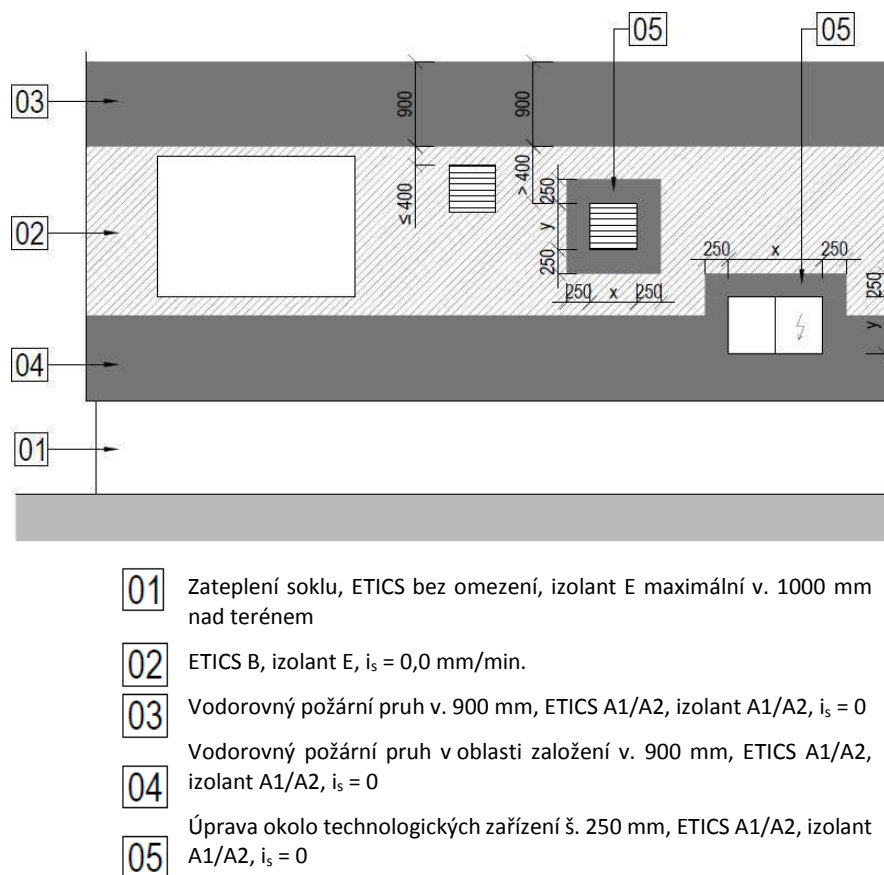
U objektu s požární výškou do 12 m nejsou kladeny specifické požadavky na zateplení okolo prostupů VZT. Zateplení musí být provedeno v ucelené sestavě vykazující třídu reakce na oheň B, s indexem šíření plamene po povrchu $i_s = 0$ mm/min, sestava musí být kompletně spojena s obvodovou konstrukcí a izolant musí vykazovat minimálně třídu reakce na oheň E.

U objektů s požární výškou $12 < h \leq 22,5$ m je vyhovujícím řešením okolo prostupu provést ucelenou sestavu zateplení třídy reakce na oheň A1 nebo A2 (z minerálních vláken) do vzdálenosti minimálně 250 mm do všech směrů od vnějšího okraje vyústění VZT (Obr. 20), nebo vodorovný pás po obvodu objektu v šířce minimálně 900 mm nad tímto prostupem v maximální vzdálenosti 400 mm od prostupu. V případě, že se jedná o VZT vyústky větrání únikových cest, pak je nutné okolo prostupu do vzdálenosti 1,5 m provést zateplení ucelené sestavy s třídou reakce na oheň A1 nebo A2.

Objekty s požární výškou $h > 22,5$ m se kompletně zateplují ucelenou sestavou třídy reakce na oheň A1 nebo A2 a tudíž se zde neřeší žádné specifické požadavky. To platí i v případě, že je

¹³ <http://www.knaufinsulation.cz/firestop-prostup>

VZT potrubí na prostupu stěnou opatřeno požární klapkou. Jsou-li stěny navrženy z hořlavých konstrukcí DP3 jako jsou například dřevěné sendvičové panely, je nutno tyto prostupy řádně dotěsnit nehořlavými materiály, zpěňujícími požárními tmely apod. [15].



Obr. 20 Schéma provedení kontaktního zateplovacího systému okolo technologických zařízení¹⁴

2.6 Požární rizika

Požárních rizik a příčin požárů souvisejících s VZT rozvody může být celá řada. Přehled nejčastějších příčin na základě dat v minulosti vzniklých požárů shrnuje následující podkapitola.

2.6.1 Příčiny požárů

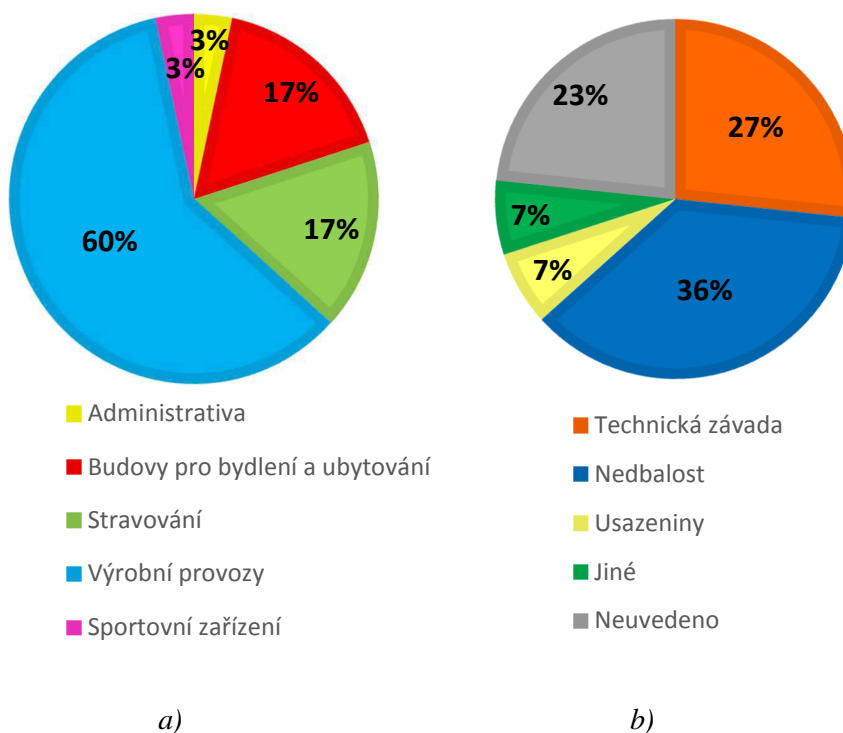
Požáry v objektech vznikají řadou zapříčinění, nedbalostí lidí, technickou závadou (např. na elektroinstalaci), nebo i vlivem přírodních jevů (např. úder blesku). Pokud v prostoru, kde vypukne požár jsou instalovány rozvody VZT je vysoké riziko, že se účinky požáru dostanou do potrubního systému a vlivem proudění vzduchu poháněným ventilátory se rozšíří do okolních místností a podlaží objektu. K rozšíření požáru v potrubí mohou napomoci prachové a mastné

¹⁴ <http://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/14515-pozarni-hledisko-kontaktich-zateplovacich-systemu-dle-csn-73-0810-2016>

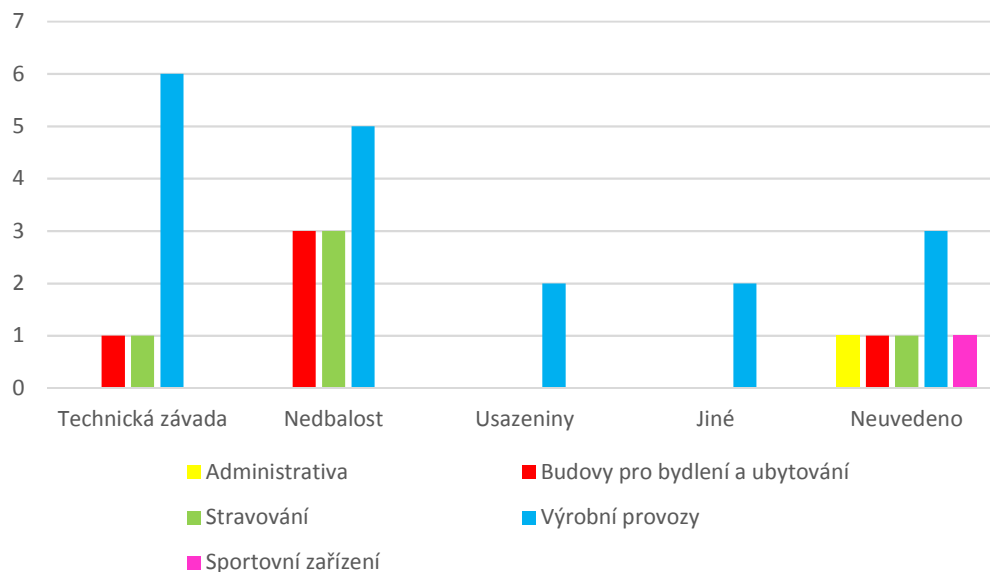
usazeniny, které lehce vzplanou. V minulosti se stalo nespočet těchto událostí, jak v nevýrobních objektech, tak velké míře i v objektech výrobních.

Přehlednou ukázkou v minulosti vzniklých požárů na území České republiky uvádí tabulka (viz Příloha 1), která zaznamenává celkem 30 vzniklých požárů v rozmezí patnácti let od roku 2002 do roku 2017 na území celé České republiky. Uváděny jsou nejdůležitější informace: datum vzniku, místo události, charakter objektu, příčina požáru, souvislost požáru s VZT, přibližná odhadnutá škoda, zasahující jednotky a osoby, použité hasivo a prostředky, počet zraněných a usmrcených a případné další poznámky. Podkladem pro vypracování tabulky byly zprávy o proběhlých požárech uváděných na webovém portálu www.pozary.cz [21].

Na základě zpracované tabulky byla v rámci práce provedena zjednodušená statistika. Požáry šířící se v objektech VZT systémy v minulosti vznikaly nejvíce ve výrobních provozech. Z 30 požárů vzniklo 60 % (Obr. 21a) z nich právě v objektech pro výrobu, především strojího průmyslu. Příčinami vzniku požáru zde byly nejvíce zastoupeny technické závady na ventilátorech VZT, dále často docházelo k nedbalosti zaměstnanců při práci s rozbrušovacími agregáty a svářecími soupravami (Obr. 22). V podílu 17 % (Obr. 21a) vznikaly požáry ve stravovacích provozech především v restauracích a provozovnách rychlých občerstvení a dále ve stejném počtu docházelo k požárům v budovách pro bydlení a ubytování. V případě stravovacích provozů se jednalo o neopatrnou práci s otevřeným ohněm a nedbalost lidí v případě obytných budov (Obr. 22). Požáry budov administrativy a sportovních zařízení byly zastoupeny nejméně. Mezi nejčastější příčiny vzniku požáru se stala nedbalost lidí a technické závady (Obr. 21b).



Obr. 21 Výšečový graf četnosti požárů: a) podle charakteru provozu; b) podle příčiny požáru



Obr. 22 Sloupcový graf četnosti příčin požárů podle charakteru provozu objektů

2.6.2 Požár rozšířený potrubím

K jednomu z nejtragičtějších požárů v souvislosti s rozšířením VZT systémem došlo 31.12.2002 v Praze 8. Požár vypukl v bytě 3+1 v 7. podlaží panelového domu kolem 20 hod. Byt byl zanesen velkým množstvím odpadu (Obr. 23a). V každé bytové jednotce procházela dvě větrací potrubí, jedním byly odvětrávány digestoře a druhým spížírny. Ohniskem požáru byla lednice nacházející se v těsné blízkosti VZT potrubí.



Obr. 23 Požár panelového domu: a) zanesení bytu odpadky; b) hašení požáru z plošiny; c) byt po požáru [22]

Rozšíření požáru do vyšších podlaží bylo zapříčiněno neuzavřenými větracími otvory digestoří a spížíren. Jednotlivá potrubí byla navržena v souladu s ČSN 73 0872, kdy potrubí pro

odtah digestoří mělo průřez vyšší jak 40 000 mm² a splňovalo požární odolnost EI 30 D1¹⁵. Tímto potrubím se rozšířil požár pouze do bytu o jedno patro výše. VZT potrubí pro větrání spižíren bylo o průřezu menším než 40 000 mm² bez požárního obkladu. Požár se rozšířil do bytů vyšších podlaží, kde byly ve spižírnách otevřeny větrací otvory.

Hasiči byli nuceni použít k zásahu výškovou techniku (Obr. 23b). Byt byl požárem zcela zdevastován (Obr. 23c). Přesto, že byly rozvody VZT navrženy podle aktuálních norem, došlo ke zranění 9 osob a usmrcení 1 osoby. Tento případ je jedním z podnětů pro aktualizaci normy ČSN 73 0872 a zabránění vzniku dalších podobných požárů [22].

2.6.3 Usazeniny v potrubí

VZT potrubí jsou navrhována pod stropními konstrukcemi, skryty do stropních podhledů, do konstrukcí podlah a instalačních šachet. Jedná se o stísněné prostory prakticky bez možnosti přístupu pro provedení revize a čištění rozvodů. V přívodním VZT potrubí dochází k výskytu usazenin minimálně. V případě odvodního potrubí dochází k zanášení potrubí nečistotami, částicemi prachu, z výroby (např. ocelové piliny) a dále kombinací prachových částic a mastnoty z kuchyní (Obr. 24a, b).

Výše uvedená statistika (viz kapitolu 2.6.1) názorně ukazuje, že ve dvou případech byly usazeniny hlavní příčinou vzniku požáru a dále v sedmi případech byly usazeniny prachu a mastných nečistot v potrubí hlavní příčinou dalšího rozšíření požáru v objektu. Vlivem rozšíření požáru do potrubí došlo i k následnému zahoření dalších prvků VZT (ventilátorů a filtrů). Usazeniny v potrubí se tak stávají velkým rizikem v případě vzniku a rozšíření požáru v budovách. Preventivním mechanickým a chemickým čištěním lze těmto nežádoucím situacím předejít. Problémem ovšem je, že toto není v současnosti nařízeno žádným závazným předpisem.



a)

b)

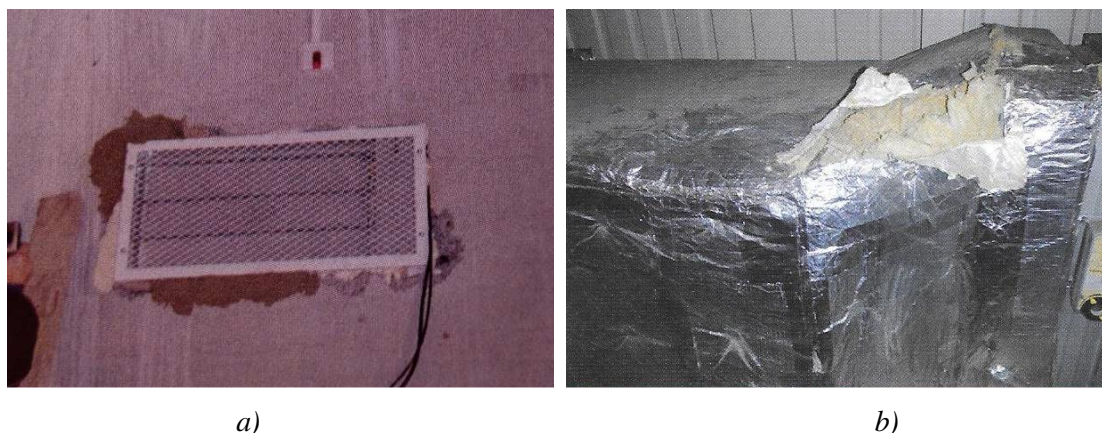
Obr. 24 Zanesení VZT nečistotami: a) ventilátor; b) potrubí¹⁶

¹⁵ Dříve používané označení druhů konstrukcí D1 je dnes nahrazeno DP1.

¹⁶ <http://www.taurisplus.cz/cisteni-a-dezinfekce-vzduchotechniky-v-panelovych-domech>

2.6.4 Příklady chyb aplikací požárního zabezpečení rozvodů ve stavbách

Problémy, se kterými se lze setkat v praxi po dokončení realizace a uvedení stavby do užívání, mohou být nesprávná instalace požárních klapek včetně provedení požární ucpávky a požárního obkladu VZT potrubí. Těmto chybám by mělo být předejito instalací pouze proškolenými a tomu způsobilými osobami. Zatěsnění prostupů požárních klapek a požárních konstrukcí musí být provedeno z nehořlavých materiálů a nikoli použitím hořlavého materiálů, v tomto případě polystyrenu (Obr. 25a). Problém může nastat i při neopatrné manipulaci v blízkosti zaizolování potrubí, které se snadno poškodí např. nechtěným nárazem (Obr. 25b), někdy je i celistvost izolace cíleně poškozena. Těchto závažných problémů může být celá řada. Proto by měla být prováděna pravidelná kontrola VZT systémů a jejich požárního zabezpečení [20].



Obr. 25 Chyby aplikací ve stavbách: a) chybné zatěsnění prostupu s použitím polystyrenu; b) mechanické poškození požární izolace VZT potrubí [20]

2.7 Kritická rešerše ČSN 73 0872

Norma ČSN 73 0872 Požární bezpečnost staveb – Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickými zařízeními z roku 1996, již není v současné době aktuální. Od jejího vydání uběhlo už více než 21 let. Za tuto dobu prodělaly VZT systémy řadu inovací. Pro navrhování VZT systémů z hlediska požární bezpečnosti jsou používány i aktuálnější normy např. problematika VZT rozvodů a jejich požadavků se vyskytuje v normě ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení. Dále podmínky pro zkoušení požární odolnosti a požární klasifikace jsou řešeny v převzatých evropských normách (označovaných EN). Tím vzniká na „českém poli“ nesoulad mezi jednotlivými normami a předpisy.

V první řadě by mělo dojít přiblížení národní normy k evropským standardům. Sjednocení rozličné terminologie je základním bodem. Norma ČSN 73 0872 např. používá staré označení pro VZT potrubí s požární odolností jako „chráněné potrubí“, zatímco norma ČSN EN 1366-1 [23] používá již nové označení „požárně odolné potrubí“.

Norma dále používá zastaralé již v současnosti nepoužívané označení stupňů hořlavosti hmot (viz kapitolu 2.3.3). V současnosti se používá rozdělení podle třídy reakce na oheň výrobku

(viz kapitolu 2.3.1). Doposud k velmi hrubému a nepřesnému převodu mezi stupni hořlavosti a třídami reakce na oheň sloužila tabulka (Tab. 2). Revize normy by již měla pracovat s aktuálním označením, a tedy pouze s třídami reakce na oheň.

Dalším bodem jsou podmínky použití nekovových potrubních rozvodů. Norma připouští použití VZT potrubí z hmot stupně hořlavosti B, C1 a C2 po převodu na třídy reakce na oheň se jedná o potrubí třídy A2, B, C a D. Jednat se může například o textilní potrubní rozvody, které jsou převážně klasifikovány dle ČSN EN 13501-1+A1 se zařazením B, s1, d0 (tkaniny PMI/NMI, PMS/NMS, PLS/NLS, NMR firmy Příhoda s.r.o.¹⁷), ale i klasifikace A2, s1, d0 (tkanina NHE firmy Příhoda s.r.o.). Hojně používány jsou plastové potrubí z PVC, PE, PP, kde výrobci neudávají zařazení výrobků a dále pak i atypické systémy ALP s antimikrobiální úpravou, které jsou tvořeny PUR panelem s hliníkovou folií se zařazením B, s3, d0. Některé tyto prvky mají vysokou kouřivost (např. třída s3). V případě zahoření těchto rozvodů může dojít k rozšíření tzv. studeného kouře, který nejsou schopny požární klapky zaznamenat (studený kouř může mít i teploty okolo 40 °C). Omezená aplikace těchto materiálů by měla být řešena v citlivějších provozech jako jsou mateřské školy, budovy pro ubytování, zdravotnická zařízení, shromažďovací prostory atd.

Dále norma stanovuje mezní rozměr prostupu potrubí požární stěnou 40 000 mm² (tj. průřez čtvercového potrubí 200x200mm a kruhového cca 225 mm). Do této hodnoty nemusí být v běžných provozech na potrubí prostupu osazena požární klapka, za předpokladu splnění podmínky, kdy jednotlivé prostupy nemají větší plochu než 1/100 plochy požárně dělící konstrukce s minimální vzdáleností prostupů 500 mm. Stále je ale tento průstup konstrukcí dostatečně veliký na to, aby se jím mohly šířit účinky požáru. Příkladem je požár bytových jednotek v Praze 8 z roku 2002 (viz kapitolu 2.6.2). Hodnota 40 000 mm² je v normě dána již historicky, kdy v minulosti tuzemští výrobci nevyráběli menší průřezy požárních klapek. V dnešní době je technika výroby na daleko vyšší úrovni a výrobci jsou schopni vyrobit i menší průřezy požárních klapek (např. průřezy od 100 mm). Důležitým aspektem v případě osazování požárních klapek jsou pořizovací náklady a dále pravidelná revize těchto zařízení, kterou musí provozovatelé objektů dodržovat. Otázkou je, zda je řešení osazování požárních klapek na potrubí menších průřezů v některých provozech (např. bytové jednotky) efektivní a zda by nebylo vhodnější potrubí provést s požární odolností. Tvůrci revize normy by se na toto kritické místo měli podrobněji zaměřit a řešit ho.

Problémem může být i osazování větracích vyústek na potrubí. V dnešní době jsou nejvíce používané vyústky z eloxovaného hliníku nebo pozinkovaného plechu. Tyto materiály jsou na základě klasifikace podle ČSN EN 13501-1+A1 v tab. A.1 normy ČSN 73 0810 zařazeny s třídou reakce na oheň A1, ale nikoli v případě, pokud se jedná o jemně členitou formu materiálu. Tento termín není v normě definován, jedná se pravděpodobně o tenké profily materiálu o tloušťce řádek milimetrů. Otázkou je, zda je list větrací vyústky ještě jemně členitá forma materiálu či

¹⁷ <http://www.prihoda.com/cs/material>

nikoli. Hliník se za vysokých teplot odpařuje a dochází tak k úbytku materiálu. V případě vystavení požáru může dojít k uvolnění jednotlivých lamel větrací vyústky, nasátí lamely do potrubí a v krajním případě i zablokování požární klapky.

Mezi další řešené body by měla být zpracována problematika zařízení zpětného získávání tepla, která je v nynější verzi normy minimálně řešena. Stanoveny by měly být podmínky aplikace v objektu s ohledem na provoz a řešení požárního zabezpečení tohoto systému. Dále pak i podrobnější řešení strojoven vzduchotechniky. V současnosti se často ve stavbách osazují malé podstropní jednotky zabudované v podhledových konstrukcích, které by měly být posuzované jako strojovny vzduchotechniky [24].

V případě, kdy dojde k revizi této normy, pak je nutné zpracovat i na změnách ostatních norem, které s problematikou požární bezpečnosti vzduchotechnických rozvodů souvisejí a jejich vzájemném provázání (především norma ČSN 73 0810 a dále normy ČSN 73 0833, ČSN 73 0834, ČSN 73 0835).

Revize normy by měla předejít výše uvedeným problémům, a i dalším, které sebou 21 let stará norma přináší. Zpracován by měl být ucelený předpis, kterým se budou řídit zpracovatelé požárně bezpečnostních řešení, zástupci odborů prevence HZS, tak i montážní firmy. Měl by předejít nesrovnalostem a protichůdným názorům řešených mezi projektanty Požárně bezpečnostních řešení staveb (PBŘ) a zástupci odborů prevence HZS a především by mělo dojít k maximálnímu zabezpečení stavby proti šíření účinku požáru VZT zařízením.

