## SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE Stavebná fakulta

Ing. Zuzana Lacová

Autoreferát dizertačnej práce

## Protipožiarna bezpečnosť viacvrstvových kovových komínov zabudovaných v izolovanej drevenej strešnej konštrukcii

na získanie akademického titulu "philosophiae doctor", v skratke "PhD."

v doktorandskom študijnom programe: 3659 Teória a konštrukcie pozemných stavieb
v študijnom odbore: 59. Stavebníctvo
Forma štúdia: denná

Miesto a dátum: Bratislava 2022

**Dizertačná práca bola vypracovaná na** na Stavebnej fakulte Slovenskej technickej univerzity v Bratislave na katedre konštrukcií pozemných stavieb.

Predkladateľ	Ing. Zuzana Lacová
	Stavebná fakulta STU
	Katedra konštrukcií pozemných stavieb
	Radlinského 11, 810 05 Bratislava
Školiteľ <sup>,</sup>	doc. Ing. Juraj Olbřímek, PhD.
	Autorizovaný stavebný inžinier, špecialista požiarnej ochrany
	Krásnohorská 15, 851 07 Bratislava
Oponenti	prof. Ing. Karol Balog, PhD.
	Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave, STU
	Ústav integrovanej bezpečnosti
	Jána Bottu 2781/25, 917 24 Trnava
	doc. Ing. Imrich Mikolai, PhD.
	Stavebná fakulta STU
	Katedra konštrukcií pozemných stavieb
	Radlinského 11, 810 05 Bratislava
	prof. Ing. Anton Osvald, PhD.
	Zvolen

Autoreferát bol rozoslaný dňa: .....

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa: .....

o.....h na Katedre konštrukcií pozemných stavieb Stavebnej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Radlinského 11, v miestnosti č. ....

.....

prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD. dekan fakuty

## Obsah

Ú	vod	•••••		6
1	Sú	časn	ý stav riešenej problematiky	7
	1.1	Sta	v požiarovosti na Slovensku v nadväznosti na zmeny v právnych	
	predp	oisoc	h týkajúcich sa komínov a dymovodov	7
	1.2	Ko	nštrukcie a materiály	7
	1.3	Spa	alinová cesta	8
2	Pro	edm	et a ciele dizertačnej práce	9
3	Me	etodi	ika dizertačnej práce	9
4	Vla	astna	á práca	10
	4.1	Me	ranie povrchovej teploty jednovrstvového dymovodu za prevádzkový	ých
	podm	nieno	k	10
	4.1	.1	Výsledky a diskusia	10
	4.2	Nu	merický model pre stanovenie teplotného poľa v konštrukcii v závislo	osti od
	hrúbk	cy, sί	áčiniteľa tepelnej vodivosti tepelnej izolácie a teploty spalín	11
	4.2	2.1	Výsledky a diskusia	12
	4.3	Exp	perimentálne meranie teplôt v mieste priechodu komína strešnou	
	konšt	rukc	iou	14
	4.4	Prv	ré meranie – sledovanie rozdielu medzi difúzne otvorenou a uzavretov	u
	konšt	rukc	iou v skladbe s minerálnou vlnou	14
	4.4	.1	Skladba skúšobnej konštrukcie	14
	4.4	.2	Umiestnenie termočlánkov	17
	4.4	1.3	Priebeh merania	17
	4.5	Drı	uhé meranie – sledovanie teplotného poľa v skladbe strešnej konštruk	cie s
	tepelı	nou i	zoláciou z drevovlákna a PIR panelov	18
	4.5	5.1	Skladba skúšobnej konštrukcie	18
	4.6	Vý	sledky a diskusia	18
	4.6	5.1	Teplota spalín	18
	4.6	5.2	Povrchová teplota komína	18

5	Zá	very	. 19
	5.1	Čiastkové závery	. 19
	5.1	.1 Meranie povrchovej teploty jednovrstvového dymovodu za	
	pre	vádzkových podmienok	. 19
	5.2	Závery pre ďalší rozvoj vednej disciplíny	. 22
	5.3	Závery pre prax	. 22
	5.4	Odporúčania pre ďalší výskum	. 23
Pe	oužitá	literatúra	. 23