2.8 Závěr

Kapitola shrnuje teoretickou stránku problematiky VZT rozvodů. Popsány byly základní druhy používaných větracích systémů a materiálové a tvarové řešení potrubních sítí. Dále jejich klasifikace do tříd reakce na oheň a způsob stanovení požární odolnosti VZT potrubí a požárních klapek. Z hlediska zabezpečení těchto rozvodů proti šíření účinku požáru byly shrnuty prvky požárního zabezpečení VZT rozvodů a s tím související těsnění prostupů. Přehledem v minulosti vzniklých požárů byly popsány nejčastější příčiny vzniku požáru související s dalším rozšířením požáru VZT systémy. Na závěr byla kritice podrobena dnes již zastaralá národní norma pro ochranu staveb proti šíření požáru VZT zařízením, kde je řada již neaktuálních a s ostatními normami nekorespondujících informací.

Mezi řešené problematické části normy patří hranice rozměru prostupu potrubí požárně dělící konstrukcí, kdy není nutné na potrubí osazovat požární klapku i přesto, že se jedná o poměrně veliký otvor, jímž se může šířit požár a jeho účinky dále do objektu. Dalším v praxi často řešeným problémem je i použití netradičních nekovových materiálů potrubí jako jsou například textilie. V současné době jsou tyto systémy navrhovány například v mateřských školách, především s ohledem na jejich tichý provoz. Textilie jsou vyráběny z plastových vláken, nejčastěji z polyesteru, které v případě požáru mohou odkapávat a značně vyvíjet kouř. Norma použití těchto materiálů nevyklučuje, ale je zde obava, jak se bude reálně materiál chovat v případě vystavení

vysokým teplotám. V kontextu s touto problematikou jsou tato úskalí řešená v následující praktické části diplomové práce, kde jsou sestaveny a popsány matematické modely s navazujícími laboratorními požárními zkouškami.

3 Matematický model – šíření účinku požáru vzduchotechnickým potrubím

Kapitola se věnuje tvorbě matematického modelu CFD (Computational Fluid Dynamics) simulace šíření účinku požáru VZT potrubím. Model je vytvořen pomocí výpočetního programu FDS (Fire Dynamics Simulator), který řeší příklad malé zkušební pece, původně zkonstruované pro zkoušení požární odolnosti stěnových nebo stropních konstrukčních prvků. Zkušební pec je uzavřena požární stěnou. Do zkušební pece je horizontálně pod stropní konstrukci umístěno VZT potrubí, které prostupuje požární stěnou do vnějšího prostoru. Model simuluje dva požární úseky, kdy jeden představuje zkušební pec a druhý požární úsek je prostor vně pece. Cílem matematického modelu je zjištění průběhů teplot uvnitř VZT potrubí a jeho povrchových teplot jak uvnitř, tak i vně pece v případě vystavení potrubí účinkům požáru uvnitř zkušební pece. Modelovány jsou celkem tři situace:

- 1) V prvním případě je matematicky modelována samotná zkušební pec (dále označení jako matematický model MM0). Tento model slouží pro ověření funkčnosti a parametrů zkušební pece.
- 2) V druhém případě je řešen matematický model zkušební pece s vloženým pozinkovaným VZT potrubím požárně chráněným uvnitř pece, vně pece nechráněným (dále označení MM1).
- 3) Třetí zkouškou je řešen matematický model pozinkovaného potrubí požárně nechráněného, kde v místě pece jsou na potrubí umístěny dvě větrací vyústky (označení dále MM2).

V následujících podkapitolách jsou parametry výpočtu a jednotlivých modelů podrobně popsány, jak z hlediska geometrie zkušební pece a potrubí, aplikovaných materiálů a jejich materiálových vlastností, tak i popisu získaných výsledků a jejich vyhodnocení.

3.1 Výpočetní program FDS (Fire Dynamics Simulator)

Vyvíjí se nové softwarové programy, mezi nimi i výpočetní program FDS, který nám umožňuje namodelovat různé jevy jako například [25]:

- šíření plamene a rozvoj požáru
- transport tepla a kouře prouděním a sáláním
- transport tepla vedením
- přestup tepla mezi vzduchem a pevnými povrchy a další.

Jedná se o matematický nástroj modelující pohyb tekutin CFD. Výpočetní software FDS vyvíjí Národní institut pro normalizaci a technologie (NIST), který tento software zpřístupnil v roce 2000. FDS funguje na principu rozdělení výpočetní oblasti do kontrolních objemů neboli buněk, mezi nimiž probíhá předávání výpočetních dat. Pracuje s více výpočetními nástroji, což

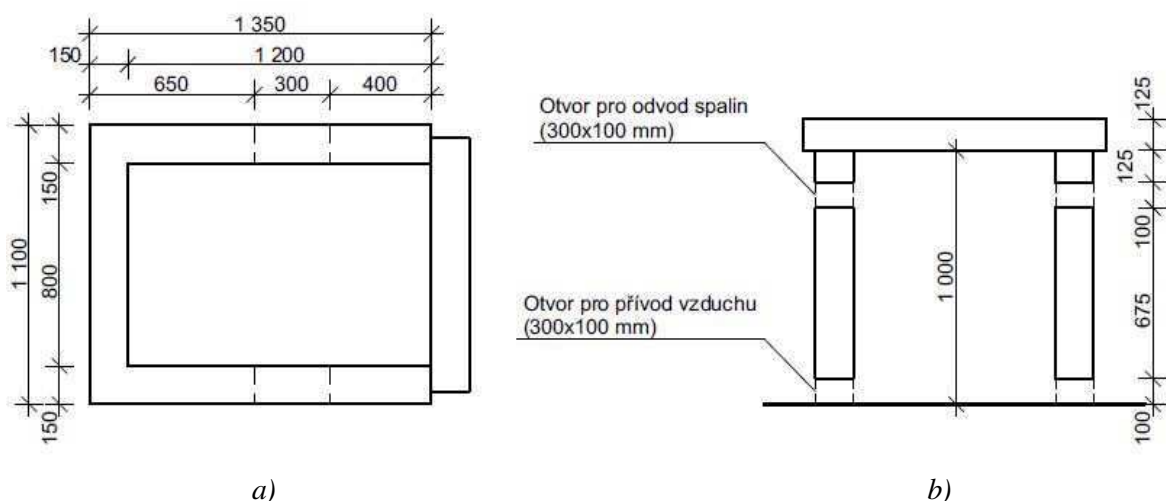
klade vyšší požadavky na kapacitu hardwarového vybavení. Samotný výpočet vychází ze čtení dat ve zdrojovém kódu, který uživatel sestavuje v textovém dokumentu (např. Poznámkový blok). Výsledná data se generují v post-processorových souborech, např. číselná data v tabulkovém dokumentu nebo vizualizace modelu v programu Smokeview, který je součástí instalačního balíčku. Pro FDS je vyvíjena řada grafických nástaveb pro usnadnění práce jako je například uživatelské rozhraní PyroSim, AspireSDS, nebo BlenderFDS [25], [26].

Pro simulaci jednotlivých modelů byl použit výpočetní program FDS verze 6.5.2. V první řadě byly v textovém souboru zaznamenány veškeré potřebné příkazy pro zadaní geometrie zkušební pece, potrubí a jejich materiálových vlastností a dále zdroj požáru. Popis těchto parametrů výpočetního modelu je shrnut v následujících podkapitolách. Dále byly pro jednotlivé modely spuštěny samotné výpočty v procesoru FDS. Výstupní data byla zpracována a upravována v tabulkovém souboru a grafické výstupy byly vyexpedovány ve vizualizačním programu Smokeview.

3.2 Vstupní data

3.2.1 Zkušební pec

Zkušební pec, která byla původně zkonstruována pro zkoušení požární odolnosti stěnových konstrukcí v rámci Diplomové práce s názvem Alternativní zjišťování požární odolnosti stěnových prvků [27], kde je i podrobně popsána. Tato pec byla zvolena především z důvodu provedení následující laboratorní zkoušky, kdy byl stavební materiál pro výstavbu pece k dispozici již z předešlé laboratorní zkoušky, zároveň se jedná o jednoduchý tvar pro matematické modelování a poměrně malý vnitřní objem pro vyhřívání.



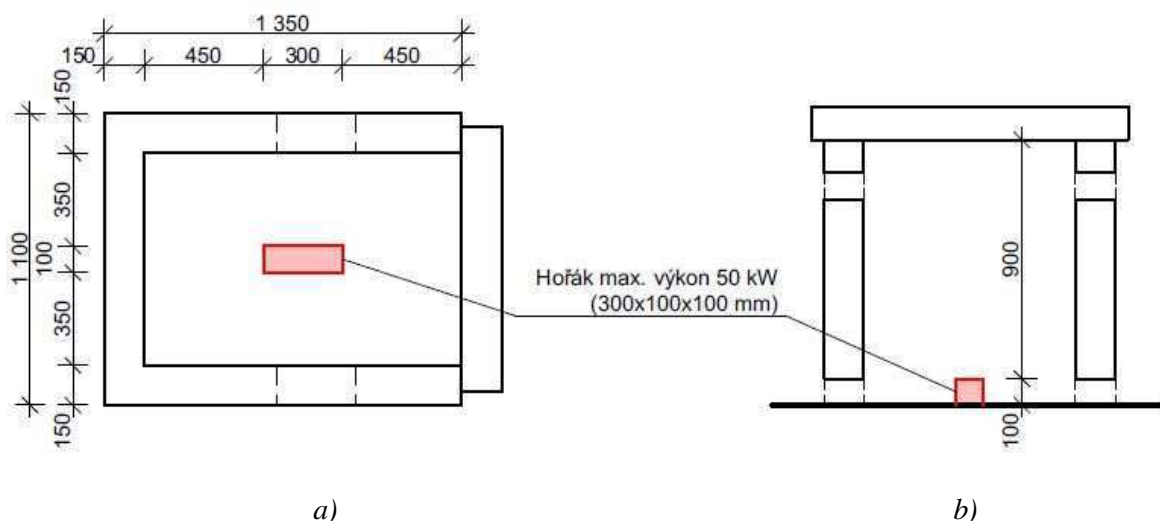
Obr. 26 Schéma zkušební pece: a) půdorys; b) řez

Zkušební pec je tvaru kvádrů o vnitřních rozměrech: délka 1,2 m, šířka 0,8 m a výška 1,0 m. Konstrukce jsou z nehořlavých materiálů, stěny z pórobetonových tvárnic PORFIX P2-500 tl. 150 mm, stropní konstrukce z překladů Ytong P4,4-600 tl. 125 mm.

Pro zajištění přívodu a odvodu vzduchu jsou ve dvou protilehlých stěnách navrženy ventilační otvory o rozměru 300 x 100 mm. Spodní otvory slouží pro nasávání vzduchu pro spalování a horní otvory pro odvod spalin (Obr. 26). Ve zkouškách je použit jiný typ hořáku, kde přívodní potrubí je vedeno spodním otvorem pro přívod vzduchu.

3.2.2 Plynový hořák

Zdrojem požáru je zvolen plynový hořák délky 300 mm, šířky 100 mm a výšky 100 mm umístěný na podlaze ve středu zkušební pece (Obr. 27). Hořák na propan má maximální výkon 50 kW s přepočtem výkonu na plochu hořáku $HRR_{PUA} = 50 / (0,3 \cdot 0,1) = 1666,667 \text{ kW/m}^2$. Výkon hořáku je upravován v čase (viz kapitolu 3.2.3).

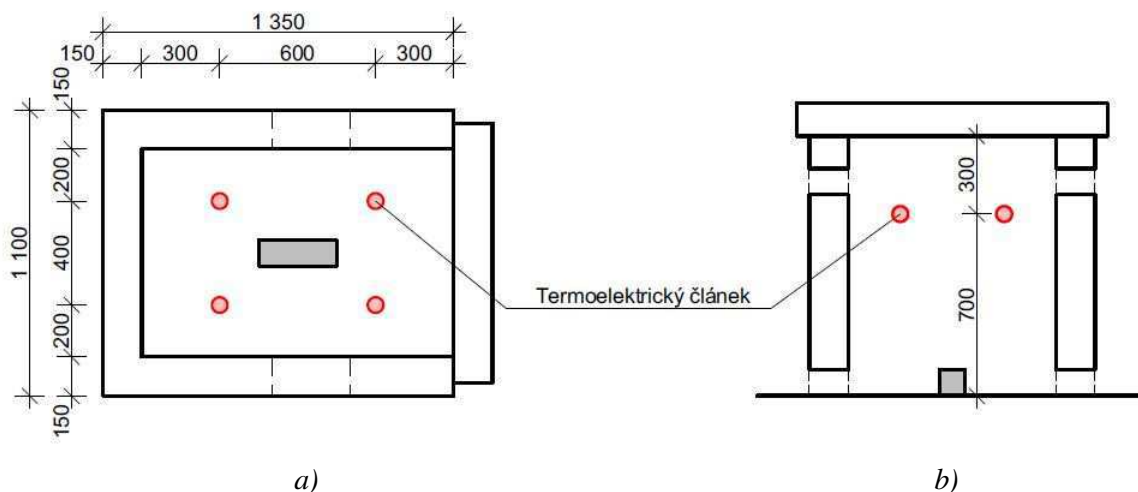


Obr. 27 Schéma umístění plynového hořáku v peci: a) půdorys; b) řez

3.2.3 Měřicí zařízení

Pro sledování teploty v prostoru, uprostřed potrubí a na jeho povrchu byly použity termo-elektrické články (dále jen termočlánky). Čtyři tato zařízení byla umístěna v prostoru zkušební pece (Obr. 28), které mají za úkol snímat teplotu v prostředí pece. Termočlánky jsou umístěny ve výšce 700 mm ve vzdálenosti 200 mm od podélných stěn pece a 300 mm od příčných stěn pece.

Zprůměrováním naměřených teplot čtyř těchto zařízení vychází výsledná teplota v kouřové vrstvě v peci v závislosti, na které se dále upravuje výkon plynového hořáku (viz kapitolu 3.2.4). Dále jsou termočlánky umístěny uvnitř a na povrchu potrubí, jejich přesná umístění jsou popsána v jednotlivých modelech.



Obr. 28 Schéma umístění termočlánků v peci: a) půdorys; b) řez

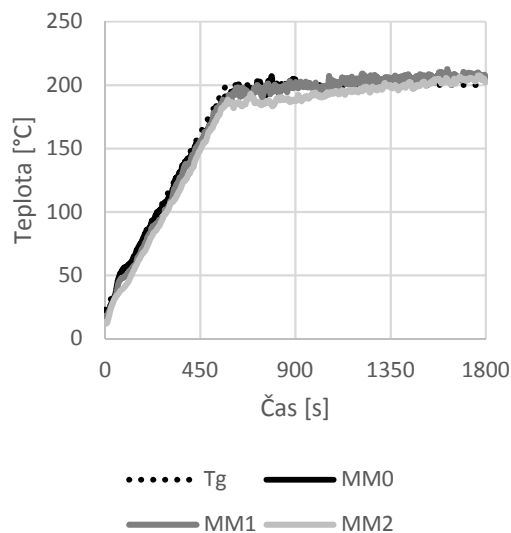
3.2.4 Stanovení výkonu hořáku

Pro matematický model i laboratorní požární zkoušku je stěžejním bodem zvolení jakým teplotám VZT potrubí vystavit. Prvotní návrhy uvažovaly vystavit potrubí naháně podle normové teplotní křivky (Obr. 15) využívaná pro stanovování požární odolnosti potrubí, pro níž byla pec navržena. Normová teplotní křivka má ovšem strmý nárůst a již v počáteční fázi dosahuje teplot okolo 500 °C. Tento návrh by nebyl pro náš případ efektivní. Potrubí by bylo již v počáteční fázi požáru vystaveno příliš vysokým teplotám a došlo by k jeho nevratné destrukci. Pro požární zkoušky je nutné potrubí opětovně použít. Další možnou variantou bylo vystavit potrubí teplotám podle křivky pomalého zahřívání (Obr. 15), která v prvních 20 minutách dosahuje teplot do 350 °C, pak ovšem následuje skokový prudký nárůst teplot. Třetí a nejvhodnější variantou, která je použita v matematických modelech i požárních zkouškách, je stanovení průběhu teplot v horní kouřové vrstvě.

Teplota kouřové vrstvy T_g je stanovena na základě empirických vzorců přílohy H normy ČSN 73 0802 [5]. Reprezentativním provozem je zvolena třída mateřské školy o podlahové ploše 55 m², se světlou výškou místnosti 3,0 m, s nahodilým požárním zatížením $p_n = 35,0$ kg/m² a součinitelem $a_n = 0,9$ (viz tabulka A.1 položka 2.2 ČSN 73 0802), s maximálním stálým požárním zatížením $p_s = 10,0$ kg/m² (viz tabulka 1 ČSN 73 0802) a součinitelem $a_s = 0,9$. Na základě empirických vzorců a těchto údajů je stanoven lineární průběh teploty kouřové vrstvy v čase. Tato hodnota je počítána zhruba do 10. minuty (600 s), kdy dosahuje hodnotu 200 °C, od tohoto bodu je již uvažována konstantně. Čas 10 minut odpovídá době, v níž proběhla evakuace osob z objektu a došlo k aktivaci prvků požárního zabezpečení objektu.

Na základě stanovených teplot kouřové vrstvy v jednotlivých časech je upravován výkon hořáku shodně pro modely MM0 a MM1 (viz Příloha 2), kdy jsou odvodní otvory vzduchu v horní části stěn pece otevřené, a tedy je nutné přidat na výkonu hořáku. Pro model MM2, kdy jsou otvory pro odvod spalin uzavřené, jsou výkony hořáku nižší. Pro odtah slouží dvě větrací vyústky ve

svislých stěnách VZT potrubí umístěného v prostoru pece. Teplota v peci je snímána pomocí čtyř termočlánků umístěných v prostoru pece (viz kapitolu 3.2.3). Postupným upravováním výkonu hořáku je dosaženo maximálního přiblížení k předpokládané teplotě kouřové vrstvy (Obr. 29). Rozdíl výsledných teplot se pohybuje max. do 10 %.



Obr. 29 Průběh teplot kouřové vrstvy a teplot ve zkušební peci v závislosti na výkonu hořáku

3.2.5 Definice použitých materiálů

Materiály použité v jednotlivých výpočetních modelech jsou shrnuty v následující tabulce (Tab. 3). Materiály, u kterých byly použity vlastnosti měnící se v závislosti na nárůstu teploty, jako například měrná tepelná kapacita pro ocel a součinitel tepelné vodivosti pro minerální izolaci jsou uvedeny v tabulkách (Tab. 4, Tab. 5).

Tab. 3 Souhrn použitých prvků a materiálů

Prvek	Materiál	Tloušťka d [m]	Měrná tepelná kapacita c [kJ/kg·K]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]	Objemová hmotnost ρ [kg/m ³]	Zdroj
Stěny	PORFIX P2-500	0,150	1,00	0,102	500	[27]
Strop	Ytong P4,4-600	0,125	1,05	0,176	1000	[27]
Potrubí	Ocel	0,001	Tab. 4	50	7850	[25]
Izolace	Orstech 100	0,030	0,80	Tab. 5	100	¹⁸

V požárních zkouškách i v matematických modelech je použita tepelná izolace Isover TF PROFI tl. 30 mm. Výrobce neudává součinitel tepelné vodivosti λ v závislosti na teplotě, jelikož nebyl tento izolační materiál doposud v tomto ohledu odzkoušen. Na základě konzultace se

¹⁸ <https://www.isover.cz/produkty/orstech-100>

zástupcem výrobce byly převzaty hodnoty technické izolace ORSTEK 100, která se svými vlastnosti izolaci Isover TF PROFI nejlépe přibližuje.

Tab. 4 Hodnoty měrné tepelné kapacity pro ocel

Teplota [°C]	Měrná tepelná kapacita [kJ/kg.K] [25]
20	0,425
600	0,760
735	5,000
900	0,650

Tab. 5 Hodnoty součinitele tepelné vodivosti pro minerální izolaci Orstech 100

Teplota [°C]	Součinitel tepelné vodivosti [W/m.K] ¹⁹
50	0,041
100	0,047
150	0,054
200	0,063
250	0,073
300	0,084
400	0,110
500	0,143
600	0,182
680	0,219

3.2.6 Výpočetní síť

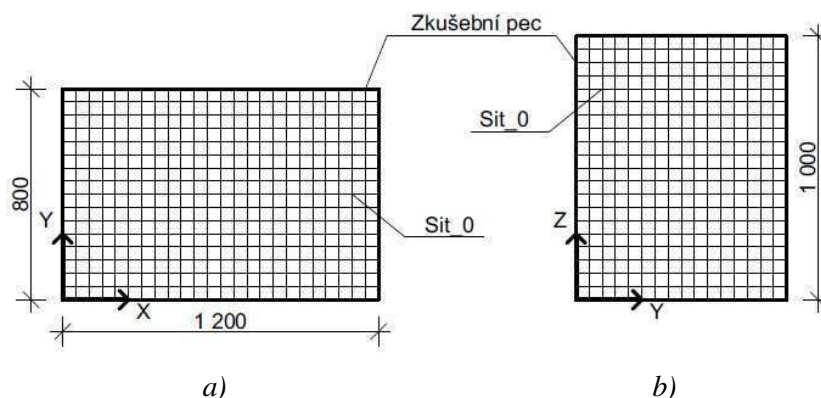
Ve všech modelech je použit jeden typ velikosti výpočetních buněk, které vytváří celkem dva typy výpočetních sítí (Tab. 6). Síť mají velikost buňky 50 x 50 x 50 mm. Síť 0 je rozměrově menší a je určená pro model MM0, kde je modelována pouze zkušební pec. Síť 1 je rozměrově větší a je určená pro modely MM1 a MM2, kdy je modelován i vnější prostor. Velikost a členění sítí je vidět na následujících obrázcích (Obr. 30, Obr. 31).

Tab. 6 Výpočetní síť modelu

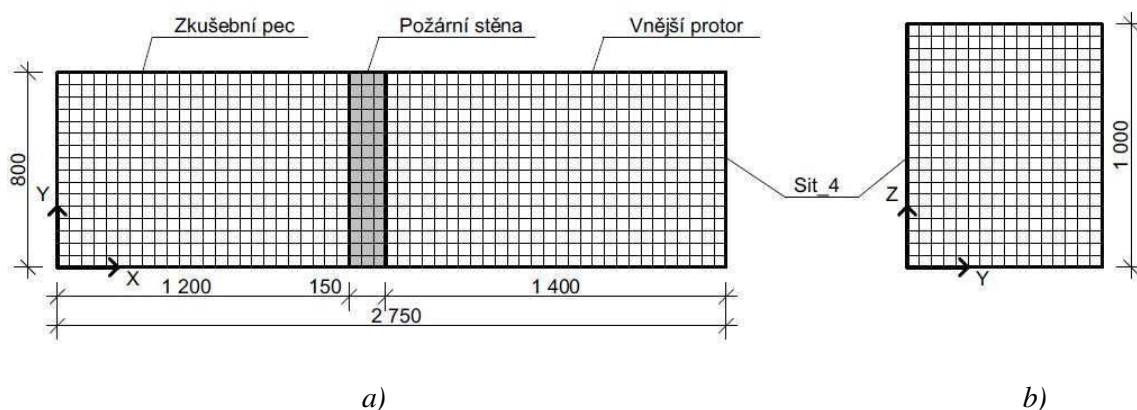
Model	Označení sítě	Velikost sítě (X, Y, Z) [m]	Počet buněk	Velikost jedné buňky [mm]	Celkový počet buněk
MM0	Sit_0	1,2 x 0,8 x 1,0	24 x 16 x 20	50 x 50 x 50	7 680
MM1, MM2	Sit_1	2,75 x 0,8 x 1,0	55 x 16 x 20	50 x 50 x 50	17 600

¹⁹ <https://www.isover.cz/produkty/orstech-100>

Síť pro model MM1 je ponechána s velikostí buněk 50 x 50 x 50 mm s „geometrickou“ tloušťkou izolace 50 mm, i přestože je tloušťka materiálu izolace („virtuální“) 30 mm. Program je schopen počítat s „virtuální“ tloušťkou materiálu pro jednodimenzionální přestup tepla konstrukcí.