## Úvod

Sprísňovanie požiadaviek na parametre budov je výsledkom Kjótskeho protokolu a celospoločenskej snahy o zníženie emisií skleníkových plynov. Od 1.1.2021 je možné, podľa smernice EPBD (2010/31/EU), stavať novostavby už len v energetickej triede A0 (hodnotenie podľa celkovej potreby energie v budove a primárnej energie). Z hľadiska ročnej spotreby energie na vykurovanie ide o domy s takmer nulovou spotrebou energie podľa STN 73 0540-2/Z2: 2019. Táto povinnosť vyplýva zo zákona č. 300/2012 Z. z., ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 555/2005 Z. z. a vykonávacej vyhlášky MDVRR SR č. 364/2012 Z. z., ktorá ustanovuje podrobnosti o výpočte energetickej hospodárnosti budov a preukázaní splnenia globálneho (energetického) ukazovateľa. Vzhľadom na faktor primárnej energie a snahu využiť čo najviac energie z obnoviteľných zdrojov to môže znamenať nárast spotrebičov na tuhé palivá.

Jednou z možností na zníženie spotreby energie na vykurovanie je obmedzenie tepelných strát cez obálku budovy. Z tohto hľadiska sa ako najkritickejšie konštrukcie javia ploché a šikmé strechy so sklonom do 45 ° a preto sú na ne kladené najprísnejšie požiadavky na tepelný odpor konštrukcie.

Komín je z hľadiska teplôt najvýraznejšou pevne zabudovanou súčasťou budov. Má samostatný základ, je oddilatovaný od ostatných konštrukcií budov a teploty v ňom sa, v závislosti od spotrebiča a druhu paliva, môžu pohybovať aj v rozmedzí stoviek °C, preto je potrebné jeho návrhu venovať zvýšenú pozornosť. Komín prechádzajúci horľavou konštrukciou predstavuje riziko požiaru aj v prípade, že sa ide o certifikovaný výrobok.

Norma EN 1859 +A1 popisuje skúšku na určenie bezpečnej odstupovej vzdialenosti horľavých výrobkov. Do roku 2019 bola na komínovom štítku uvádzaná vzdialenosť od horľavých konštrukcií skúšaná len v otvorenej vetranej dutine podľa EN 13216-1: 2005. Šírenie tepla sa ale mení so spôsobom zabudovania, ktorý sa na štítok výrobku neuvádzal. Rovnako sa ani neuvádzal typ strechy a skladba konštrukcie, cez ktorú komín prechádza aj keď tá sa líši od skúšobnej konštrukcie a má v konečnom dôsledku veľký význam.

V strešnej konštrukcii sa na zabránenie atmosférických vplyvov a tepelných strát priestor v mieste priechodu komína cez strešnú konštrukciu izoluje. Hlavne v súčasných stavbách sa zvyšujú požiadavky na tepelnú izoláciu obalových konštrukcií. Všeobecne prevláda názor, že čím viac je priechod izolovaný, tým je bezpečnejší aj z hľadiska protipožiarnej bezpečnosti. To ale nemusí byť pravda, pretože práve izolácia bráni prúdeniu vzduchu v mieste priechod komína cez konštrukciu strechy alebo aj stropu a tým jeho ochladzovaniu. Výber vhodného komínového systému a jeho správne zabudovanie do stavby vzhľadom na horľavé výrobky a povrchy v stavebnej konštrukcii môže do veľkej miery ovplyvniť, či sa v dôsledku vnútorného požiaru kovového komínového systému, napr. pri vyhorení sadzí, vznietia aj okolité horľavé stavebné výrobky.

## 1 Súčasný stav riešenej problematiky

## 1.1 Stav požiarovosti na Slovensku v nadväznosti na zmeny v právnych predpisoch týkajúcich sa komínov a dymovodov

Vykurovacie telesá, komíny a dymovody sú jednými z najčastejších príčin požiarov v obytných budovách. Vyhorenie sadzí je zo všetkých najčastejšou príčinou požiaru spôsobenou vykurovacími telesami, komínmi a dymovodmi. Nadobudnutím účinnosti zákona č. 347/2004 Z. z. ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 455/1991 Zb. o živnostenskom podnikaní, bola zrušená povinnosť vykonávať kontrolu a čistenie komína osobami s odbornou spôsobilosťou.<sup>1</sup> To sa prejavilo výrazným nárastom požiarovosti.