Obr. 30 Model MM0 – rozdělení prostoru zkušební pece do výpočetních sítí; a) půdorys, b) řez



Obr. 31 Model MM1 a MM2 – rozdělení prostoru zkušební pece a vnějšího prostoru do výpočetních sítí: a) půdorys; b) řez

3.2.7 Výpočetní čas

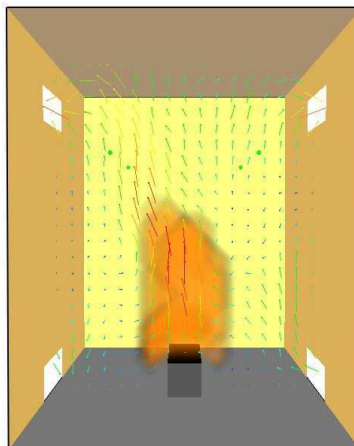
Výpočetní čas je stanoven pro jednotlivé modely individuálně. Pro referenční model samotné pece MM0 byl čas výpočtu stanoven na 15 minut tedy 900 sekund, který postačí pro ověření funkčnosti modelu. Pro modely s umístěným potrubím MM1 a MM2 byl výpočetní čas prodloužen na 30 minut, tedy 1800 sekund.

3.3 Matematický model zkušební pece – MM0

3.3.1 Popis modelu

Matematický model MM0 znázorňuje samotnou zkušební pec (Obr. 32). Uzavřenou požární stěnou, s bočními otvory pro přívod a odvod vzduchu. Výkon hořáku je shodný s výkonem pro model MM1 (viz Příloha 2). Teplota v peci je snímána pomocí čtyř termočlánků umístěných

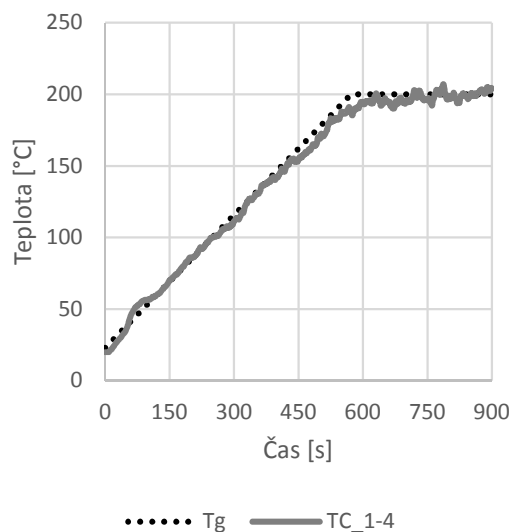
v prostoru zkušební pece (viz kapitolu 3.2.3). Modelem je ověřena funkčnost zkušební pece a hořáku v závislosti na ventilačních otvorech.



Obr. 32 Model MM0 – schéma zkušební pece v programu Smokeview

3.3.2 Výsledky

Výsledné teploty v prostoru zkušební pece (TC_1-4) úpravou výkonu hořáku se velmi přibližují teplotám předpokládané teploty kouřové vrstvy T_g (Obr. 33) max. rozdíl činí cca 7 %.



Obr. 33 Model MM0 – průběh teploty v prostoru pece

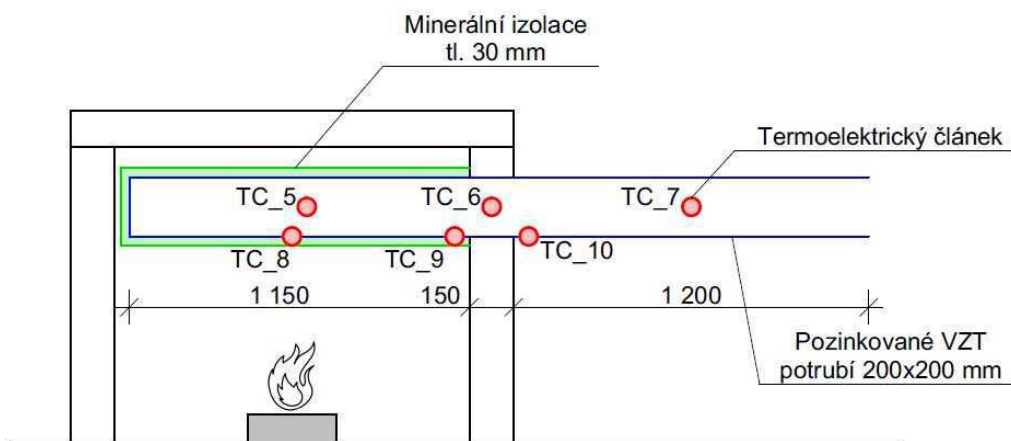
3.4 Matematický model požárně odolného potrubí uvnitř pece – MM1

3.4.1 Popis modelu

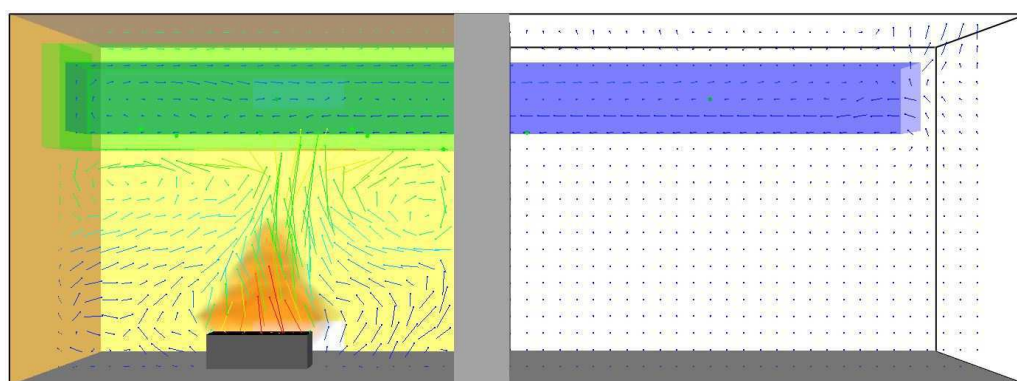
Matematický model MM1 znázorňuje horizontální osazení pozinkovaného VZT potrubí o průřezu 200 x 200 mm s tloušťkou plechu 1 mm pod stropem zkušební pece. Potrubí prochází prostupem

o velikosti 200 x 200 mm skrze požární stěnu tloušťky 150 mm. Potrubí je uvnitř pece kompletně zaizolováno minerální izolací tloušťky 30 mm. Pro přívod a odvod vzduchu slouží boční otvory ve stěnách pece. Výkon hořáku je zadán dle tabulky (viz Příloha 2). Model slouží k ověření předpokladu aplikace požárně odolného potrubí ve zkušební peci.

Teplota v peci je snímána pomocí čtyř termočlánků umístěných v prostoru zkušební pece (viz kapitolu 3.2.3) označených TC_1-4. Teplota je dále snímána uvnitř potrubí a na povrchu potrubí a izolace (Obr. 34). Termočlánky umístěné uvnitř potrubí jsou rozmístěny následovně, TC_5 v potrubí nad hořákem, TC_6 v potrubí v prostupu požární stěnou, TC_7 v potrubí vně pece. Povrchové termočlánky jsou umístěny, TC_8 v prostoru nad hořákem na povrchu pozinkovaného potrubí pod izolací, TC_9 na povrchu potrubí pod izolací 50 mm od prostupu potrubí požární stěnou, TC_10 je umístěn obdobně ovšem na povrchu potrubí vně pece. Dále jsou snímány teploty a rychlost proudění ve středových rovinách všech tří os souřadného systému, na obrázku (Obr. 35) je patrný řez osou Y.



Obr. 34 Model MM1 – podélný řez pece s rozmístěním termočlánků

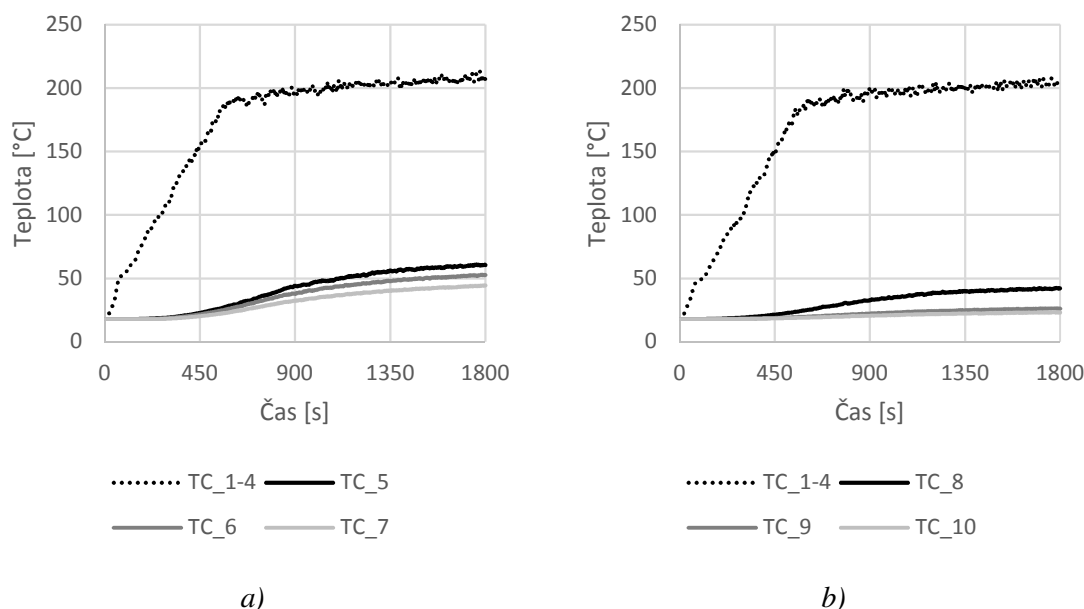


Obr. 35 Model MM1 – schéma umístění potrubí ve zkušební peci ve Smokeviewu

3.4.2 Výsledky

Teploty uvnitř potrubí měřené termočlánky TC_5, TC_6 a TC_7 dosahují maximální hodnot v prostoru nad hořákem (TC_5) hodnoty 60 °C (Obr. 36a). Během průběhu zkoušky v trvání

30 minut došlo ke zvýšení teploty uvnitř potrubí o max. cca 40 °C. Nárůst povrchových teplot je výrazněji vidět na TC_8 (Obr. 36b), který snímá teplotu na styku potrubí a izolace v prostoru nad hořákem. Maximální teplota dosahuje 42 °C, nárůst v tomto místě tak činí 24 °C. Teploty povrchu potrubí chráněného požární izolací uvnitř pece (TC_9) a teploty povrchu potrubí vně pece (TC_10) zaznamenávají minimální nárůst teplot. Z průběhu teplot je patrné, že izolace zamezila průniku vysokých teplot do prostoru potrubí a splnila svoji izolační a ochrannou funkci.

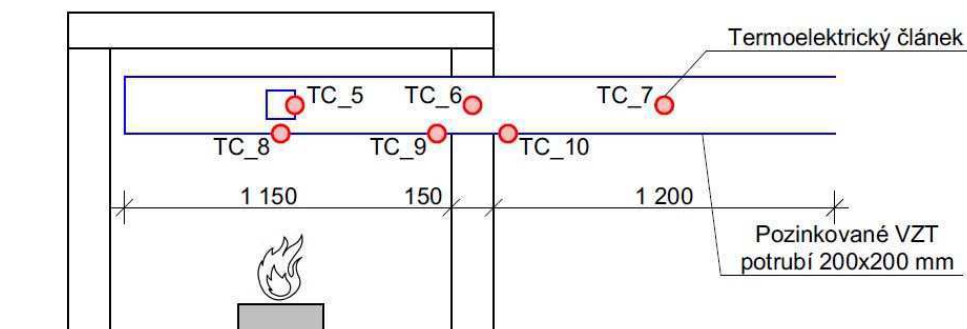


Obr. 36 Model MM1 – graf průběhu teplot: a) uvnitř potrubí; b) na povrchu potrubí

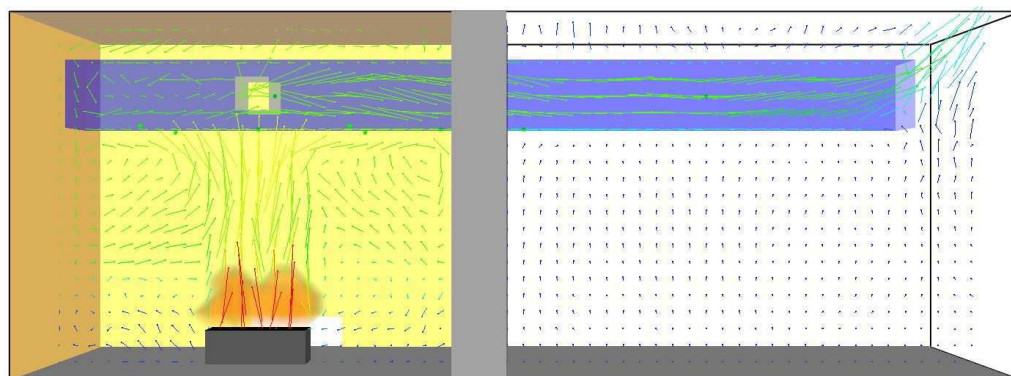
3.5 Matematický model potrubí s vyústkami – MM2

3.5.1 Popis modelu

Matematický model MM2 znázorňuje horizontální osazení pozinkovaného VZT potrubí o průřezu 200 x 200 mm s tloušťkou plechu 1 mm pod stropem zkušební pece. Potrubí prochází prostupem o velikosti 200 x 200 mm skrze požární stěnu tloušťky 150 mm. Potrubí uvnitř pece je opatřeno dvěma větracími vyústkami o průřezu 100 x 100 mm umístěnými ve svislých stěnách potrubí v místě nad hořákem. V tomto případě jsou boční otvory pro odvod spalin ve stěnách pece uzavřeny a pro odtah slouží navržené větrací vyústky. Otvory pro přívod vzduchu jsou zachovány. Rozměr vyústek rovnající se 50 % průřezové plochy potrubí vychází z požadavků normy pro zkoušení požární odolnosti VZT potrubí ČSN EN 1366-1 [23]. Výkon hořáku je zadán dle tabulky (viz Příloha 2).



Obr. 37 Model MM2 – podélný řez pecí s rozmístěním termočlánků

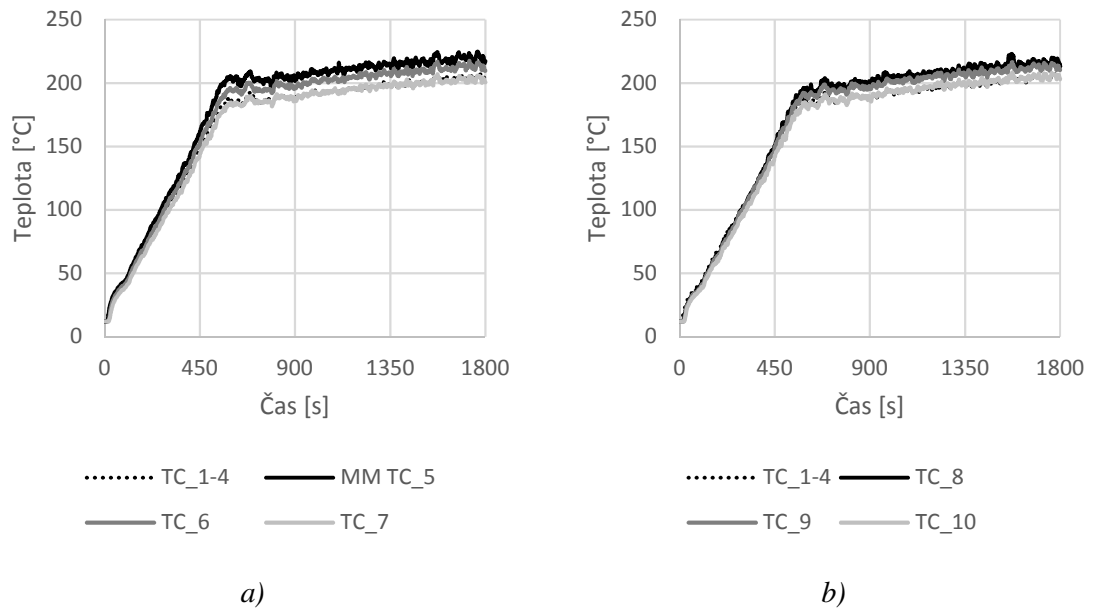


Obr. 38 Model MM2 – schéma umístění potrubí ve zkušební peci v programu Smokeview

Termočlánky jsou rozmístěny obdobně jako u předchozího modelu MM1 (Obr. 37). TC_1-4 pro snímání teploty v prostoru zkušební peci (viz kapitolu 3.2.3). Teploty uvnitř potrubí jsou snímány na stejných místech TC_5 nad hořákem, TC_6 v prostupu požární stěnou a TC_7 vně peci. Povrchové teploty VZT potrubí jsou snímány termočlánkem TC_8 při spodní vodorovné straně potrubí nad hořákem, TC_9 při spodní vodorovné straně potrubí 50 mm od prostupu potrubí požární stěnou, TC_10 je umístěn obdobně ovšem vně peci.

3.5.2 Výsledky

Teploty v potrubí nad hořákem a v prostupu stěnou dosahují vyšších teplot než teploty v potrubí vně peci. Důvodem je tah horkého vzduchu skrze vyústky (Obr. 38) a nahřívání potrubí uvnitř peci. Vzduch v potrubí vně peci je ochlazován chladnějším prostředím. Teploty v potrubí a na povrchu potrubí vně peci téměř kopírují průměrnou teplotu v peci (Obr. 39a), b). Povrchové teploty potrubí uvnitř peci jsou vlivem akumulace materiálu o cca 10-15 °C vyšší než průměrná teplota v peci (Obr. 39b).



Obr. 39 Model MM2 – graf průběhu teplot: a) uvnitř potrubí; b) na povrchu potrubí

4 Laboratorní požární experiment

Kapitola je věnována laboratornímu požárnímu experimentu, který byl na základě předem provedených matematických modelů uskutečněn ve dnech 27. a 28. listopadu 2017 v požární laboratoři FireLAB na UCEEB²⁰(Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT v Praze) v Buštěhradě. Záměrem požárního experimentu bylo především ověření požárního scénáře šíření účinku požáru VZT potrubím s matematickými modely vytvořenými v programu FDS. Krom ověření matematických modelů bylo cílem i sledování chování textilního potrubí a textilní vyústky v případě, kdy jimi pronikají zplodiny hoření. Textilní rozvody nebyly matematicky modelovány. Materiál je velmi tenkého kruhového průřezu, který se v programu FDS prakticky nedá namodelovat. Vycházeno bylo z modelu pozinkovaného potrubí s vyústkami.

Harmonogram kopíroval již předem připravené matematické modely, na rozdíl od třech matematických modelů bylo provedeno celkem pět požárních zkoušek:

- 1) referenční požární zkouška zkušební pece (dále označení jako PZ0)
- 2) požární zkouška požárně odolného pozinkovaného VZT potrubí (dále označení jako PZ1)
- 3) požární zkouška VZT pozinkovaného potrubí s vyústkami s navazujícím pozinkovaným potrubím vně pece (dále označení jako PZ2)
- 4) požární zkouška VZT pozinkovaného potrubí s vyústkami a navazujícím textilním potrubím vně pece (dále označení jako PZ3)
- 5) požární zkouška VZT pozinkovaného potrubí s vyústkami a navazujícím textilní vyústkou vně pece (dále označení jako PZ4)

Koncepce požárních zkoušek byla vyvíjena postupně. Vycházelo se především z prostorových a materiálových možností v návaznosti na finanční náročnost projektu. Zkoušky nejsou opřeny o požadavky zkušební normy pro zkoušení požární odolnosti VZT potrubí, z této normy bylo vycházeno pouze minimálně. Do zkušebního potrubí například tak není vháněn vzduch a není zde docíleno vytvoření podtlaku. V následujících kapitolách jsou podrobně popsána používaná měřicí zařízení, plynový hořák, výkony hořáku jednotlivých zkoušek a dále jednotlivé laboratorní požární zkoušky.

4.1 Měřicí zařízení

Pro snímání teploty v prostoru zkušební pece a teploty ve VZT potrubí jsou použity plášťové termočlánky typu K o průměru pláště 1,5 mm a 3,0 mm. Pro snímání povrchové teploty VZT potrubí a izolace jsou používány diskové měděné termočlánky typu K o průměru jednoho drátu 0,5 mm. Oby typy termočlánků pracují při teplotě od – 40 do 600 °C. Použity jsou termočlánky

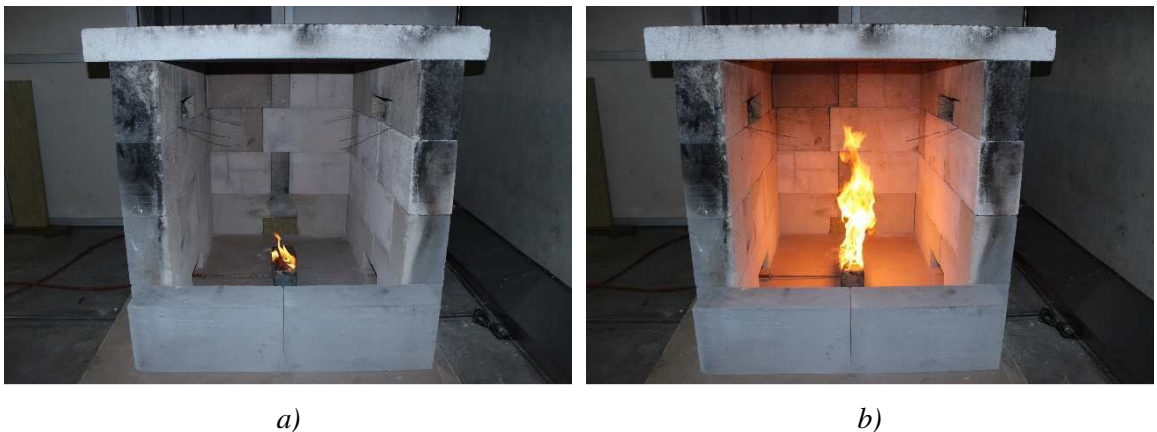
²⁰ <http://www.uceeb.cz/pozarni-laborator>

kalibrované výrobcem. Funkčnost obvodu všech termočlánků je po zapojení do výpočetní stanice ověřena zahřátím plamenem zapalovače.

Povrchové teploty potrubí prostupujícího vně pece, jsou snímány termokamerou InfraTec VarioCAM HD. Termokamera je umístěna ve vzdálenosti cca 2,6-2,8 m kolmo na snímáný povrch. Jednotlivé snímky jsou ukládány v časovém kroku 20 s.

4.2 Plynový hořák

Použit je plynový pískový hořák na propan (Obr. 41) o délce 300 mm, šířce 100 mm a výšce 100 mm. Hořák dosahuje maximálního výkonu 50 kW. Zažehnutí hořáku je prováděno pomocí pochodně smočené v petroleji (Obr. 42). Hořák nebyl doposud v minulosti využíván při malých výkonech (tj. pod 5 kW), proto je po několika pokusech zvolena nejnižší možná hodnota výkonu hořáku, při kterém plamen po odejmutí pochodně neuhasne, stanovena na 2 kW. Před započítáním zkoušek je plynový hořák vyzkoušen vystavení min. požadovaného výkonu 2 kW (Obr. 40a) a max. výkonu hořáku 50 kW (Obr. 40b).



Obr. 40 Pohled do zkušební pece na hořák při sledování výšky plamene: a) při výkonu hořáku 2 kW; b) při výkonu hořáku 50 kW



Obr. 41 Pískový propanový hořák



Obr. 42 Zapálení hořáku pomocí pochodně

4.2.1 Výkon hořáku

Výkony hořáku pro jednotlivé požární zkoušky jsou odvozeny z matematických modelů. Standardně jsou výkony hořáku zadávány výpočetní stanici automaticky přes textový soubor s hodnotami času a výkonu. S ohledem na omezenou funkčnost hořáku při malých výkonech je nutné jednotlivé výkony v čase zadávat do výpočetní stanice manuálně s počátečním min. výkonem 2 kW. Hodnoty zadávaných výkonů hořáku v čase shrnuje tabulka (viz Příloha 3).

4.3 Materiály

Zkušební pec je zhotovena z pórobetonových tvárnic a překladů (viz kapitolu 3.2.1). Pro požární zkoušky je použito pozinkované ocelové VZT potrubí tl. 1 mm čtvercového průřezu 200 x 200 mm (Obr. 43a) skládáno ze dvou 1 m dlouhých kusů a dále jednoho 0,5 m dlouhého spojovacího kusu. Tento díl je pro zkoušky PZ3 a PZ4 nahrazen přechodovým kusem z čtvercového průřezu na kruhový průřez 200 mm. Pro uzavření potrubí uvnitř pece je osazena čtyřhranná záslepka. Jednotlivé díly jsou spojeny šrouby M6.

Z hlediska omezených finančních možností není na požární izolaci potrubí použito systémového řešení. Pro malorozměrovou zkoušku je dostačující použití fasádní čedičové vlny tl. 30 mm, která se svými vlastnostmi systémovému řešení přibližuje.

Textilní potrubí pro požární zkoušku PZ3 a textilní vyústka pro požární zkoušku PZ4 (Obr. 43b) jsou poskytnuty firmou Příhoda s.r.o. z tkaniny PMI s třídou reakce na oheň B, s1, d0. Jedná se o 100 % polyester. Potrubí i vyústka jsou na zakázku vyrobeny o kruhovém průřezu 200 mm a délce 1000 mm. Pro distribuci vzduchu vyústkou slouží kruhové perforace ve dvou řadách v protilehlých stranách tkaniny.



Obr. 43 Potrubí: a) pozinkované potrubí; b) textilní vyústka (nahore) a potrubí (dole)

4.4 Referenční požární zkouška zkušební pece – PZO

Zkouška PZO představuje laboratorní model zkušební pece původně zkonstruované pro malorozměrové zkoušky požární odolnosti stěnových konstrukcí. V našem případě byla pec zvolena jako velikostně vyhovující prostor pro následné zkoušení VZT potrubí. Zkouškou PZO byla ověřena celková funkčnost zařízení, tj. hořák, přívod a odvod vzduchu z pece a termočlánky.

4.4.1 Postup přípravy

Prvním úkolem je sestavit již dříve používanou zkušební pec, kterou je nutné seskládat z jednotlivých pórobetonových bloků, některých již na míru seřezaných. Bloky se sestavují na podkladní sádkkartonové desky pod odtahovým zvonem umístěným ve zkušební místnosti. Pod poslední vrstvu bloků je nutné umístit termočlánky pro snímání teploty v prostoru zkušební pece obdobně jako u matematických modelů (viz kapitolu 3.2.3). Následovalo osazení plynového hořáku na podlahu do středu zkušební pece (viz kapitolu 3.2.2) a jeho připojení na rozvod plynu (Obr. 44b). Zaklopení pece je provedeno pórobetonovými panely. Nakonec je zkušební pec zcela uzavřena pórobetonovými bloky, a to i z čelní strany (Obr. 44a).



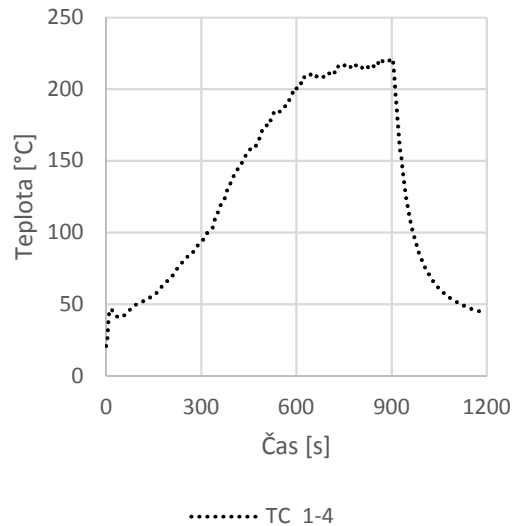
Obr. 44 Zkouška PZO – foto zkušební pece: a) vnější pohled; b) vnitřní pohled

4.4.2 Průběh

Tato první zkouška slouží k ověření funkčnosti hořáku a jeho nastavení. Výkon hořáku je zadáván manuálně dle tabulky (viz Příloha 3). Zkouška trvala celkem 900 s, tj. 15 minut, plus 5 minut (300 s) je vymezeno pro chladnutí pece. Relativní vlhkost vzduchu ve zkušební komoře je 30 % a teplota prostředí 20 °C.

4.4.3 Výsledky

Výsledné teploty čtyř termočlánků v prostoru zkušební pece jsou zprůměrovány v jednu hodnotu. Počáteční nárůst teploty je způsoben zážehem hořáku pochodní (Obr. 45).



Obr. 45 Požární zkouška PZ0 – graf průběhu teploty prostoru zkušební pece

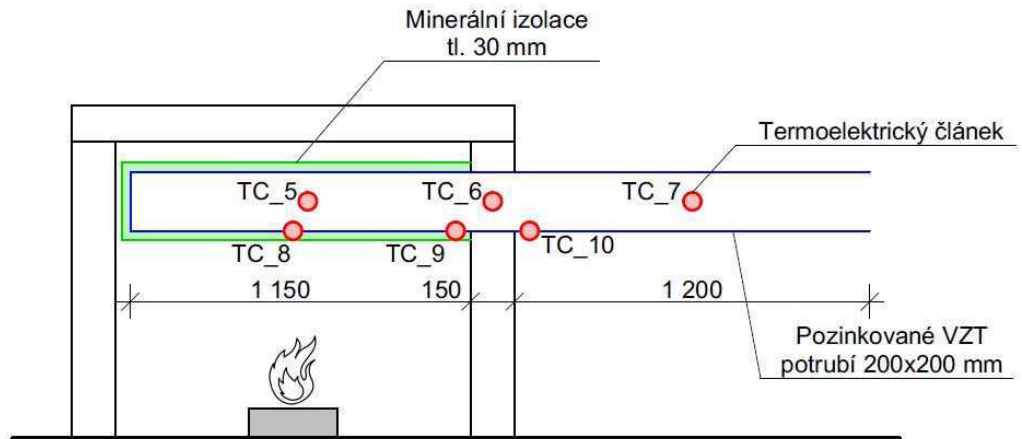
4.5 Požární zkouška požárně odolného pozinkovaného potrubí – PZ1

Požární zkouška PZ1 představuje laboratorní model požárně odolného potrubí umístěného v požárním úseku prostupující požárně dělící konstrukcí do dalšího požárního úseku. Zkouška ověřuje funkčnost požárně odolného potrubí. V následujících podkapitolách je tato zkouška podrobně popsána.

4.5.1 Postup přípravy

V první řadě je do požární stěny uzavírající zkušební pec vyříznut čtvercový otvor o rozměrech cca 220 x 220 mm jako prostup pro potrubí průřezu 200 x 200 mm. Následuje příprava a montáž VZT potrubí. Nejprve je sešroubováno potrubí umístěvané do prostoru pece přírubami k sobě (Obr. 47a) a na konci je uzavřeno čtyřhrannou záslupkou. Na povrch potrubí v místě nad hořákem je umístěn povrchový termočlánek TC_8 (Obr. 46). Nařezány jsou potřebné kusy minerální izolace, kterou se kompletně obaluje část potrubí umístěvaná do zkušební pece (Obr. 47b). Izolace se uchycuje omotáním ocelového vázacího drátu a v krajních místech přelepením hliníkovou samolepící páskou.

Následuje umístění termočláneků do prostoru potrubí, kdy se v potřebných místech potrubí vyvrtají otvory a termočlánek TC_5, TC_6 se do potrubí vsunou a zafixují. Zaizolované potrubí je zavěšeno na speciálně vyrobený ocelový závěsný držák a podepřeno v místě prostupu stěnou (Obr. 48a). U prostupu jsou na potrubí dále připevněny povrchové termočlánek TC_8 a TC_9. Na vnější přírubu se připevní poslední díl potrubí, zafixují se vnější termočlánek v potrubí TC_7 a na povrchu potrubí TC_10. Dále se dostatečně utěsní prostup potrubí stěnou kusy minerální izolace (Obr. 48b) a pec se zaklopí stropními dílci. Finální podoba požární zkoušky zkušební pece s podepřením konce potrubí vně pece (Obr. 49a).



Obr. 46 Model PZ1 – podélný řez pecí s rozmístěním termočlánků



a)

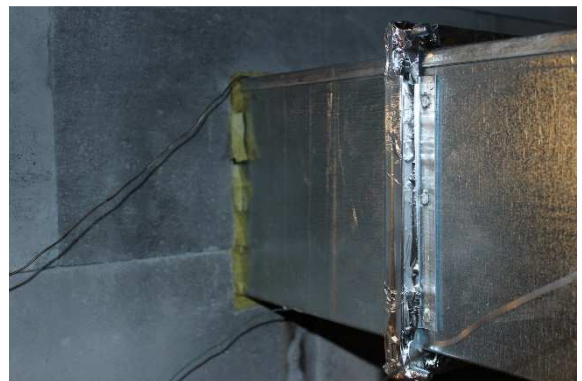


b)

Obr. 47 Zkouška PZ1 – příprava potrubí: a) montáž potrubí; b) zaizolování potrubí



a)



b)

Obr. 48 Zkouška PZ1 – umístění potrubí: a) potrubí prostupující stěnou; b) utěsnění prostupu



Obr. 49 Zkouška PZI – finální podoba zkoušky: a) potrubí prostupující vně pece; b) snímání potrubí termokamerou

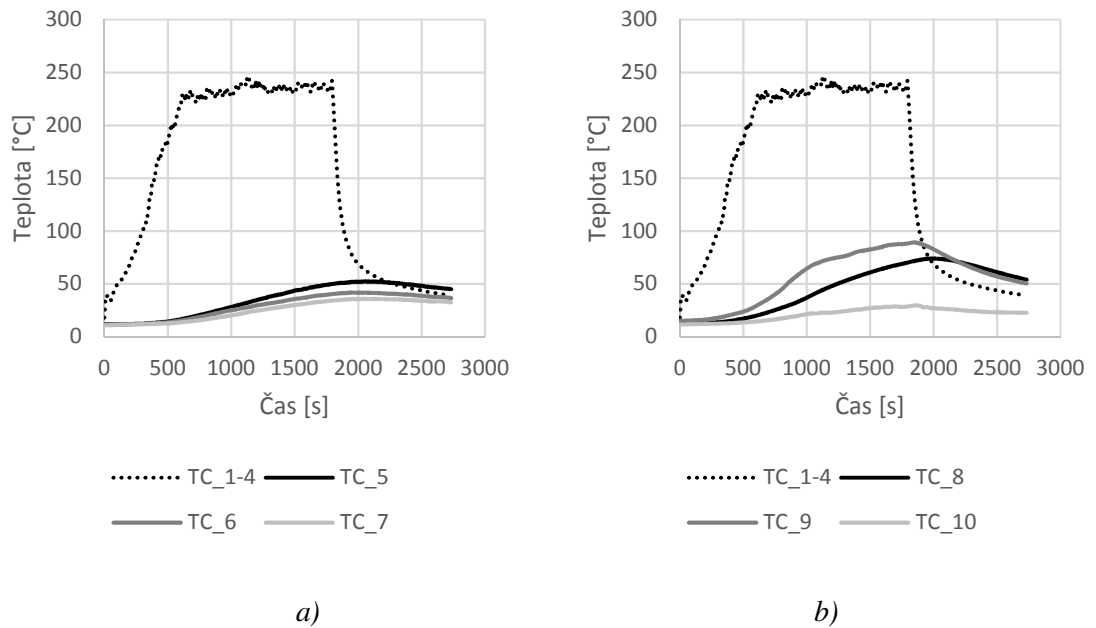
4.5.2 Průběh

Potrubí je vystaveno účinkům požáru po dobu 1800 s (30 minut), dalších 900 s (15 minut) je vymezeno pro chladnutí pece. Výkon hořáku je do výpočetní stanice zadáván manuálně (viz Příloha 3), shodný se zkouškou PZ0. Průběh zkoušky je snímán termokamerou (Obr. 49b) umístěnou cca 2,65 m kolmo od potrubí. Emisivita povrchu pozinkovaného potrubí je zvolena dle příručky termokamery hodnotou 0,28 pro galvanicky upravenou ocel. Relativní vlhkost vzduchu ve zkušební komoře je 30 % a teplota prostředí 20 °C.

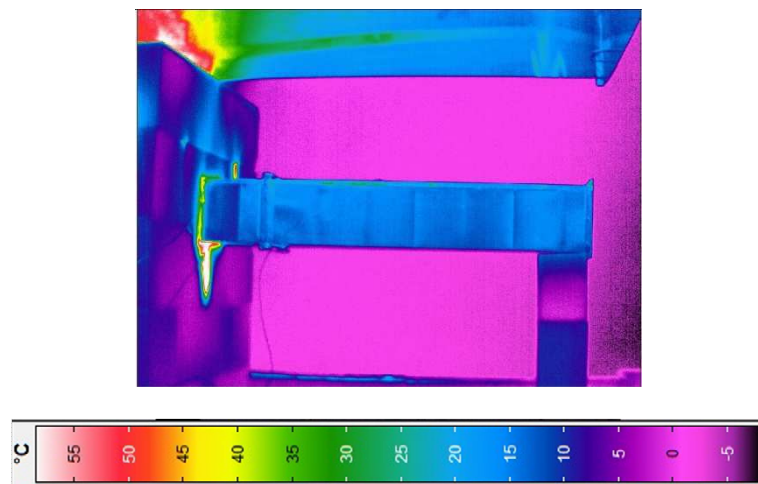
4.5.3 Výsledky

Teploty uvnitř potrubí dosahují max. teplot cca 50 °C v místě nad hořákem TC_5 (Obr. 50a). Přestože není potrubí zaizolováno pouze zjednodušeně, i tak je docíleno splnění předpokladu izolační funkce. Povrchové teploty dosahují podle předpokladu vyšších hodnot přímo na povrchu izolace vystavené přímým účinkům plamene (Obr. 50b). Teploty pod povrchem izolace v místě nad hořákem dosahují max. hodnoty 74 °C.

Na snímku z termokamery je patrná teplota povrchu potrubí před koncem zkoušky, která dosahovala okolo 20 °C (Obr. 51), což se shoduje i s teplotami povrchového termočlánku TC_10 (Obr. 50 b).



Obr. 50 Zkouška PZ1 – graf průběhu teplot: a) uvnitř potrubí; b) na povrchu potrubí



Obr. 51 Zkouška PZ1 – snímek termokamery před koncem zkoušky

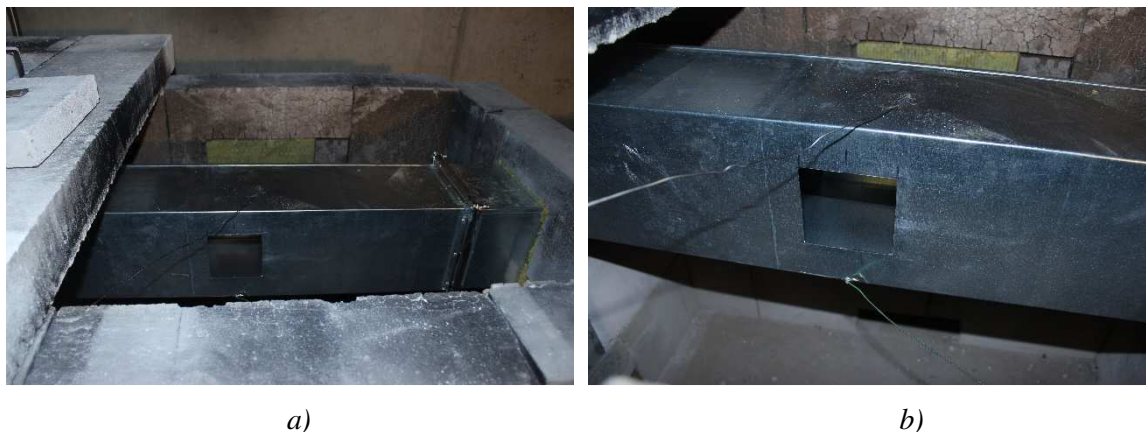
4.6 Požární zkouška pozinkovaného potrubí s vyústkami – PZ2

Požární zkouška PZ2 simuluje obdobně jako zkouška PZ1 pozinkované VZT potrubí prostupující dvěma požárními úseky. Potrubí je v tomto případě bez požární odolnosti s umístěním dvou větracích vyústek v prostoru zkušební pece.

4.6.1 Postup přípravy

Potrubí z předešlé zkoušky je vyjmuto z pece, izolace z potrubí je kompletně odstraněna. Termočlánky TC_5 a TC_8 jsou dočasně vyjmuty. Do protilehlých svislých stěn potrubí přímo v místě nad hořákem jsou vyříznuty větrací vyústky čtvercového průřezu 100 x 100 mm (Obr. 52a). Do středu potrubí a na jeho povrch jsou opět instalovány a zafixovány termočlánky

TC_5 a TC_8 (Obr. 52b). Mezery přírub potrubí jsou oblepeny hliníkovou páskou (Obr. 53a). Potrubí je vráceno do prostoru pece, zavěšeno na ocelový držák a podepřeno v místě prostupu a na konci potrubí vně pece. Otvory pro odvod spalín z pece jsou uzavřeny výřezy minerální izolace. Pro odtah spalín slouží větrací vyústky. Prostup stěnou se dostatečně utěsní kusy minerální izolace (Obr. 53a) a pec se opět zaklopí pórobetonovými překlady (Obr. 53b).



Obr. 52 Zkouška PZ2 – potrubí uvnitř pece: a) větrací vyústka; b) upevnění termočlánků



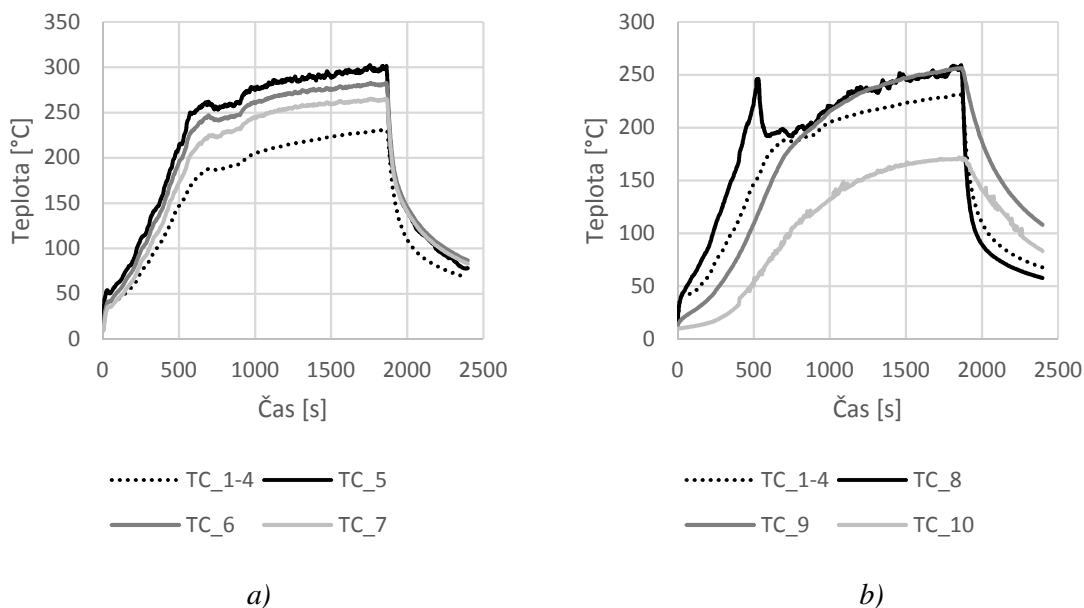
Obr. 53 Zkouška PZ2 – potrubí vně pece: a) utěsnění prostupu a přelepení přírub; b) finální podoba zkoušky

4.6.2 Průběh

Potrubí je vystaveno účinkům požáru po dobu 1860 s (31 minut), dalších 540 s (9 minut) je vymezeno pro chladnutí pece. Výkon hořáku je do výpočetní stanice zadáván manuálně (viz Příloha 3). Průběh zkoušky je snímán termokamerou umístěnou cca 2,8 m kolmo od potrubí. Emisivita povrchu pozinkovaného potrubí je zvolena dle příručky termokamery hodnotou 0,28 pro galvanicky upravenou ocel. Relativní vlhkost vzduchu ve zkušební komoře je 36 % a teplota prostředí 19 °C.

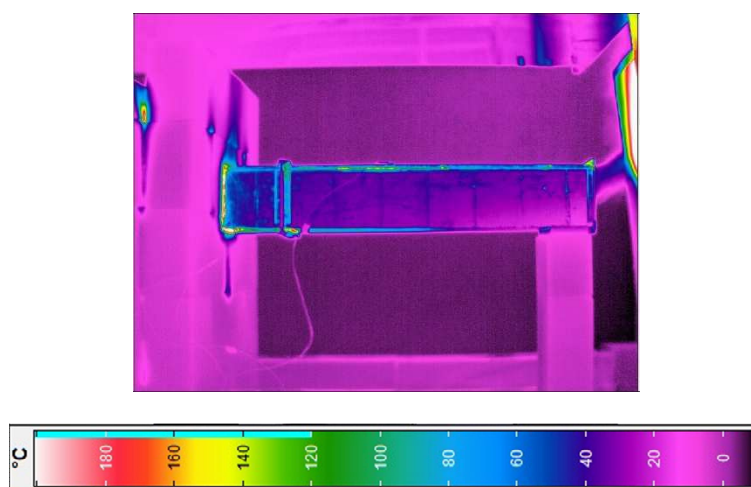
4.6.3 Výsledky

Teplota v prostoru zkušební pece se v 900 s zdá být pod hranicí 200 °C (Obr. 54a), proto je zvýšen výkon hořáku o 1 kW na 13 kW a teploty od této chvíle postupně stoupají. Tahem horkých zplodin skrze potrubí dosahují teploty uvnitř potrubí v místě nad hořákem až 300 °C. Velký výkyv teploty povrchového termočlánku TC_8 (Obr. 54b) je pravděpodobně způsoben jeho uvolněním v průběhu zkoušky. Vlivem přímého působení plamene je hliníková páska připevňující termočlánek odlepena.



Obr. 54 Zkouška PZ2 – graf průběhu teplot: a) uvnitř potrubí; b) na povrchu

Ze snímku termokamery pořízeného před koncem zkoušky je patrné, jak důležité je dostatečné utěsnění prostupu stěnou. V tomto případě dosahují teploty v prostupu přes 180 °C (Obr. 55).