#### 1.2 Konštrukcie a materiály

Komín zabudovaný v stavbe prestupuje cez vodorovné ale aj šikmé konštrukcie. Z dôvodu zjednodušenia a bezpečnosti je, ako v skúšobnom postupe, tak aj v celej tejto práci, uvažované aj v prípade krovu ako s vodorovnou konštrukciou. Tá sa v skušobnom postupe výrazne líši od tej v skutočnej stavbe.



Posledná stropná / strešná konštrukcia

Obr. 1.1 Porovnanie skladieb konštrukcií skúšobnej zostavy podľa EN 1859+A1: 2013 (vľavo) s príkladom skladieb konštrukcií v reálnej drevostavbe (vpravo)

Tepelná izolácia môže v závislosti od požadovaného tepelného odporu strešnej konštrukcie dosahovať aj hrúbky 600 mm. V mieste izolovaného priechodu má výraznejší vplyv aj na vnútornú teplotu samotného materiálu izolácie v blízkosti komína [30].

V práci je ďalej spracovaný rešerš poznatkov z oblasti materiálov nachádzajúcich sa v strešných konštrukciách, hlavne vplyv doby pôsobenia tepelného zdroja, vplyv teploty a objemovej hmotnosti na

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Zákon č. 161/1998 Z. z. o Komore kominárov Slovenska a o zmene a doplnení zákona č. 455/1991 Zb.

o živnostenskom podnikaní (živnostenský zákon) v znení neskorších predpisov

tepelnú vodivosť a mernú tepelnú kapacitu materiálu. Ďalej vplyv poveternostných podmienok a rýchlosti ohrevu na rozklad izolácie a vplyv priedušnosti vo vysoko poréznych materiáloch na šírenie tepla v konštrukcii [34 - 50].

#### 1.3 Spalinová cesta

Komíny môžu byť inštalované od okolitých horľavých stavebných konštrukcií len v bezpečnej vzdialenosti. Táto vzdialenosť sa musí overiť skúškou podľa EN 13216-1 alebo skúškou podľa zodpovedajúcej skúšobnej normy (pre kovové komíny je to EN 1859+A1) [1]. Maximálna povrchová teplota priľahlých horľavých výrobkov pri vyhorení sadzí nesmie prekročiť 100 °C (pri prevádzkových podmienkach je to 85 °C) pri teplote prostredia 20 °C počas skúšky odolnosti voči vyhoreniu sadzí pri teplote 1000 °C po dobu 30 min (vyhorenie sadzí však môže trvať aj niekoľko hodín).

Tepelný tok závisí aj od spôsobu zabudovania komína do strešnej konštrukcie. Po podrobnejšej analýze vidieť, že môžu nastať štyri scenáre namáhania priľahlej konštrukcie teplom od komína alebo dymovodu, v závislosti od uzavretia alebo vyplnenia medzery medzi komínom a namáhanou konštrukciou tepelnou izoláciou. Medzera môže byť otvorená (trvalo vetraná), uzavretá, ale vetraná, uzavretá nevetraná alebo vyplnená nehorľavou izoláciou. Pre tieto scenáre sa predpokladá celistvosť komína. V prvom prípade prevláda šírenie tepla sálaním, v druhom ide o kombináciu vedenia a prúdenia tepla so sálaním, v treťom o kombináciu s prevahou vedenia a sálania a v poslednom prípade, ktorý je v súčasnosti najčastejším riešením, prevláda prenos tepla vedením.

Pri návrhu spalinovej cesty vstupuje do výpočtu veľa premenných. Teplota spalín je jeden z hlavných parametrov pri jej návrhu. Výpočtom je možné určiť teplotu spalín v danej vzdialenosti od spotrebiča na základe teploty v spalinovom hrdle. Výrobca spotrebiča ale udáva v technickom liste priemernú teplotu na spalinovom hrdle skúšanú za ideálnych podmienok a tá sa môže od reálnej líšiť.