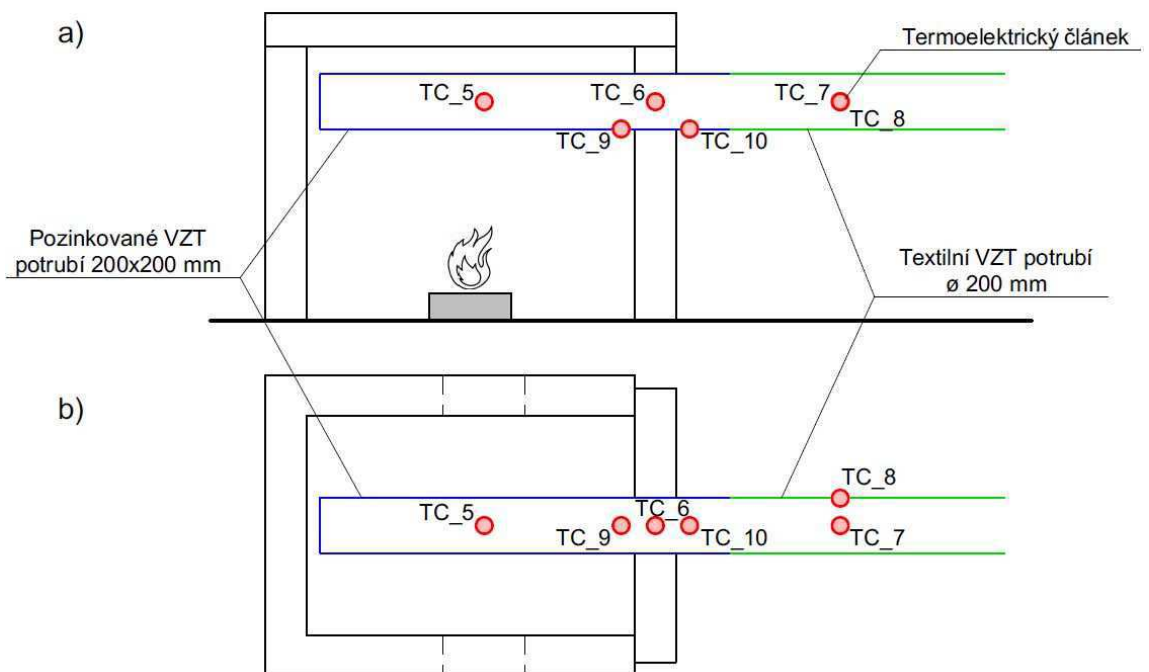
Obr. 55 Zkouška PZ 2 – snímek termokamery před koncem zkoušky

4.7 Požární zkouška pozinkovaného potrubí s vyústkami a navazujícím textilním potrubí vně pece – PZ3

Požární zkouškou je sledováno chování textilního potrubí, které není vystaveno přímému účinku plamene, ale šíří se jím zplodiny hoření.

4.7.1 Postup přípravy

Pozinkované potrubí z předešlé zkoušky PZ2 je vyjmutο ze zkušební pece. Střední spojovací díl potrubí je nahrazen přechodovým kusem (Obr. 57a) pro napojení kruhového potrubí průřezu 200 mm. Na stropní konstrukci pece je osazen ocelový Jäkl (Obr. 58a) pro možnost zavěšení textilního potrubí. Ocelové objímky slouží pro přichycení potrubí k přechodovému kusu (Obr. 57b) a udržení kruhového průřezu na koncové části potrubí. Pomocí vázacího drátu je dále potrubí na třech místech zavěšeno na Jäkl. Termočlánky jsou opět umístěny ve třech pozicích do středu potrubí a dále dva na povrch potrubí u prostupu stěnou (Obr. 56a, b) a jeden na povrch tkaniny (Obr. 58b).



Obr. 56 Zkouška PZ3 – schéma rozmístění termočlánků v potrubí: a) podélný řez; b) půdorys



Obr. 57 Zkouška PZ3 – přechodový kus: a) průhled do potrubí uvnitř pece; b) upevnění textilu



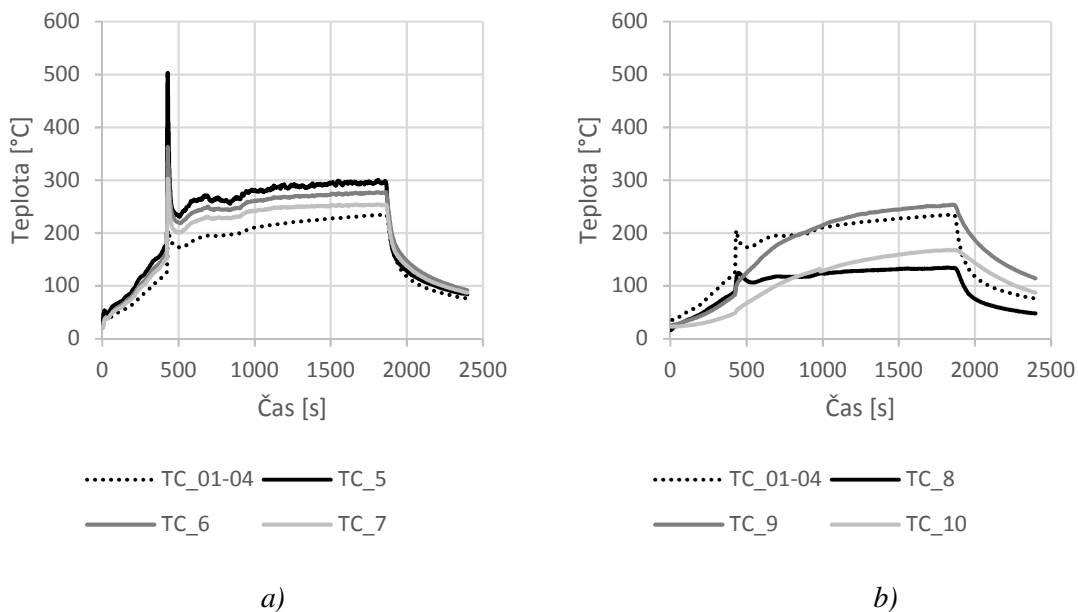
Obr. 58 Zkouška PZ3: a) zkušební sestava; b) připevnění termočlánku TC_8 na povrch textilu

4.7.2 Průběh

Potrubí uvnitř pece je vystaveno účinkům požáru po dobu 1860 s (31 minut), dalších 540 s (9 minut) je vymezeno pro chladnutí pece. Výkon hořáku je do výpočetní stanice zadáván manuálně dle tabulky (viz Příloha 3). Průběh zkoušky je snímán termokamerou umístěnou cca 2,8 m kolmo od potrubí. Emisivita povrchu textilního potrubí je zvolena dle příručky termokamery hodnotou 0,86 (zprůměrováním hodnot pro tkaninu a tapetu šedé barvy). Relativní vlhkost vzduchu ve zkušební komoře je 35 % a teplota prostředí 19 °C.

4.7.3 Výsledky

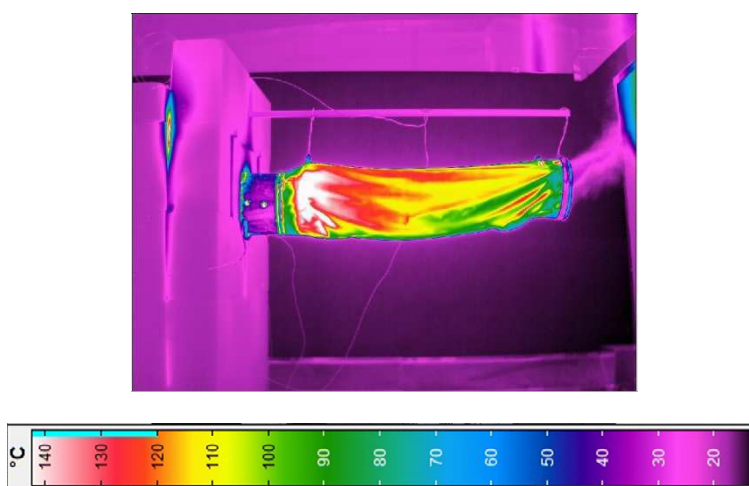
Velký výkyv teplot zhruba ve 430 s (Obr. 59a) je způsoben omylem při manuálním zadávání výkonu hořáku, kdy se na místo 10 kW chybně zadalo 50 kW. Názorně je vidět, jak rychle hořák i termočlánky zareagovaly, i když se výkon okamžitě snížil na správnou hodnotu. Teploty v potrubí závisí na tahu zplodin, v textilním potrubí dosahují až 254 °C, čímž je překročena teplota tavení tkaniny, která začíná na cca 200 °C.



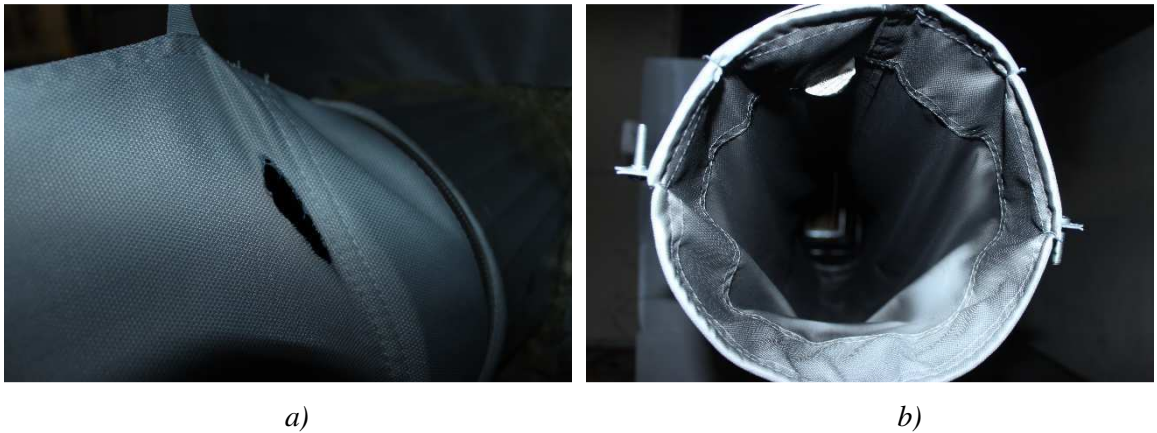
Obr. 59 Zkouška PZ3 – graf průběhu teplot: a) uvnitř potrubí; b) na povrchu

Nejvíce tepelně namáhaným místem je příruba spojovaných materiálů pozinkovaného a textilního potrubí (Obr. 60). U tohoto místa dosahují povrchové teploty textilu přes 140 °C. Povrchové teploty uprostřed textilního potrubí jsou cca 110 °C, jak je vidět na snímku termokamery (Obr. 60), tak i na průběhu TC_8, kde je max. teplota před koncem zkoušky 134 °C (Obr. 59b).

Textilní potrubí je poškozeno během zkoušky pouze minimálně. Vzniká trhlina podél švu textilu (Obr. 61a) je způsobena vysokou teplotou příruby spoje materiálů v kombinaci s přílišným napnutím závěsného poutka. Okraj trhliny je zataven prouděním horkého vzduchu. Uvnitř je potrubí pouze zašpiněno zakouřením a lehce je zdeformována i cedulka textilu (Obr. 61b).



Obr. 60 Zkouška PZ3 – snímek termokamery před koncem zkoušky



Obr. 61 Zkouška PZ3 – poškození textilního potrubí: a) trhlina u švu; b) zašpinění potrubí a deformace cedulky

4.8 Požární zkouška pozinkovaného potrubí s vyústkami a navazující textilní vyústkou vně pece – PZ4

Požární zkouška sleduje chování textilní vyústky, která není vystavena přímému účinku plamene. Zplodiny hoření se do vnějšího prostoru dostávají skrze otvory perforace vyústky.

4.8.1 Postup přípravy

Textilní potrubí z předešlé zkoušky PZ3 je odstraněno na jeho místo je obdobným způsobem, pomocí ocelových objímek a zavěšením vázacím drátem, upevněna textilní vyústka (Obr. 62). Termočlánky jsou umístěny shodně s požární zkouškou PZ3 (Obr. 56a), b). Finální podoba zkoušky je patrná z následujícího obrázku (Obr. 62b).



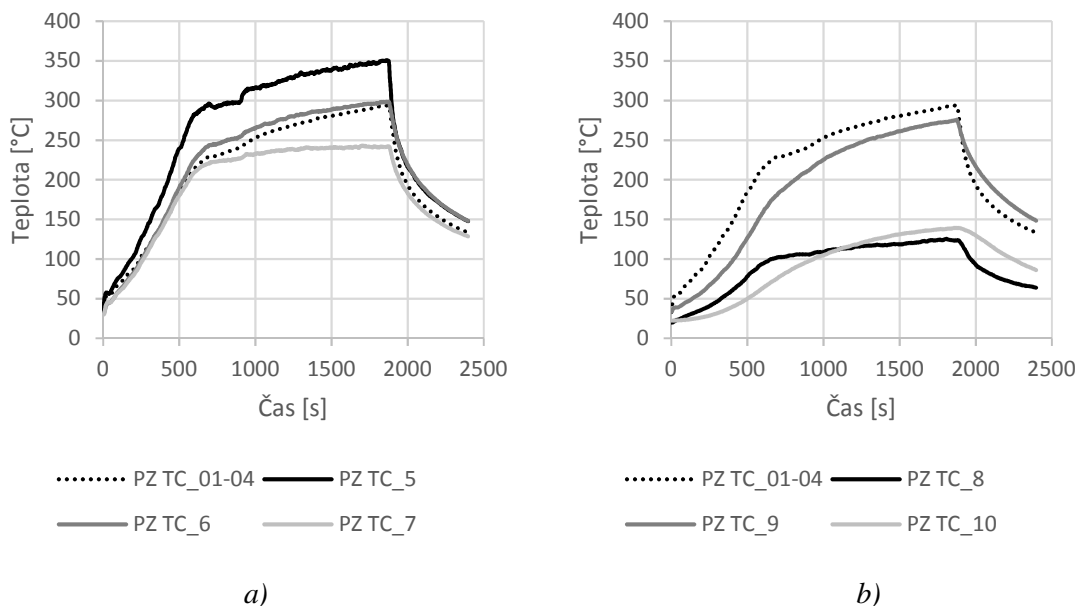
Obr. 62 Zkouška PZ4: a) upevnění vyústky; b) zkušební sestava

4.8.2 Průběh

Potrubí uvnitř pece je vystaveno účinkům požáru po dobu 1860 s (31 minut), dalších 540 s (9 minut) bylo vymezeno pro chladnutí pece. Výkon hořáku byl do výpočetní stanice zadáván manuálně dle tabulky (viz Příloha 3). Průběh zkoušky byl snímán termokamerou umístěnou cca 2,8 m kolmo od vyústky. Emisivita povrchu textilní vyústky byla zvolena dle příručky termokamery hodnotou 0,86 (zprůměrováním hodnot pro tkaninu a tapetu šedé barvy). Relativní vlhkost vzduchu ve zkušební komoře je 35 % a teplota prostředí 20 °C.

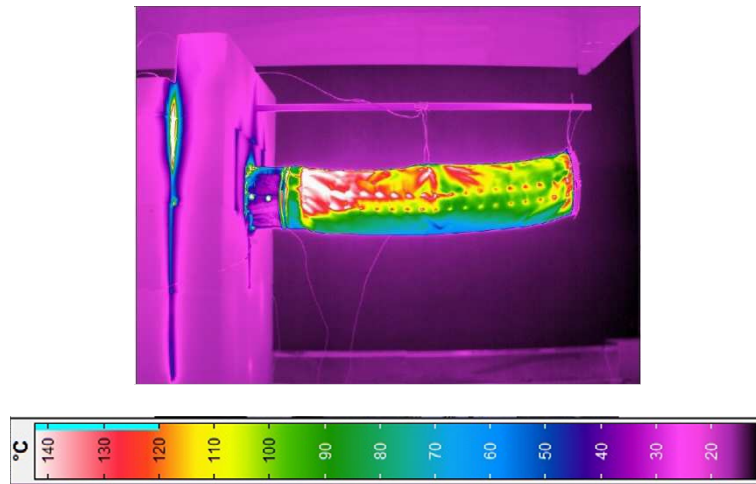
4.8.3 Výsledky

Teploty v peci jsou oproti předešlým zkouškám výrazně vyšší, což je způsobeno akumulací horkých spalin v prostoru pece a potrubí (Obr. 63a), které se z vyústky dostávají pouze přes otvory perforace, především pak otvory horní řady (Obr. 64). Teploty v textilní vyústce dosahují max. hodnoty 243 °C (Obr. 63a), max. teplota povrchu textilu pak 125 °C (Obr. 63b).



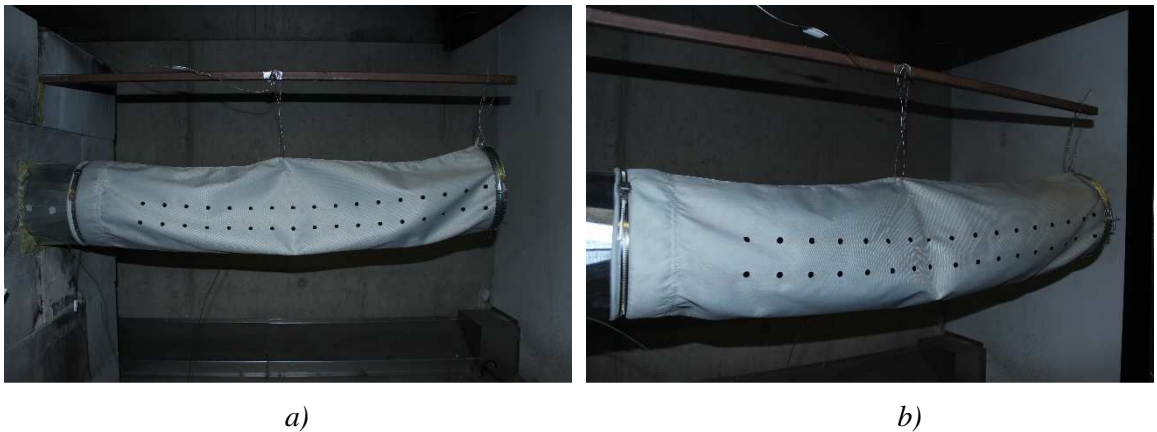
Obr. 63 Zkouška PZ4 – grafy průběhu teplot: a) uvnitř potrubí a vyústky; b) na povrchu potrubí a vyústky

Snímek termokamery názorně ukazuje akumulaci horkých zplodin v horní polovině vyústky (Obr. 64). Nejvíce tepelně namáhaným místem je opět příruba spojovaných materiálů pozinkovaného a textilního potrubí. U tohoto místa a v horní části vyústky dosahují povrchové teploty textilu přes 140 °C. Ze snímku termokamery (Obr. 64) je patrné, že spodní otvory vyústky nasávaly vzduch a horní naopak horký vzduch vyfukovaly. Uvažováno by mohlo být o jiném uspořádání otvorů, tak aby se ve vyústce horký vzduch neakumuloval.



Obr. 64 Zkouška PZ4 – snímek termokamery před koncem zkoušky

Proudění zplodin je patrné i na obrázku (Obr. 65a), kdy je potrubí před počátkem zkoušky splasklé, kdežto během zkoušky už je výrazně napnutější (Obr. 65b).



Obr. 65 Zkouška PZ4 – proudění vzduchu vyústkou: a) potrubí před počátkem zkoušky je splasklé; b) potrubí během zkoušky je napnuté

5 Diskuze získaných výsledků

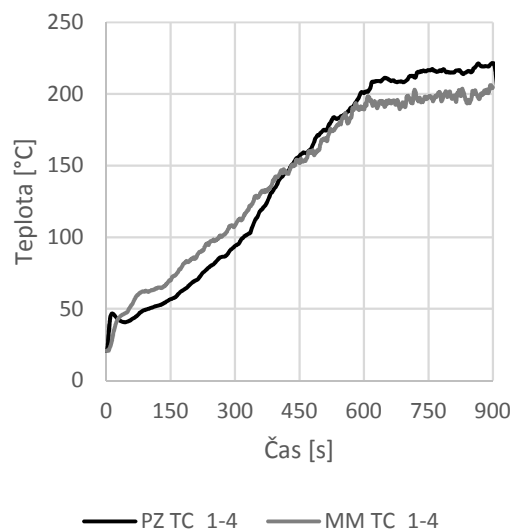
Kapitola je věnována validaci neboli srovnání matematických modelů a laboratorních požárních zkoušek a ověření vzájemné shody jejich získaných výsledků. Vzhledem k získaným okrajovým podmínkám z průběhů laboratorních zkoušek, jsou matematické modely pro porovnání s požárními zkouškami zpřesněny.

Mezi upravované okrajové podmínky patří pouze teplota okolního prostředí a výkony hořáku v čase. Jelikož jsou teploty před započítáním zkoušky v peci a v potrubí odchylné, je do matematických modelů zadávána, v modelech podstatnější, teplota v potrubí. Použity jsou hodnoty výkonů hořáku zadávané při požární zkoušce dle tabulky (viz Příloha 3). Následně jsou hodnoty získaných teplot vzájemně porovnány.

5.1 Matematický model MM0 a požární zkouška PZO

Matematický model MM0 (viz kapitolu 3.3) byl pro porovnání s výsledky požární zkoušky přepočítán. Nyní jsou v modelu změněny pouze hodnoty výkonu hořáku pro požární zkoušky PZO (viz Příloha 3) a dále je upravena je teplota prostředí. Zadána je hodnotou 20,8 °C, tj. teplotou v prostoru pece na počátku požární zkoušky PZO. Touto úpravou a přepočítáním je docíleno max. možného přiblížení požární zkoušce v závislosti na zadaných okrajových podmínkách.

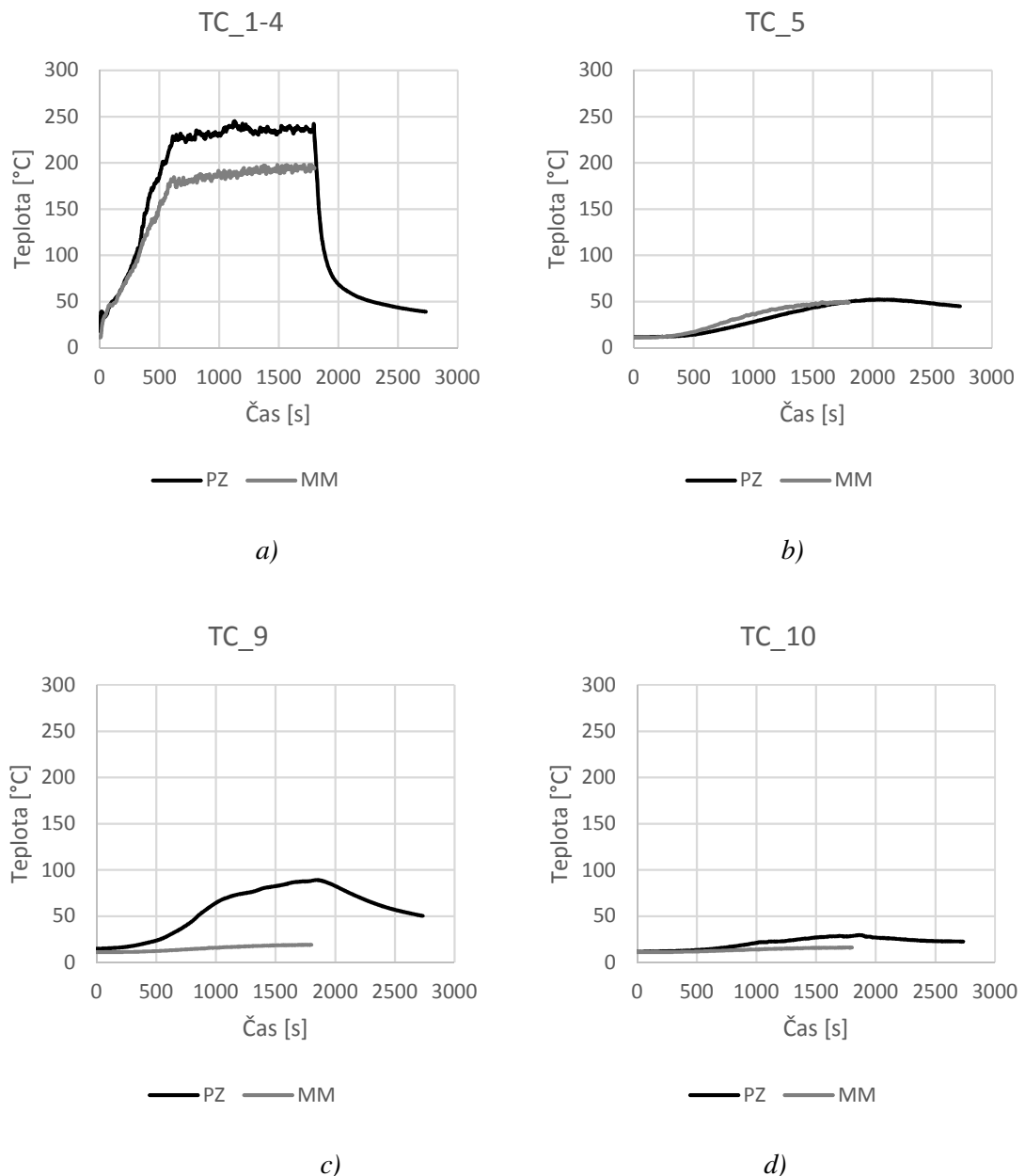
Průměrné teploty v prostoru zkušební pece dosahují velice dobré shody. Rozdíly mezi hodnotami teplot matematického modelu a požární zkoušky dosahují max. okolo 20 °C (Obr. 66). Je evidentní, že vyšší výkyvy nastávají mezi 150 s a 300 s a následně pak po 600 s až do konce zkoušky.



Obr. 66 Graf průběhu průměrných teplot v peci PZO a MM0

5.2 Matematický model MM1 a požární zkouška PZ1

Matematický model MM1 (viz kapitolu 3.4) byl pro porovnání s výsledky požární zkoušky přepočítán. Nyní jsou v modelu změněny pouze hodnoty výkonu hořáku požární zkoušky PZ1 (viz Příloha 3) a dále je upravena teplota prostředí. Zadána je hodnotou 11,3 °C, tj. teplotou v potrubí na počátku požární zkoušky PZ1. Touto úpravou a přepočítáním je docíleno max. možného přiblížení požární zkoušce v závislosti na zadaných okrajových podmínkách.

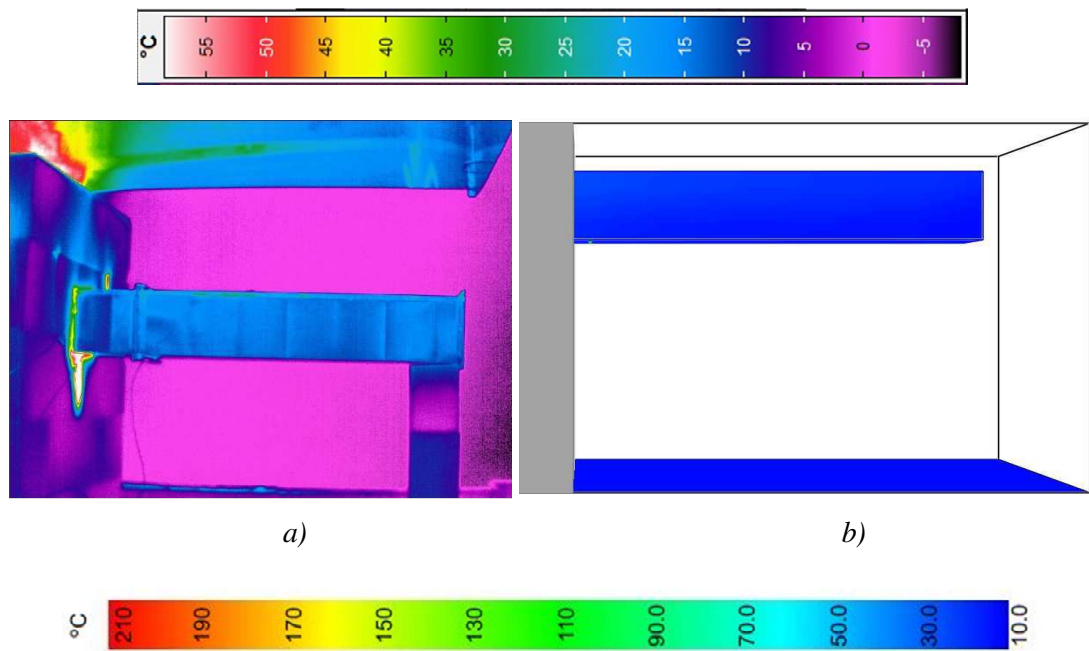


Obr. 67 Graf průběhu teplot PZ1 a MM1: a) v peci; b) v chráněném potrubí v místě nad hořákem; c) povrch požárně chráněného potrubí; d) povrch potrubí vně pece u prostupu

Průběhy průměrných teplot v prostoru pece matematického modelu a požární zkoušky se o cca 50 °C rozcházejí v ustálené fázi požáru (Obr. 67a). Teploty v požárně chráněném potrubí

v místě nad hořákem se naopak velice shodují (Obr. 67b), rozdíl teplot je zde minimální. Vysoká odchylka teplot je ovšem na povrchu potrubí požárně chráněného izolací u prostupu stěnou uvnitř pece TC_9 (Obr. 67c). V případě požární zkoušky je max. teplota o 70 °C vyšší, což je pravděpodobně způsobeno nedokonalým provedením izolace potrubí. Vyšší ohřev povrchu vnější části potrubí (Obr. 67d) je způsobeno průnikem horkého vzduchu mezerou mezi bloky požární stěny, zde nebylo dostatečně provedeno zatěsnění spáry.

Relativně dobrou shodu můžeme pozorovat na porovnání snímků termokamery (Obr. 68a) a vizualizaci matematického modelu v programu Smokeview (Obr. 68b). Povrchové teploty potrubí vně pece dosahují dle záznamu termokamery proměnlivých hodnot mezi cca 15-25 °C. Povrchové teploty dle matematického modelu dosahují hodnot mezi cca 15-30 °C.

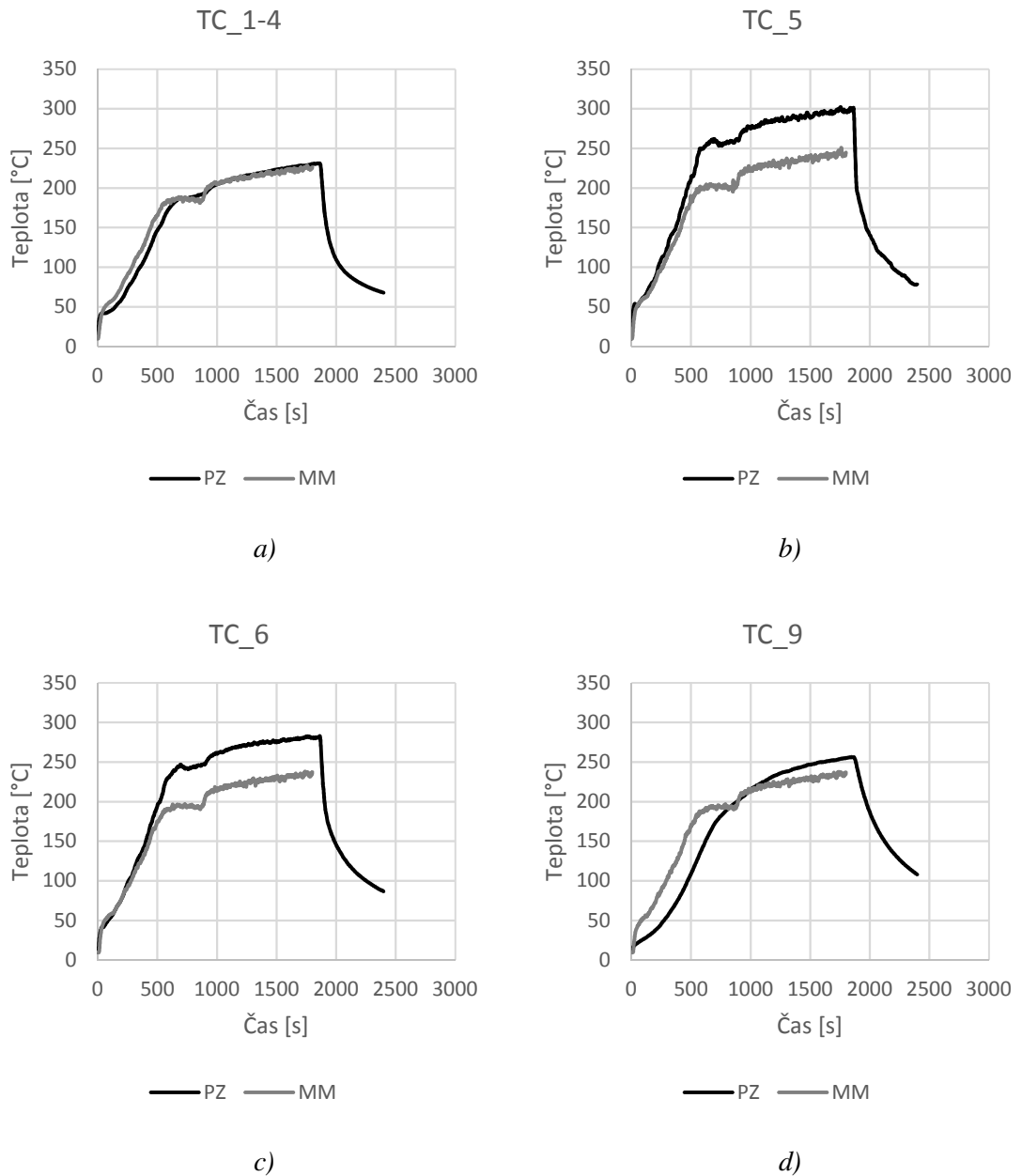


Obr. 68 Snímky povrchových teplot potrubí: a) snímek termokamery zkoušky PZ1 (stupnice nahoře); b) vizualizace modelu MM1 (stupnice dole)

5.3 Matematický model MM2 a požární zkouška PZ2

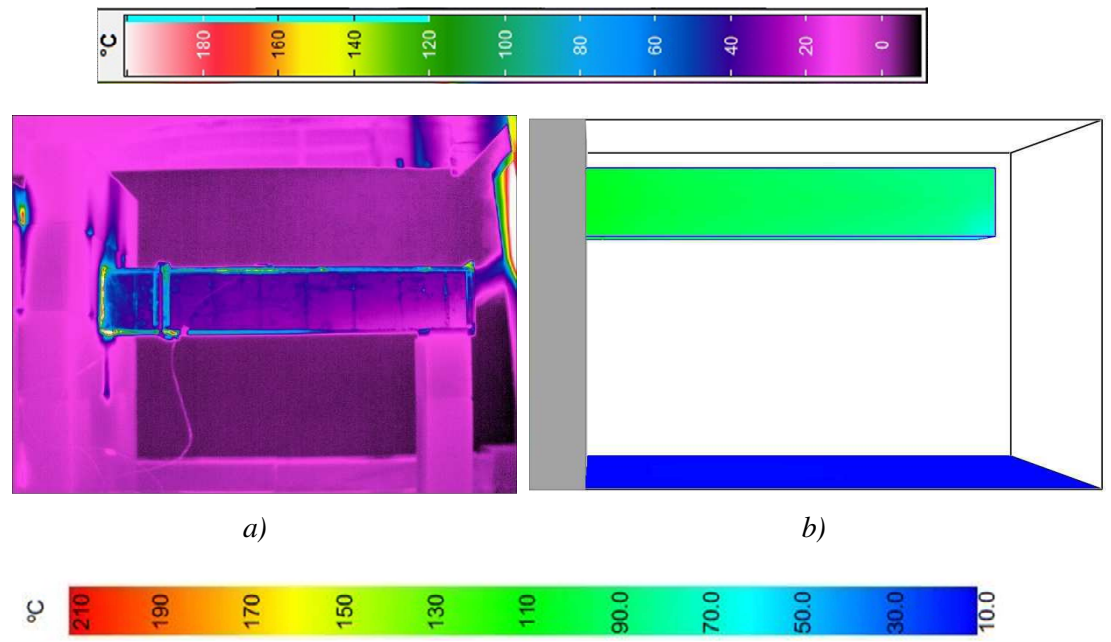
Matematický model MM2 (viz kapitolu 3.5) byl pro porovnání s výsledky požární zkoušky přepočítán. Nyní jsou v modelu upraveny pouze hodnoty výkonu hořáku požární zkoušky PZ2 (viz Příloha 3) a dále je upravena teplota prostředí. Zadána je hodnotou 9,6 °C, tj. teplotou v potrubí na počátku požární zkoušky PZ1. Touto úpravou a přepočítáním je docíleno max. možného přiblížení požární zkoušce v závislosti na zadaných okrajových podmínkách.

Velmi přesné shody je dosaženo u teplot v prostoru zkušební pece (Obr. 69a). Výkony hořáku jsou tedy nastaveny v maximální shodě. Průběhy teplot v prostoru potrubí (Obr. 69b), c) jsou vzájemně odchýleny o cca 50 °C. Důvodem mohou být různé okolní podmínky v průběhu zkoušky, např. vliv ventilace odtahovým zvonem. Povrchové teploty vnějšího potrubí u prostupu stěnou (Obr. 69d) mají již větší shodu, rozdíl je zde cca 25 °C.



Obr. 69 Graf průběhu teplot PZ2 a MM2: a) v peci; b) v potrubí v místě nad hořákem; c) v potrubí v místě prostupu; d) povrch potrubí vně pece u prostupu

Povrchové teploty vnějšího potrubí v případě porovnání snímku termokamery zkoušky PZ2 a vizualizace MM1 se příliš neshodují. Povrchové teploty snímku termokamery z požární zkoušky sahají v rozmezí 30-60 °C (Obr. 70a), kdežto vizualizace matematického modelu uvádí rozsah teplot 60-110 °C (Obr. 70b).



Obr. 70 Snímky povrchových teplot potrubí: a) snímek termokamery zkoušky PZ2 (stupnice nahoře); b) vizualizace modelu MM2 (stupnice dole)

6 Závěr

6.1 Závěr teoretické části

Čtenář byl seznámen s principy používaných VZT systémů v budovách, jak z hlediska uspořádání a chodu systému, tak i z hlediska používaných materiálů pro hlavní prvky rozvodů a komponentů, které jsou zásadní v kontextu s požárním zabezpečením stavby. Osvětleny byly postupy zkoušení a klasifikace VZT potrubí a požárních klapek a vysvětlení používaných symbolů. Na základě podrobnějšího rozboru uskutečněných požárů, byla nejčtenější příčinou vzniku požáru zhodnocena nedbalost osob. V případě řešení rozšíření požáru přes VZT rozvody se jako hlavní příčinou dalšího rozšíření požáru staly mastné usazeniny prachu a nečistot v potrubí. Tímto problémem by mělo být taktéž navázáno na revizi normy ČSN 73 0872. Revize by měla být zaměřena na celkovou aktualizaci a provázání s aktuálnějšími normami. Mezi body změny náleží mezní hranice velikosti průřezu potrubí, kdy není požadováno osazení požární klapky a dále podmínky použití textilních materiálů pro VZT rozvody.

6.2 Závěr praktické části

Záměr uskutečnění požárních zkoušek vychází z navrhovaných bodů změny normy. Koncepce jednotlivých zkoušek byla rozvíjena postupně. Z počátku bylo diskutováno, v jakých podmínkách a v jakém konceptu by měly být zkoušky uskutečněny. Nakonec na základě konzultací podílejících se odborníků, především pana Ing. Stanislava Tomana a zástupce firmy Příhody s.r.o. pana Ing. Lukáše Kadrmasa, se v konečné podobě, dle textu výše, požární zkoušky uskutečnily.

Jedním z hlavních cílů požárního experimentu bylo pozorování průběhu teplot spalin šířících se VZT potrubím o mezní hodnotě průřezu 200 x 200 mm z prostoru zkušební pece, kterou byl simulován požární úsek, zde např. třída mateřské školy. Na základě předem zhotovených tří matematických modelů bylo provedeno celkem pět požárních zkoušek. Matematický model MM0 a požární zkouška PZ0 představovaly referenční situaci pro ověření funkčnosti zkušební pece. Matematický model MM1 a požární zkouška PZ1 simulovaly umístění požárně chráněného pozinkovaného potrubí uvnitř pece, vně pece nechráněného. Matematickým modelem MM2 a požární zkouškou PZ2 bylo představeno chování pozinkovaného potrubí opatřeného dvěma větracími výústkami uvnitř pece, potrubí bylo v celé délce požárně nechráněné. Požární zkoušky PZ3 a PZ4 představovaly osazení textilního potrubí a výústky na pozinkované potrubí vně pece.

Požárními zkouškami byly získány hodnoty teplot v potrubí prostupující požární stěnou. Tyto teploty dosahovaly v případě varianty zkoušky PZ2, tedy použití pouze pozinkovaného potrubí a varianty zkoušky PZ3 kombinace pozinkovaného potrubí s textilním potrubím hodnot až 280 °C. V případě pozinkovaného potrubí s navazující textilní výústkou zkoušky PZ4 byly hodnoty v místě prostupu potrubím až 300 °C. Je evidentní, že se nejedná o zanedbatelné hodnoty teplot toxických zplodin hoření proudících ve VZT potrubí. V případě postupu podle stávající

normy by požární klapka na prostup stěnou nemusela být osazena, ale zároveň norma uvádí formulaci, kdy má projektant svým návrhem zajistit maximální zabezpečení objektu proti šíření požáru VZT rozvody. Dochází, zde tak k rozporu.

Cíle požárních zkoušek byly dále mířeny na používání textilních potrubních rozvodů a vyústek. Trendem je použití těchto materiálu, především pak vyústek, do provozů s nároky na tichý chod větracího systému. Textilie nebyly v průběhu zkoušky vystaveny přímému účinku požáru, ovšem šířily se jimi zplodiny hoření. Výrobce nebyly tyto materiály doposud takto zkoušeny. Úvahy o průběhu zkoušek spíše směřovaly k myšlenkám, kdy při teplotách okolo 200 °C začne materiál degradovat. Průběhy zkoušek ovšem ukázaly opak. V textilním potrubí a vyústce dosahovaly teploty 240-255 °C. Navíc textil nebyl nijak výrazně poškozen, tedy krom trhliny, která byla zapříčiněná vysokou teplotou na přírubě spoje materiálů v kombinaci s přílišným napnutím zavěšovacího poutka. Ve výsledném shrnutí dopadly požární zkoušky uspokojivě. Je evidentní, že se textilní materiály budou nadále pro VZT rozvody používat, proto by měl být maximálně zmapován jejich potenciál využití.

6.3 Doporučení pro další činnost

Závěrem lze konstatovat, že problematiku systémů VZT v oblasti požární bezpečnosti je třeba stále rozvíjet. Dále je možné se ubírat právě směrem zkoušení nekovových materiálů používaných pro potrubní rozvody, ať již textilních nebo plastových. Variantou může být například vystavit textilní materiál podmínkám přímého účinku požáru, ovšem s odcloněním proti zásahu materiálu přímým plamenem.

Příloha 1 – Tabulka skutečných požárů

Č.	Datum	Místo	Objekt	Příčina požáru	Souvislost s VZT	Odhadnutá škoda	Zasahující jednotky a osoby	Použité hasivo a prostředky	Počet zraněných/usmrčených	Pozn.
1	31.12.2002	Praha 8, ul. Cafourkova	bytový dům	technická závada - ohnisko u lednice	rozšíření požáru do VZT, vyšších pater	2 500 000 Kč	HZS	voda	9 zraněných, 1 os.usmrčen	zasazeny 2 potrubí izol. a neizol.
2	5.11.2003	Praha - Letňany	podnik Deawoo - Avia, lakovna	technická závada ventilátoru VZT	požárem zasaženo VZT potrubí	150 000 Kč	HZS+SDH	voda	0	
3	3.5.2004	Praha 9, ul. Kovářská	pekárna	technická závada ventilátoru VZT	vznícení mastných usazenin, požár izolace VZT, potrubí, ventilátor	150 000 Kč	HZS	-	1 os. nadýchání zplodin	
4	15.3.2005	Otrokovice	výrobní hala	nedbalost při svařování	požár usazenin ve VZT rozšíření přes 4 patra na střeše	-	HZS+HZSP	převozové HP+voda	-	
5	13.12.2005	Praha 6, ul. Sušická	hotel Praha	nedbalost při používání rozbrušovacího agregátu	požár dřevěné izolace ve strojovně VZT	3 000 Kč	HZS	voda	-	
6	23.3.2006	Nové Zákupy	výrobní závod Vest-izol	nedbalost při svaření autogenní soupravou	zahoření prachu ve VZT, požár střešní konstrukce	150 000 Kč	HZS+SDH	PHP	0	3. požár za 1 rok (předtím také prach)
7	9.4.2006	Praha 15, Kutnohorská	sklad	nedbalost při likvidaci staré VZT (jiskra)	zahoření starých usazenin ve VZT	-	HZS	voda - vysokotlak	-	
8	20.10.2006	Hradec Králové, Brněnská třída	firma pro výrobu klavírů a pián	-	požár filtru na piliny ve VZT	20 000 Kč	zaměstnanci, HZS+SDH	PHP, voda	1 os. nadýchání zplodin	
9	15.1.2008	Praha, ul. V Celnici	hotel	-	požár VZT v šatně hotelu	-	HZS	sprinklery, RHP, voda	0	
10	24.2.2009	Praha - Nusle	hotel Union	nedbalost při kouření, nedopalek cigarety	požár se rozšířil potrubím VZT ze světlíku obytného domu do sousedního hotelu	100 000 Kč	HZS	-	-	
11	5.5.2009	Jaroměř, ul. Jaromírova	výrobní hala lisovny a svařovny	nedbalost, nasátí žhavé částice od svařování do VZT	požár nové filtrační jednotky VZT	400 000 Kč	HZS+SDH	voda	0	
12	5.1.2011	Uničov, ul. Šumperská	výrobní hala	-	požár místnosti s VZT, rozšíření do vedení VZT, zeteplení místnosti a střechy	500 000 Kč	HZS+SDH	voda - vysokotlak	-	
13	22.1.2011	Písek, Průmyslová ul.	výrobní závod Faurecia, s.r.o.	technická závada	požár filtrační a VZT jednotky	200 000 Kč	HZS+SDH	voda	-	
14	9.3.2011	Třebíč - Jejkov, Průmyslová ul.	soukromá firma	technická závada	požár VZT	250 000 Kč	zaměstnanci	PHP	0	
15	29.8.2011	Praha	nákupní centrum Palladium, provozovna rychlého občerstvení	technická závada, zkrat na elektroinstalaci	zahoření ventilátoru a filtru ve VZT	300 000 Kč	HZS	PHP CO2, sněhový vůz	-	
16	28.3.2012	Chotěboř, Žižkova ulice	strojírenská firma	nedbalost, nasátí žhavé částice do odsávání VZT	požár VZT	500 000 Kč	HZS	voda - vysokotlak	0	
17	13.8.2012	Krupka	výrobní podnik Knauf	-	požár v odtahovém systému VZT	-	zaměstnanci, HZS+SDH	voda	0	
18	17.8.2012	Praha 10, ul. Vyžlovská	administrativní budova	-	požár VZT	-	HZS	voda	-	
19	8.10.2012	České Budějovice, ul. J. Plachty	restaurace	nedbalost - vznícení rozpáleného oleje	rozšíření do VZT	100 000 Kč	-	voda	0	
20	12.10.2012	Beroun	sportovní hala Eden	-	rozšíření do VZT a střechy	15 000 000 Kč	-	voda + pěna	1	
21	29.10.2012	Červená Kostelec - Stolín	dílny výroby těsnění do aut	zahoření usazenin ve VZT	požár VZT	7 000 Kč	HZS+SDH	-	0	
22	20.5.2013	Třebíč - Jejkov, ul. Žďárského	hala lakovny	úder blesku	požár VZT jednotky a VZT vedení	1 000 000 Kč	HZS+SDH	pěna	0	
23	22.1.2014	Olomouc, ul. 28.října	restaurace	nedbalost při práci s otevřeným ohněm	zahoření digestoře rozšíření VZT do vyšších pater	250 000 Kč	-	voda+zařízení COBRA	0	
24	24.1.2014	Olomouc, ul. Táborská	průmyslová prádelna	zahoření jemného prachu ve stroji	VZT do dalších místností, hoření prachu ve VZT	-	zaměstnanci + HZS	PHP + voda	0	
25	1.4.2014	Týn nad Vltavou, ul. Předčická	firma	technická závada	požár rozvodů VZT, včetně olej. separátoru a filtrů	4 500 Kč	HZS+SDH	voda	-	
26	4.7.2015	Jihomoravský kraj	výrobní hala	provazně technická závada ventilátoru VZT	požár VZT	3 500 000 Kč	-	voda	0	
27	28.11.2014	Praha, ul. Kubešikova	restaurace "Taverna Olympos"	nedbalost	zahoření mastných nečistot ve VZT nad grilem, rozšíř	-	zaměstnanci + HZS	PHP + voda	0	
28	5.6.2016	Vořduchy	výrobní hala	vznícení používaného materiálu	jiskry se rozšířily do VZT a oheň se rozšířila na střeše	-	zaměstnanci, HZS+SDH	PHP + voda	0	
29	30.5.2017	Praha 4, ul. Novodvorská	bytový dům	nedbalost při práci s rozbrušovacím agregátem	požár VZT	-	HZS	voda	-	
30	7.8.2017	Zlín - Malenovice, tl. J. Staší	sklad rychlého občerstvení	-	požár VZT	50 000 Kč	zaměstnanec+HZS+SDH	PHP + voda	1 os. nadýchání zplodin	
					Škoda celkem	25 134 500 Kč			Celkem zraněných : 13 Celkem usmrčených: 1	