Určenie vonkajšej povrchovej teploty komína je možné odvodiť z teploty spalín, ktorej výpočet pre plne uzavretý priechod komína konštrukciou možno popísať podľa normy EN 15287-1 nasledovne:

$$\theta_{calc} = \frac{\frac{1}{\alpha_i} + \left(\frac{1}{\Lambda}\right) + \frac{D_h}{D_{ha}} \cdot \left(\frac{1}{\Lambda}\right)_{sp}}{\frac{D_h}{D_{ha}} \cdot \left[\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_w + \frac{1}{\alpha_a}\right]} \cdot (\theta_c - \theta_u) + \theta_c, \quad (^\circ C)$$
(1.1)

V mieste priechodu strešnou konštrukciou nad vykurovaným priestorom je potrebné zabrániť tepelným stratám a tento kritický detail vhodne utesniť. Dobre izolovaný vzduchotesný priechod bráni ochladzovaniu povrchu komína a v závislosti od hrúbky a vlastností strešnej konštrukcie môže spôsobovať zvýšenie povrchovej teploty komína. S narastajúcou teplotou sa menia aj tepelnotechnické vlastnosti použitých materiálov. Výpočet povrchovej teploty komína podľa uvedeného normového postupu tento jav nezohľadňuje. Dotiahnutie parozábrany alebo aj hydroizolácie k povrchu komína môže byť ale vzhľadom na splnenie minimálnej odstupovej vzdialenosti horľavých výrobkov od komína problém, rovnako aj vzhľadom na maximálnu teplotu použitia týchto horľavých výrobkov.

## 2 Predmet a ciele dizertačnej práce

#### Predmet dizertačnej práce

Práca sa zaoberá protipožiarnou bezpečnosťou priechodu kovového komínového systému cez tepelne izolovanú drevenú strešnú konštrukciu. Práca sa zameriava práve na riešenie izolovaného priechodu kovového komínového systému cez horľavú konštrukciu strechy, čo ako bolo dokázané inými výskumami, predstavuje z hľadiska šírenia tepla najnebezpečnejší spôsob zabudovania. Riešené sú vplyvy rôznych faktorov na protipožiarnu bezpečnosť komínov zabudovaných v horľavej strešnej konštrukcii.

#### Ciele dizertačnej práce

Cieľom dizertačnej práce je analýza tepelného poľa v mieste priechodu kovového komínového systému cez izolovanú drevenú strešnú konštrukciu podľa v súčasnosti platných a navrhovaných tepelnoizolačných parametrov a následný návrh vhodného riešenia, prípadne úpravy používaných požiarnotechnických parametrov a skúšobných postupov. Medzi čiastkové ciele patrí:

- Teoretická analýza daného problému. S tým súvisiaca analýza zameraná na materiálovú bázu, šírenie tepla v okolí komínového systému ako aj normové požiadavky a skúšobné postupy zaoberajúce sa návrhom a skúšaním komínov.
- Overenie teploty spalín počas reálnej prevádzky tepelného spotrebiča a porovnanie s teplotou spalín uvádzanou výrobcom spotrebiča.
- Vytvorenie teoretického scenáru šírenia tepla a počítačového modelu priechodu kovového komínového systému cez izolovanú konštrukciu za účelom zistenia vplyvu hrúbky tepelnej izolácie a teploty spalín na teplotné pole.
- Následne experimentálne meranie a porovnanie výsledkov s výsledkami z predchádzajúcich meraní a numerickej analýzy.
- Zhrnutie údajov, ich analýza a vyslovenie záverov.

### 3 Metodika dizertačnej práce

Metodika dizertačnej práce pozostáva z týchto častí:

- Analýza súčasného stavu poznania. Prehĺbenie si poznatkov v oblasti témy dizertačnej práce, štúdium vedeckej a odbornej literatúry, oboznámenie sa s témou a s riešením danej problematiky aj zo zahraničných zdrojoch. Vytvorenie teoretického modelu, databázy teplo-technických a materiálových vlastností použitých materiálov. V časti sumarizácie údajov bude použitá metóda komparácie (porovnávania) dostupných informácií a dokumentov aj zo zahraničných zdrojov.
- Experimentálne meranie povrchovej teploty jednovrstvového kovového dymovodu a porovnanie zistených údajov s údajmi od výrobcu a z dostupných zdrojov.