Administrativa	Technická závada
Budovy pro bydlení a ubytování	Nedbalost
Stravování	Neuvedeno
Výrobní provozy	Usazeniny
Sportovní zařízení	Jiné

Příloha 2 – Tabulka výkonů hořáku pro matematické modely

Čas [s]	Výkon hořáku [kW]			Čas [s]	Výkon hořáku [kW]		
	MM0	MM1	MM2		MM0	MM1	MM2
0	0,00	0,00	0,000	765	26,00	26,00	11,500
5	0,50	0,50	0,600	780	26,00	26,00	11,500
10	0,55	0,55	1,000	795	25,50	25,50	11,500
15	0,60	0,60	1,010	810	25,00	25,00	11,500
20	0,65	0,65	1,020	825	25,00	25,00	11,500
25	0,75	0,75	1,025	840	25,00	25,00	11,500
30	0,90	0,90	1,050	855	25,00	25,00	11,500
35	1,00	1,00	1,063	870	25,00	25,00	11,250
40	1,25	1,25	1,075	885	25,50	25,50	11,250
45	2,00	2,00	1,088	900	25,00	25,00	11,250
50	2,50	2,50	1,100	930	-	25,00	11,250
55	2,63	2,63	1,200	960	-	25,00	11,250
60	2,75	2,75	1,300	990	-	25,00	11,250
90	3,00	3,00	1,500	1020	-	25,00	11,250
120	3,75	3,75	2,500	1050	-	25,00	11,250
150	5,25	5,25	3,250	1080	-	25,00	11,250
180	6,50	6,50	3,750	1110	-	25,00	11,250
210	8,00	8,00	4,750	1140	-	25,00	11,250
240	9,00	9,00	5,000	1170	-	25,00	11,250
270	10,00	10,00	6,000	1200	-	25,00	11,250
300	11,50	11,50	6,500	1230	-	25,00	11,250
330	14,00	14,00	7,000	1260	-	25,00	11,250
360	15,50	15,50	8,000	1290	-	25,00	11,250
390	16,50	16,50	8,500	1320	-	25,00	11,250
420	18,50	18,50	9,500	1350	-	25,00	11,250
450	19,50	19,50	10,500	1380	-	25,00	11,250
480	21,00	21,00	11,000	1410	-	25,00	11,250
510	23,00	23,00	12,000	1440	-	25,00	11,250
540	24,50	24,50	13,000	1470	-	25,00	11,250
570	25,00	25,00	13,000	1500	-	25,00	11,250
600	26,00	26,00	12,500	1530	-	25,00	11,250
615	26,00	26,00	12,500	1560	-	25,00	11,250
630	25,50	25,50	12,250	1590	-	25,00	11,250
645	25,50	25,50	12,000	1620	-	25,00	11,250
660	25,00	25,00	12,500	1650	-	25,00	11,250
675	24,50	24,50	12,500	1680	-	25,00	11,250
690	25,00	25,00	12,000	1710	-	25,00	11,250
705	25,50	25,50	12,000	1740	-	25,00	11,250
720	26,00	26,00	11,500	1770	-	25,00	11,250
735	24,50	24,50	11,500	1800	-	25,00	11,250
750	24,50	24,50	11,500				

Příloha 3 – Tabulka výkonů hořáku pro požární zkoušky

Čas [s]	Výkon [kW]	Čas [s]	Výkon [kW]	Čas [s]	Výkon [kW]
	PZ0		PZ1		PZ2, PZ3, PZ4
0	2,0	0	2,0	0	2,0
50	3,0	50	3,0	120	3,0
60	3,5	60	3,5	180	4,0
120	4,0	120	4,0	210	5,0
150	5,0	150	5,0	270	6,0
180	6,5	180	6,5	300	7,0
210	7,5	210	7,5	360	8,0
240	8,5	240	8,5	390	9,0
270	9,5	260	9,5	420	10,0
300	10,5	300	10,5	450	11,0
330	13,0	330	13,0	510	12,0
360	15,0	360	15,0	540	13,0
390	16,5	390	16,5	690	12,0
420	18,0	420	18,0	870	11,0
450	18,5	450	18,5	900	13,0
480	20,0	480	20,0	1801	0,0
510	22,0	510	22,0		
540	23,5	540	23,5		
570	25,0	570	25,0		
600	26,0	600	26,0		
615	25,5	615	25,5		
630	25,0	630	25,0		
900	25,0	900	25,0		
901	0,0	1801	0,0		

Příloha 4 – Zdrojový kód – Matematický model MM0

MATEMATICKÝ MODEL ZKUŠEBNÍ PECE - MM0

```
&HEAD CHID = 'FDS', TITLE = 'CFD simulace '/
&TIME T_END = 900.0/ ... délka simulace (sec)
&REAC ID = 'PROPANE',
FUEL = 'PROPANE'
C = 3.
H = 8.1
SOOT_YIELD = 0.01 /
***Výpočetní oblast + výpočetní síť ***
&MESH IJK = 24, 16, 20, XB = 0.0,1.2, 0.0,0.8, 0.0,1.0 / ... výpočetní oblast
*** Různé (MICS = miscellaneous) ***
&MISC SURF_DEFAULT = 'STENA', TMPA = 20.8/ ... Standartní povrch a okolní teplota
&DUMP DT_RESTART = 30.0 /
*** Stěny, strop, podlaha a překážky ***
* Strop, podlaha, stěna *
&VENT XB = 0.0,1.2, 0.0,0.8, 1.0,1.0, SURF_ID = 'PREKLAD', COLOR = 'TAN' / ... Strop
&VENT XB = 0.0,2.75, 0.0,0.8, 0.0,0.0, SURF_ID = 'PODLAHA', COLOR = 'GRAY' / ... Podlaha
* Otvory *
&VENT XB = 0.5,0.8, 0.0,0.0, 0.0,0.1, SURF_ID = 'OPEN'/ ... Otvor pro přívod vzduchu - boční 1 (300 x 100 mm)
&VENT XB = 0.5,0.8, 0.8,0.8, 0.0,0.1, SURF_ID = 'OPEN'/ ... Otvor pro přívod vzduchu - boční 2 (300 x 100 mm)
```

```
&VENT XB = 0.5,0.8, 0.0,0.0, 0.8,0.9, SURF_ID = 'OPEN'/ ... Otvor pro odvod kouře - boční 1 (300 x 100 mm)
&VENT XB = 0.5,0.8, 0.8,0.8, 0.8,0.9, SURF_ID = 'OPEN'/ ... Otvor pro odvod kouře - boční 2 (300 x 100 mm)
*** Materiály a povrchy (SURF = surface, MATL = material) ***
* Ytong - Cihla *
&SURF ID = 'STENA'
MATL_ID = 'PORFIX'
THICKNESS = 0.15 /
&MATL ID = 'PORFIX'
DENSITY = 500.
CONDUCTIVITY = 0.102
SPECIFIC_HEAT = 1.0 /
* Ytong - Překlad *
&SURF ID = 'PREKLAD'
MATL_ID = 'YTONG-P'
THICKNESS = 0.125/
&MATL ID = 'YTONG-P'
DENSITY = 1000.
CONDUCTIVITY = 0.176
SPECIFIC_HEAT = 1.05 /
*** Beton ***
&SURF ID = 'PODLAHA'
MATL_ID = 'BETON'
COLOR = 'GRAY'
THICKNESS = 0.3 /
&MATL ID = 'BETON'
DENSITY = 2400.
```

CONDUCTIVITY = 1.2

SPECIFIC_HEAT = 0.88 /

&MATL ID='OCEL', EMISSIVITY=0.8, DENSITY=7850.0, CONDUCTIVITY=50.0,
SPECIFIC_HEAT_RAMP = 'c_ramp'/

&RAMP ID = 'c_ramp', T=20.0, F=0.425/

&RAMP ID = 'c_ramp', T=600.0, F=0.760/

&RAMP ID = 'c_ramp', T=735.0, F=5.000/

&RAMP ID = 'c_ramp', T=900.0, F=0.650/

*** Hořák (OBST = obstruction) ***

&SURF ID = 'HORAK', HRRPUA = 1666.667, RAMP_Q = 'fireramp' / ... Max. výkon hořáku je 50 kW

&VENT XB = 0.45,0.75, 0.35,0.45, 0.1,0.1, SURF_ID = 'HORAK', COLOR = 'BLACK' / ... Hořící plocha
0,3 x 0,1 m

&OBST XB = 0.45,0.75, 0.35,0.45, 0.0,0.1, SURF_ID = 'INERT', COLOR = 'GRAY 27' / ... Těleso hořáku

&RAMP ID = 'fireramp', T = 0.0, F = 0.00 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 5.0, F = 0.04 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 10.0, F = 0.04 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 15.0, F = 0.04 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 20.0, F = 0.04 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 25.0, F = 0.04 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 30.0, F = 0.04 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 35.0, F = 0.04 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 40.0, F = 0.04 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 45.0, F = 0.04 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 50.0, F = 0.06 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 55.0, F = 0.06 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 60.0, F = 0.07 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 90.0, F = 0.07 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 120.0, F = 0.08 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 150.0, F = 0.10 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 180.0, F = 0.13 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 210.0, F = 0.15 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 240.0, F = 0.17 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 270.0, F = 0.19 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 300.0, F = 0.21 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 330.0, F = 0.26 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 360.0, F = 0.30 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 390.0, F = 0.33 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 420.0, F = 0.36 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 450.0, F = 0.37 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 480.0, F = 0.40 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 510.0, F = 0.44 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 540.0, F = 0.47 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 570.0, F = 0.50 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 600.0, F = 0.52 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 615.0, F = 0.51 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 630.0, F = 0.50 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 645.0, F = 0.50 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 660.0, F = 0.50 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 675.0, F = 0.50 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 690.0, F = 0.50 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 705.0, F = 0.50 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 720.0, F = 0.50 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 735.0, F = 0.50 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 750.0, F = 0.50 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 765.0, F = 0.50 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 780.0, F = 0.50 /

```

&RAMP ID = 'fireramp', T = 795.0, F = 0.50 /
&RAMP ID = 'fireramp', T = 810.0, F = 0.50 /
&RAMP ID = 'fireramp', T = 825.0, F = 0.50 /
&RAMP ID = 'fireramp', T = 840.0, F = 0.50 /
&RAMP ID = 'fireramp', T = 855.0, F = 0.50 /
&RAMP ID = 'fireramp', T = 870.0, F = 0.50 /
&RAMP ID = 'fireramp', T = 885.0, F = 0.50 /
&RAMP ID = 'fireramp', T = 900.0, F = 0.50 /
*** Výstupní hodnoty, tj. co a kde chci měřit ***
* Termočlánky - bodové měření teplot (°C) *
&DEVC XYZ = 0.3, 0.2, 0.7, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_1' / ... Teplota v prostoru
&DEVC XYZ = 0.3, 0.6, 0.7, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_2' / ... Teplota v prostoru
&DEVC XYZ = 0.9, 0.2, 0.7, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_3' / ... Teplota v prostoru
&DEVC XYZ = 0.9, 0.6, 0.7, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_4' / ... Teplota v prostoru
* Barevné iso-plochy (SLICEFile) ... teplotní a rychlostní pole *
&SLCF PBX = 0.6, QUANTITY = 'TEMPERATURE', VECTOR = .TRUE./
&SLCF PBY = 0.4, QUANTITY = 'TEMPERATURE', VECTOR = .TRUE./
&SLCF PBZ = 0.8, QUANTITY = 'TEMPERATURE', VECTOR = .TRUE./
&SLCF PBX = 0.6, QUANTITY = 'VELOCITY', VECTOR = .TRUE./
&SLCF PBY = 0.4, QUANTITY = 'VELOCITY', VECTOR = .TRUE./
&SLCF PBZ = 0.8, QUANTITY = 'VELOCITY', VECTOR = .TRUE./
* Hodnoty na hranici výpočetní oblasti *
&BNDF QUANTITY = 'GAUGE HEAT FLUX' / ... BNDF = boundary file ... dopadající tepelný tok
&BNDF QUANTITY = 'WALL TEMPERATURE' / ... teplota povrchů

```

```

&TAIL / ... konec simulace

```

Příloha 5 – Zdrojový kód – Matematický model MM1

MATEMATICKÝ MODEL POŽÁRNĚ ODOLNÉHO POTRUBÍ UVNITŘ PECE - MM1

```

&HEAD CHID = 'FDS', TITLE = 'CFD simulace' /
&TIME T_END = 1800.0/ ... délka simulace (sec)
&REAC ID = 'PROPANE',
FUEL = 'PROPANE'
C = 3.
H = 8.1
SOOT_YIELD = 0.01 /
*** Výpočetní oblast + výpočetní síť ***
&MESH IJK = 55, 16, 20, XB = 0.0,2.75, 0.0,0.8, 0.0,1.0 / ... výpočetní oblast
*** Různé (MICS = miscellaneous) ***
&MISC SURF_DEFAULT = 'STENA', TMPA = 11.3/ ... Standartní povrch a okolní teplota
&DUMP DT_RESTART = 30.0 /
*** Stěny, strop, podlaha a překážky ***
* Strop, podlaha, stěna *
&VENT XB = 0.0,1.2, 0.0,0.8, 1.0,1.0, SURF_ID = 'PREKLAD', COLOR = 'TAN' / ... Strop
&VENT XB = 0.0,2.75, 0.0,0.8, 0.0,0.0, SURF_ID = 'PODLAHA', COLOR = 'GRAY' / ... Podlaha
&OBST XB = 1.2,1.35, 0.0,0.8, 0.0,1.0, COLOR = 'GRAY', SURF_ID = 'STENA' / ... Stěna
* Otvory *
&VENT XB = 0.5,0.8, 0.0,0.0, 0.0,0.1, SURF_ID = 'OPEN' / ... Otvor pro přívod vzduchu - boční 1 (300 x 100 mm)
&VENT XB = 0.5,0.8, 0.8,0.8, 0.0,0.1, SURF_ID = 'OPEN' / ... Otvor pro přívod vzduchu - boční 2 (300 x 100 mm)

```

&VENT XB = 0.5,0.8, 0.0,0.0, 0.8,0.9, SURF_ID = 'OPEN'/ ... Otvor pro odvod kouře - boční 1 (300 x 100 mm)

&VENT XB = 0.5,0.8, 0.8,0.8, 0.8,0.9, SURF_ID = 'OPEN'/ ... Otvor pro odvod kouře - boční 2 (300 x 100 mm)

&HOLE XB = 1.2,1.35, 0.3,0.5, 0.7,0.9 / ... Otvor pro VZT potrubí (200 x 200 mm)

Venkovní prostředí

&VENT XB = 1.35,2.75, 0.0,0.0, 0.0,1.0, SURF_ID = 'OPEN'/ ... přední stěna

&VENT XB = 1.35,2.75, 0.8,0.8, 0.0,1.0, SURF_ID = 'OPEN'/ ... zadní stěna

&VENT XB = 2.75,2.75, 0.0,0.8, 0.0,1.0, SURF_ID = 'OPEN'/ ... boční stěna

&VENT XB = 1.35,2.75, 0.0,0.8, 1.0,1.0, SURF_ID = 'OPEN'/ ... strop

VZT potrubí

&OBST XB=0.05,2.55, 0.3,0.5, 0.7,0.7, COLOR='BLUE', SURF_ID='PLECH', TRANSPARENCY = 0.3/
spodní vodorovná strana potrubí

&OBST XB=0.05,2.55, 0.3,0.5, 0.9,0.9, COLOR='BLUE', SURF_ID='PLECH', TRANSPARENCY = 0.3/
horní vodorovná strana potrubí

&OBST XB=0.05,2.55, 0.3,0.3, 0.7,0.9, COLOR='BLUE', SURF_ID='PLECH', TRANSPARENCY = 0.3/
přední svislá strana potrubí

&OBST XB=0.05,2.55, 0.5,0.5, 0.7,0.9, COLOR='BLUE', SURF_ID='PLECH', TRANSPARENCY = 0.3/
zadní svislá strana potrubí

&OBST XB=0.05,0.05, 0.3,0.5, 0.7,0.9, COLOR='BLUE', SURF_ID='PLECH', TRANSPARENCY = 0.3/
levá svislá strana potrubí

Izolace potrubí

&OBST XB=0.05,1.2, 0.25,0.55, 0.65,0.7, COLOR='GREEN', SURF_ID='IZOLACE',
TRANSPARENCY = 0.3/ ...izolace spodní strana

&OBST XB=0.05,1.2, 0.25,0.55, 0.9,0.95, COLOR='GREEN', SURF_ID='IZOLACE',
TRANSPARENCY = 0.3/ ...izolace horní strana

&OBST XB=0.05,1.2, 0.25,0.3, 0.7,0.9, COLOR='GREEN', SURF_ID='IZOLACE', TRANSPARENCY
= 0.3/ ...izolace přední strana

&OBST XB=0.05,1.2, 0.5,0.55, 0.7,0.9, COLOR='GREEN', SURF_ID='IZOLACE', TRANSPARENCY
= 0.3/ ...izolace zadní strana

&OBST XB=0.0,0.05, 0.25,0.55, 0.65,0.95, COLOR='GREEN', SURF_ID='IZOLACE',
TRANSPARENCY = 0.3/ ...izolace levá boční strana

*** Materiály a povrchy (SURF = surface, MATL = material) ***

* Ytong - Cihla *

&SURF ID = 'STENA'

MATL_ID = 'PORFIX'

THICKNESS = 0.15 /

&MATL ID = 'PORFIX'

DENSITY = 500.

CONDUCTIVITY = 0.102

SPECIFIC_HEAT = 1.0 /

* Ytong - Překlad *

&SURF ID = 'PREKLAD'

MATL_ID = 'YTONG-P'

THICKNESS = 0.125/

&MATL ID = 'YTONG-P'

DENSITY = 1000.

CONDUCTIVITY = 0.176

SPECIFIC_HEAT = 1.05 /

* Beton *

&SURF ID = 'PODLAHA'

MATL_ID = 'BETON'

COLOR = 'GRAY'

THICKNESS = 0.3 /

&MATL ID = 'BETON'

DENSITY = 2400.

CONDUCTIVITY = 1.2

SPECIFIC_HEAT = 0.88 /

* Ocel - VZT potrubí *

&SURF ID = 'PLECH',

COLOR='BLUE',
 MATL_ID='OCEL',
 THICKNESS=0.001 /
 &MATL ID='OCEL', EMISSIVITY=0.8, DENSITY=7850.0, CONDUCTIVITY=50.0,
 SPECIFIC_HEAT_RAMP = 'c_ramp'/
 &RAMP ID = 'c_ramp', T=20.0, F=0.425/
 &RAMP ID = 'c_ramp', T=600.0, F=0.760/
 &RAMP ID = 'c_ramp', T=735.0, F=5.000/
 &RAMP ID = 'c_ramp', T=900.0, F=0.650/
 Izolace - minerální vata
 &SURF ID='IZOLACE',
 COLOR='GREEN',
 MATL_ID='MINERALNI VATA',
 THICKNESS=0.03 /
 &MATL ID='MINERALNI VATA', SPECIFIC_HEAT=0.8, DENSITY=100.0,
 CONDUCTIVITY_RAMP='lambda_ramp'/
 &RAMP ID = 'lambda_ramp', T=50.0, F=0.041/
 &RAMP ID = 'lambda_ramp', T=100.0, F=0.047/
 &RAMP ID = 'lambda_ramp', T=150.0, F=0.054/
 &RAMP ID = 'lambda_ramp', T=200.0, F=0.063/
 &RAMP ID = 'lambda_ramp', T=250.0, F=0.073/
 &RAMP ID = 'lambda_ramp', T=300.0, F=0.084/
 &RAMP ID = 'lambda_ramp', T=400.0, F=0.110/
 &RAMP ID = 'lambda_ramp', T=500.0, F=0.143/
 &RAMP ID = 'lambda_ramp', T=600.0, F=0.182/
 &RAMP ID = 'lambda_ramp', T=680.0, F=0.219/
 *** Hořák (OBST = obstruction) ***
 &SURF ID = 'HORAK', HRRPUA = 1666.667, RAMP_Q = 'fireramp' / ... Max. výkon hořáku je 50 kW

&VENT XB = 0.45,0.75, 0.35,0.45, 0.1,0.1, SURF_ID = 'HORAK', COLOR = 'BLACK' / ... Hořící plocha
 &OBST XB = 0.45,0.75, 0.35,0.45, 0.0,0.1, SURF_ID = 'INERT', COLOR = 'GRAY 27' / ... Těleso hořáku
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 0.0, F = 0.00 /
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 5.0, F = 0.04 /
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 50.0, F = 0.06 /
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 60.0, F = 0.07 /
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 120.0, F = 0.08 /
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 150.0, F = 0.10 /
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 180.0, F = 0.13 /
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 210.0, F = 0.15 /
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 240.0, F = 0.17 /
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 270.0, F = 0.19 /
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 300.0, F = 0.21 /
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 330.0, F = 0.26 /
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 360.0, F = 0.30 /
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 390.0, F = 0.33 /
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 420.0, F = 0.36 /
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 450.0, F = 0.37 /
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 480.0, F = 0.40 /
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 510.0, F = 0.44 /
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 540.0, F = 0.47 /
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 570.0, F = 0.50 /
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 600.0, F = 0.52 /
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 615.0, F = 0.51 /
 &RAMP ID = 'fireramp', T = 630.0, F = 0.50 /
 *** Výstupní hodnoty, tj. co a kde chci měřit ***
 * Termočlánky - bodové měření teplot (°C) *
 &DEVX XYZ = 0.3, 0.2, 0.7, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_1' / ... Teplota v prostoru

&DEVC XYZ = 0.3, 0.6, 0.7, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_2' / ... Teplota v prostoru
 &DEVC XYZ = 0.9, 0.2, 0.7, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_3' / ... Teplota v prostoru
 &DEVC XYZ = 0.9, 0.6, 0.7, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_4' / ... Teplota v prostoru
 &DEVC XYZ = 0.65, 0.4, 0.8, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_5' / ... V potrubí nad hořákem
 &DEVC XYZ = 1.275, 0.4, 0.8, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_6' / ... V potrubí ve zdi
 &DEVC XYZ = 1.95, 0.4, 0.8, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_7' / ... V potrubí vně pece
 &DEVC XYZ = 0.6, 0.4, 0.7, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_8' / ... Mezi potrubím a izolací nad hořákem
 &DEVC XYZ = 1.15, 0.4, 0.7, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_9' / ... Spodní strana izolace u stěny v peci
 &DEVC XYZ = 1.4, 0.4, 0.7, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_10' / ... Spodní strana potrubí u stěny vně pece

* Barevné iso-plochy (SLICEFile) ... teplotní a rychlostní pole *

&SLCF PBX = 0.6, QUANTITY = 'TEMPERATURE', VECTOR = .TRUE./

&SLCF PBY = 0.4, QUANTITY = 'TEMPERATURE', VECTOR = .TRUE./

&SLCF PBZ = 0.8, QUANTITY = 'TEMPERATURE', VECTOR = .TRUE./

&SLCF PBX = 0.6, QUANTITY = 'VELOCITY', VECTOR = .TRUE./

&SLCF PBY = 0.4, QUANTITY = 'VELOCITY', VECTOR = .TRUE./

&SLCF PBZ = 0.8, QUANTITY = 'VELOCITY', VECTOR = .TRUE./

* Hodnoty na hranici výpočetní oblasti *

&BNDF QUANTITY = 'GAUGE HEAT FLUX' / ... BNDF = boundary file ... dopadající tepelný tok

&BNDF QUANTITY = 'WALL TEMPERATURE' / ... teplota povrchů

&TAIL / ... konec simulace

Příloha 6 – Zdrojový kód – Matematický model MM2

MATEMATICKÝ MODEL POTRUBÍ S VYÚSTKAMI - MM2

&HEAD CHID = 'FDS', TITLE = 'CFD simulace' /

&TIME T_END = 1800.0 / ... délka simulace (sec)

&REAC ID = 'PROPANE',

FUEL = 'PROPANE'

C = 3.

H = 8.1

SOOT_YIELD = 0.01 /

*** Výpočetní oblast + výpočetní síť ***

&MESH IJK = 55, 16, 20, XB = 0.0,2.75, 0.0,0.8, 0.0,1.0 / ... výpočetní oblast

*** Různé (MICS = miscellaneous) ***

&MISC SURF_DEFAULT = 'STENA', TMPA = 9.6 / ... Standartní povrch a okolní teplota

&DUMP DT_RESTART = 30.0 /

*** Stěny, strop, podlaha a překážky ***

* Strop, podlaha, stěna *

&VENT XB = 0.0,1.2, 0.0,0.8, 1.0,1.0, SURF_ID = 'PREKLAD', COLOR = 'TAN' / ... Strop

&VENT XB = 0.0,2.75, 0.0,0.8, 0.0,0.0, SURF_ID = 'PODLAHA', COLOR = 'GRAY' / ... Podlaha

&OBST XB = 1.2,1.35, 0.0,0.8, 0.0,1.0, COLOR = 'GRAY', SURF_ID = 'STENA' / ... Stěna

* Otvory *

&VENT XB = 0.5,0.8, 0.0,0.0, 0.0,0.1, SURF_ID = 'OPEN' / ... Otvor pro přívod vzduchu - boční 1 (300 x 100 mm)

&VENT XB = 0.5,0.8, 0.8,0.8, 0.0,0.1, SURF_ID = 'OPEN' / ... Otvor pro přívod vzduchu - boční 2 (300 x 100 mm)

&HOLE XB = 1.2,1.35, 0.3,0.5, 0.7,0.9 / ... Otvor pro VZT potrubí (200 x 200 mm)

Venkovní prostředí

&VENT XB = 1.35,2.75, 0.0,0.0, 0.0,1.0, SURF_ID = 'OPEN'/ ... přední stěna

&VENT XB = 1.35,2.75, 0.8,0.8, 0.0,1.0, SURF_ID = 'OPEN'/ ... zadní stěna

&VENT XB = 2.75,2.75, 0.0,0.8, 0.0,1.0, SURF_ID = 'OPEN'/ ... boční stěna

&VENT XB = 1.35,2.75, 0.0,0.8, 1.0,1.0, SURF_ID = 'OPEN'/ ... strop

VZT potrubí

&OBST XB=0.05,2.55, 0.3,0.5, 0.7,0.7, COLOR='BLUE', SURF_ID='PLECH', TRANSPARENCY = 0.3/
spodní vodorovná strana potrubí

&OBST XB=0.05,2.55, 0.3,0.5, 0.9,0.9, COLOR='BLUE', SURF_ID='PLECH', TRANSPARENCY = 0.3/
horní vodorovná strana potrubí

&OBST XB=0.05,0.55, 0.3,0.3, 0.7,0.9, COLOR='BLUE', SURF_ID='PLECH', TRANSPARENCY = 0.3/
přední svislá strana potrubí 1.díl

&OBST XB=0.65,2.55, 0.3,0.3, 0.7,0.9, COLOR='BLUE', SURF_ID='PLECH', TRANSPARENCY = 0.3/
přední svislá strana potrubí 2.díl

&OBST XB=0.55,0.65, 0.3,0.3, 0.7,0.75, COLOR='BLUE', SURF_ID='PLECH', TRANSPARENCY =
0.3/ přední svislá strana potrubí 3.díl pod otvorem

&OBST XB=0.55,0.65, 0.3,0.3, 0.85,0.9, COLOR='BLUE', SURF_ID='PLECH', TRANSPARENCY =
0.3/ přední svislá strana potrubí 3.díl nad otvorem

&OBST XB=0.05,0.55, 0.5,0.5, 0.7,0.9, COLOR='BLUE', SURF_ID='PLECH', TRANSPARENCY = 0.3/
zadní svislá strana potrubí 1.díl

&OBST XB=0.65,2.55, 0.5,0.5, 0.7,0.9, COLOR='BLUE', SURF_ID='PLECH', TRANSPARENCY = 0.3/
zadní svislá strana potrubí 2.díl

&OBST XB=0.55,0.65, 0.5,0.5, 0.7,0.75, COLOR='BLUE', SURF_ID='PLECH', TRANSPARENCY =
0.3/ zadní svislá strana potrubí 3.díl pod otvorem

&OBST XB=0.55,0.65, 0.5,0.5, 0.85,0.9, COLOR='BLUE', SURF_ID='PLECH', TRANSPARENCY =
0.3/ zadní svislá strana potrubí 3.díl nad otvorem

&OBST XB=0.05,0.05, 0.3,0.5, 0.7,0.9, COLOR='BLUE', SURF_ID='PLECH', TRANSPARENCY = 0.3/
levá svislá strana potrubí

*** Materiály a povrchy (SURF = surface, MATL = material) *****

* Ytong - Cihla *

&SURF ID = 'STENA'

MATL_ID = 'PORFIX'

THICKNESS = 0.15 /

&MATL ID = 'PORFIX'

DENSITY = 500.

CONDUCTIVITY = 0.102

SPECIFIC_HEAT = 1.0 /

* Ytong - Překlad *

&SURF ID = 'PREKLAD'

MATL_ID = 'YTONG-P'

THICKNESS = 0.125/

&MATL ID = 'YTONG-P'

DENSITY = 1000.

CONDUCTIVITY = 0.176

SPECIFIC_HEAT = 1.05 /

* Beton *

&SURF ID = 'PODLAHA'

MATL_ID = 'BETON'

COLOR = 'GRAY'

THICKNESS = 0.3 /

&MATL ID = 'BETON'

DENSITY = 2400.

CONDUCTIVITY = 1.2

SPECIFIC_HEAT = 0.88 /

* Ocel - VZT potrubí *

&SURF ID = 'PLECH',

COLOR = 'BLUE',

MATL_ID = 'OCEL',

THICKNESS = 0.001 /

&MATL ID='OCEL', EMISSIVITY=0.8, DENSITY=7850.0, CONDUCTIVITY=50.0,
SPECIFIC_HEAT_RAMP = 'c_ramp/'

&RAMP ID = 'c_ramp', T=20.0, F=0.425/

&RAMP ID = 'c_ramp', T=600.0, F=0.760/

&RAMP ID = 'c_ramp', T=735.0, F=5.000/

&RAMP ID = 'c_ramp', T=900.0, F=0.650/

*** Hořák (OBST = obstruction) ***

&SURF ID = 'HORAK', HRRPUA = 1666.667, RAMP_Q = 'fireramp' / ... Max. výkon hořáku je 50 kW

&VENT XB = 0.45,0.75, 0.35,0.45, 0.1,0.1, SURF_ID = 'HORAK', COLOR = 'BLACK' / ... Hořící plocha
0,3x0,1 m

&OBST XB = 0.45,0.75, 0.35,0.45, 0.0,0.1, SURF_ID = 'INERT', COLOR = 'GRAY 27' / ... Těleso hořáku

&RAMP ID = 'fireramp', T = 0.0, F = 0.04 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 120.0, F = 0.06 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 180.0, F = 0.08 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 210.0, F = 0.10 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 270.0, F = 0.12 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 300.0, F = 0.14 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 360.0, F = 0.16 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 390.0, F = 0.18 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 420.0, F = 0.20 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 450.0, F = 0.22 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 510.0, F = 0.24 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 540.0, F = 0.26 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 690.0, F = 0.24 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 870.0, F = 0.22 /

&RAMP ID = 'fireramp', T = 900.0, F = 0.26 /

*** Výstupní hodnoty, tj. co a kde chci měřit ***

* Termočlánky - bodové měření teplot (°C) *

&DEVC XYZ = 0.3, 0.2, 0.7, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_1' / ... Teplota v prostoru

&DEVC XYZ = 0.3, 0.6, 0.7, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_2' / ... Teplota v prostoru

&DEVC XYZ = 0.9, 0.2, 0.7, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_3' / ... Teplota v prostoru

&DEVC XYZ = 0.9, 0.6, 0.7, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_4' / ... Teplota v prostoru

&DEVC XYZ = 0.65, 0.4, 0.8, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_5' / ... V potrubí nad hořákem

&DEVC XYZ = 1.275, 0.4, 0.8, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_6' / ... V potrubí ve zdi

&DEVC XYZ = 1.95, 0.4, 0.8, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_7' / ... V potrubí vně pece

&DEVC XYZ = 0.6, 0.4, 0.7, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_8' / ... Spodní strana potrubí
nad hořákem

&DEVC XYZ = 1.15, 0.4, 0.7, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_9' / ... Spodní strana potrubí
u stěny v peci

&DEVC XYZ = 1.4, 0.4, 0.7, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC_10' / ... Spodní strana potrubí
u stěny vně pece

* Barevné iso-plochy (SLICEFile) ... teplotní a rychlostní pole *

&SLCF PBX = 0.6, QUANTITY = 'TEMPERATURE', VECTOR = .TRUE./

&SLCF PBZ = 0.4, QUANTITY = 'TEMPERATURE', VECTOR = .TRUE./

&SLCF PBZ = 0.8, QUANTITY = 'TEMPERATURE', VECTOR = .TRUE./

&SLCF PBX = 0.6, QUANTITY = 'VELOCITY', VECTOR = .TRUE. /

&SLCF PBZ = 0.4, QUANTITY = 'VELOCITY', VECTOR = .TRUE. /

&SLCF PBZ = 0.8, QUANTITY = 'VELOCITY', VECTOR = .TRUE. /

* Hodnoty na hranici výpočetní oblasti *

&BNDF QUANTITY = 'GAUGE HEAT FLUX' / ... BNDF = boundary file ... dopadající tepelný tok

&BNDF QUANTITY = 'WALL TEMPERATURE' / ... teplota povrchů

&TAIL / ... konec simulace

Seznam obrázků

Obr. 1	Šachtové větrání: A) pouze odvod vzduchu šachtami; B) přívod i odvod vzduchu šachtami	3
Obr. 2	Nucené podtlakové větrání: a) centrální; b) lokální [3].....	5
Obr. 3	Nucené rovnotlaké větrání: a) centrální; b) lokální [3].....	6
Obr. 4	Teplovzdušné vytápění [3].....	7
Obr. 5	Půdorys CHÚC typu C s přetlakovým větráním	8
Obr. 6	Hybridní větrání: a) samoodtahová hlavice; b) solární komín [3].....	9
Obr. 7	Půdorys systému MORE-CONNECT s vyznačením vedení VZT potrubí [6].....	10
Obr. 8	Deskový rekuperační výměník [7].....	10
Obr. 9	Ocelové pozinkované potrubí: a) čtyřhranné ; b) kruhové spiro-potrubí	11
Obr. 10	Plastové potrubí: a) čtyřhranné; b) kruhové	12
Obr. 11	Příklady textilních vyústek: A – prodyšná tkanina, B – mikroperforace, C – perforace, D – malá tryska, E – velká tryska, F – výstup vzduchu nástavcem, G – výstup vzduchu druhým koncem, V – přívod vzduchu	13
Obr. 12	Textilní vyústka v učebně fakulty stavební ČVUT v Praze.....	14
Obr. 13	Příklad požárně odolného potrubí (Knauf Insulation – Firestop)	15
Obr. 14	Schéma rozvoje požáru [12]	16
Obr. 15	Nominální teplotní křivky.....	18
Obr. 16	Případ kombinace požární klapky a požární izolace [18].....	21
Obr. 17	Příklady požárních klapek (Mandík, a.s.) : a) požární klapka ve čtyřhranném potrubí s tavnou pojistkou; b) požární klapka v kruhovém potrubí s elektromotorem.....	22
Obr. 18	a) Požární stěnový uzávěr (Mandík ,a.s.), b) Požární ventil (Mandík, a.s.)	23
Obr. 19	Prostup potrubí požárně dělící stěnou	24
Obr. 20	Schéma provedení kontaktního zateplovacího systému okolo technologických zařízení	25
Obr. 21	Výsečový graf četnosti požárů: a) podle charakteru provozu; b) podle příčiny požáru	26
Obr. 22	Sloupcový graf četnosti příčin požárů podle charakteru provozu objektů	27
Obr. 23	Požár panelového domu: a) zanesení bytu odpadky; b) hašení požáru z plošiny; c) byt po požáru [22]	27
Obr. 24	Zanesení VZT nečistotami: a) ventilátor; b) potrubí	28
Obr. 25	Chyby aplikací ve stavbách: a) chybné zatěsnění prostupu s použitím polystyrenu; b) mechanické poškození požární izolace VZT potrubí [19].....	29

Obr. 26	Schéma zkušební pece: a) půdorys; b) řez.....	34
Obr. 27	Schéma umístění plynového hořáku v peci: a) půdorys; b) řez.....	35
Obr. 28	Schéma umístění termočlánků v peci: a) půdorys; b) řez.....	36
Obr. 29	Průběh teplot kouřové vrstvy a teplot ve zkušební peci v závislosti na výkonu hořáku	37
Obr. 30	Model MM0 – rozdělení prostoru zkušební pece do výpočetních sítí; a) půdorys, b) řez	39
Obr. 31	Model MM1 a MM2 – rozdělení prostoru zkušební pece a vnějšího prostoru do výpočetních sítí: a) půdorys; b) řez.....	39
Obr. 32	Model MM0 – schéma zkušební pece v programu Smokeview	40
Obr. 33	Model MM0 – průběh teploty v prostoru pece	40
Obr. 34	Model MM1 – podélný řez pecí s rozmístěním termočlánků.....	41
Obr. 35	Model MM1 – schéma umístění potrubí ve zkušební peci ve Smokeview	41
Obr. 36	Model MM1 – graf průběhu teplot: a) uvnitř potrubí; b) na povrchu potrubí.....	42
Obr. 37	Model MM2 – podélný řez pecí s rozmístěním termočlánků.....	43
Obr. 38	Model MM2 – schéma umístění potrubí ve zkušební peci v programu Smokeview	43
Obr. 39	Model MM2 – graf průběhu teplot: a) uvnitř potrubí; b) na povrchu potrubí.....	44
Obr. 40	Pohled do zkušební pece na hořák při sledování výšky plamene: a) při výkonu hořáku 2 kW; b) při výkonu hořáku 50 kW	46
Obr. 41	Pískový propanový hořák	46
Obr. 42	Zapálení hořáku pomocí pochodně.....	46
Obr. 43	Potrubí: a) pozinkované potrubí; b) textilní vyústka (nahore) a potrubí (dole).....	47
Obr. 44	Zkouška PZ0 – foto zkušební pece: a) vnější pohled; b) vnitřní pohled	48
Obr. 45	Požární zkouška PZ0 – graf průběhu teploty prostoru zkušební pece.....	49
Obr. 46	Model PZ1 – podélný řez pecí s rozmístěním termočlánků	50
Obr. 47	Zkouška PZ1 – příprava potrubí: a) montáž potrubí; b) zaizolování potrubí	50
Obr. 48	Zkouška PZ1 – umístění potrubí: a) potrubí prostupující stěnou; b) utěsnění prostup.....	50
Obr. 49	Zkouška PZ1 – finální podoba zkoušky: a) potrubí prostupující vně pece; b) snímání potrubí termokamerou	51
Obr. 50	Zkouška PZ1 – graf průběhu teplot: a) uvnitř potrubí; b) na povrchu potrubí	52
Obr. 51	Zkouška PZ1 – snímek termokamery před koncem zkoušky	52
Obr. 52	Zkouška PZ2 – potrubí uvnitř pece: a) větrací vyústka; b) upevnění termočlánků..	53
Obr. 53	Zkouška PZ2 – potrubí vně pece: a) utěsnění prostupu a přelepení přírub; b) finální podoba zkoušky.....	53

Obr. 54	Zkouška PZ2 – graf průběhu teplot: a) uvnitř potrubí; b) na povrchu.....	54
Obr. 55	Zkouška PZ 2 – snímek termokamery před koncem zkoušky	54
Obr. 56	Zkouška PZ3 – schéma rozmístění termočlánků v potrubí: a) podélný řez; b) půdorys	55
Obr. 57	Zkouška PZ3 – přechodový kus: a) průhled do potrubí uvnitř pece; b) upevnění textilu	56
Obr. 58	Zkouška PZ3: a) zkušební sestava; b) připevnění termočlánku TC_8 na povrch textilu	56
Obr. 59	Zkouška PZ3 – graf průběhu teplot: a) uvnitř potrubí; b) na povrchu.....	57
Obr. 60	Zkouška PZ3 – snímek termokamery před koncem zkoušky	57
Obr. 61	Zkouška PZ3 – poškození textilního potrubí: a) trhlina u švu; b) zašpinění potrubí a deformace cedulky	58
Obr. 62	Zkouška PZ4: a) upevnění vyústky; b) zkušební sestava	58
Obr. 63	Zkouška PZ4 – grafy průběhu teplot: a) uvnitř potrubí a vyústky; b) na povrchu potrubí a vyústky.....	59
Obr. 64	Zkouška PZ4 – snímek termokamery před koncem zkoušky	60
Obr. 65	Zkouška PZ4 – prodění vzduchu vyústkou: a) potrubí před počátkem zkoušky je splasklé; b) potrubí během zkoušky je napnuté	60
Obr. 66	Graf průběhu průměrných teplot v peci PZ0 a MM0	61
Obr. 67	Graf průběhu teplot PZ1 a MM1: a) v peci; b) v chráněném potrubí v místě nad hořákem; c) povrch požárně chráněného potrubí; d) povrch potrubí vně pece u prostupu.....	62
Obr. 68	Snímky povrchových teplot potrubí: a) snímek termokamery zkoušky PZ1 (stupnice nahoře); b) vizualizace modelu MM1 (stupnice dole)	63
Obr. 69	Graf průběhu teplot PZ2 a MM2: a) v peci; b) v potrubí v místě nad hořákem; c) v potrubí v místě prostupu; d) povrch potrubí vně pece u prostupu	64
Obr. 70	Snímky povrchových teplot potrubí: a) snímek termokamery zkoušky PZ2 (stupnice nahoře); b) vizualizace modelu MM2 (stupnice dole)	65

Seznam tabulek

Tab. 1	Požární odolnost chráněného vzduchotechnického potrubí a požárních klapek [15]	20
Tab. 2	Převod stupňů hořlavosti na třídy reakce na oheň [14]	20
Tab. 3	Souhrn použitých prvků a materiálů	37
Tab. 4	Hodnoty měrné tepelné kapacity pro ocel	38
Tab. 5	Hodnoty součinitele tepelné vodivosti pro minerální izolaci Orstech 100	38
Tab. 6	Výpočetní síť modelu	38

Literatura

- [1] PAPEŽ, K. *Energetické a ekologické systémy budov 2: vzduchotechnika, chlazení, elektroinstalace a osvětlení*. Praha: ČVUT, 2007.
- [2] ZMRHAL, V. *Větrání rodinných a bytových domů*. Praha: Grada, 2014.
- [3] ZMRHAL, V. a PETLACH, J. „Systémy větrání obytných budov“, *TZB-info*, 2011. [Online]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-rodinnych-domu/7937-systemy-vetrani-obytnych-budov>.
- [4] RUBINOVÁ, O. a ŠIKULA O. „Bytové větrání trochu jinak“, *TZB-info*. [Online]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2743-bytove-vetrani-trochu-jinak>.
- [5] ČSN 73 0802, *Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty*. Praha: ÚNMZ, 2009.
- [6] ZÁKORA, T. *Analýza požárních rizik dřevostavebního panelu pro dodatečné zateplování staveb*, Diplomová práce. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, 2017.
- [7] GEBAUER, G., RUBINOVÁ, O. a HORKÁ, H. *Vzduchotechnika*. Brno: ERA group spol. s r. o., 2005.
- [8] „Vzduchotechnika, protipožární technika - Mandik“. [Online]. Dostupné z: <http://www.mandik.cz/>.
- [9] KOVERDYNSKÝ, V. „Protipožární izolace vzduchovodů - část 1“, *TZB-info*, 2010. [Online]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/7025-protipozarni-izolace-vzduchovodu-cast-1>.
- [10] KOVERDYNSKÝ, V. „Protipožární izolace vzduchovodů - Část 2“, *TZB-info*, 2011. [Online]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/7094-protipozarni-izolace-vzduchovodu-cast-2>.
- [11] ČSN EN 13501-1+A1, *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb - Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň*. Praha: ÚNMZ, 2010.
- [12] ČSN EN 13501-3+A1, *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb - Část 3: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti výrobků a prvků běžných provozních instalací: požárně odolná potrubí a požární klapky*. Praha: ÚNMZ, 2010.
- [13] TOMAN, S. „Požární minimum pro vzduchotechniku (I)“, *TZB-info*, 2005. [Online]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2725-pozarni-minimum-pro-vzduchotechniku-i>.
- [14] ČSN EN 1363-2, *Zkoušení požární odolnosti - Část 2: Alternativní a doplňkové postupy*. Praha: ČSNI, 2000.
- [15] ČSN 73 0810, *Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení*. Praha: ÚNMZ, 2016.
- [16] ČSN 73 0872, *Požární bezpečnost staveb. Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením*. Praha: ČSNI, 1996.
- [17] TOMAN, S. „Požární ochrana větracích systémů obytných budov“, *TZB-info*, 2012. [Online]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/8440-pozarni-ochrana-vetracich-systemu-obytnych-budov>.
- [18] Vyhláška č. 246/2001 Sb., *O stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru*.

-
- [19] „Požární ochrana ve vzduchotechnice“, TZB-info, 2006. [Online]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/3335-pozarni-ochrana-ve-vzduchotechnice>.
- [20] KRATOCHVÍL, V., NAVAROVÁ, Š. a KRATOCHVÍL, M. *Požárně bezpečnostní zařízení ve stavbách*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2011.
- [21] „POŽÁRY.cz“. [Online]. Dostupné z: <https://www.pozary.cz>.
- [22] „Drama na Silvestra | POŽÁRY.cz“. [Online]. Dostupné z: <https://www.pozary.cz/clanek/616-drama-na-silvestra/>.
- [23] ČSN EN 1366-1, *Zkoušení požární odolnosti provozních instalací - Část 1: Vzduchotechnická potrubí*. Praha: ÚNMZ, 2017.
- [24] TOMAN, S. *Osobní konzultace*, ÚT+VZT. 2017.
- [25] WALD, F. et al., *Modelování dynamiky požáru v budovách*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2017.
- [26] MC GRATTAN, K. a MC DERMOTT, R., *Fire Dynamics Simulator, User's Guide, NIST Special Publication 1019, Sixth Edition*. Gaithersburg, Maryland, USA: National Institute of Standards and Director.
- [27] FLÍDR, V. *Alternativní zjišťování požární odolnosti stěnových prvků*, Diplomová práce. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, 2017.