- Vytvorenie počítačového modelu vplyvu hrúbky tepelnej izolácie a teploty spalín na teplotné pole v mieste priechodu komína konštrukciou a následné stanovenie reprezentatívnej skúšobnej konštrukcie.
- Experimentálne meranie posúdenie teplotného poľa konkrétneho kovového komína zabudovaného do vybraných skladieb strešnej konštrukcie.
- 5) Spracovanie získaných hodnôt z meraní, analýza a porovnanie údajov a poznatkov. Na záver zhodnotenie a interpretácia výsledkov a vyslovenie záverov.

### 4 Vlastná práca

#### 4.1 Meranie povrchovej teploty jednovrstvového dymovodu za prevádzkových podmienok

Za účelom zistenia teploty spalín za bežných prevádzkových podmienok bolo vykonané meranie na jednovrstvovom dymovode s priemerom 120 mm. Nakoľko nebolo možné narušiť povrch dymovodu, meraná bola povrchová teplota dymovodu v mieste za spalinovým hrdlom (T014), vo vzdialenosti 500 mm (T02) a 1500 mm (T01) od napojenia dymovodu na spotrebič a v mieste ohniska bol použitý plášťový termočlánok (T03). Ako palivo boli použité štiepky, dosky a polená z jaseňa, duba a zo smreka. Meranie trvalo vyše 5 hodín. Teplotu v mieste ohniska sa podarilo ustáliť približne po 2 hodinách od začiatku merania a to na priemernej hodnote 599,9 °C.



#### 4.1.1 Výsledky a diskusia

Obr. 4.1 Priebeh povrchových teplôt na jednovrstvovom dymovode a v mieste ohniska

V najvyššom mieste merania (T01), vzdialenom 1,5 m od napojenia sopúcha, mala povrchová teplota dymovodu približne 304 °C. V mieste za spalinovým hrdlom (T04) bola priemerná teplota 422 °C ale v termočlánku č. 2, ktorý bol umiestnený vyššie až 635 °C. Vyššia teplota v tomto mieste v porovnaní

s teplotou na sopúchu je spôsobená chýbajúcim deflektorom spalín a je dôkazom toho, že spaliny dohárali v tejto vyššej časti dymovodu.

Dymovod bol napojený na kachle THORMA FILEX-H, ktoré majú priemernú teplotu spalín v spalinovom hrdle uvedenú výrobcom 280 °C. Nameraná priemerná teplota v tomto mieste bola ale 422 °C, čo je minimálne o 142 °C viac ako udáva výrobca, nakoľko meraná bola povrchová teplota a nie teplota spalín.

# 4.2 Numerický model pre stanovenie teplotného poľa v konštrukcii v závislosti od hrúbky, súčiniteľa tepelnej vodivosti tepelnej izolácie a teploty spalín

Na overenie vplyvu hrúbky tepelnej izolácie na teplotné pole bol pripravený zjednodušený numerický model v programe Therm. Pri výpočte povrchovej teploty komína pri rôznych teplotách spalín a hrúbke tepelnej izolácie bol uvažovaný komínový systém s hrúbkou vonkajšieho aj vnútorného plášťa 1 mm z nerezovej ocele (1.4571). Komínovú izoláciu predstavovala technická tepelná izolácia ORSTECH 90, v ktorej sa uvažovalo so zmenou súčiniteľa tepelnej vodivosti podľa EN ISO 13787 do teploty 600 °C. V prípade komína prestupujúceho konštrukciou bolo uvažované s okrajovými podmienkami v interiéri 20 °C a nad konštrukciou v exteriéri - 11°C. V prípade voľne stojaceho komína sa uvažovalo len s teplotou interiéru 20 °C. V ďalšom výpočte boli posudzované priechody komína konštrukciou, ktorú pre zjednodušenie predstavovali len dva typy minerálnej izolácie, ktoré boli v priamom kontakte s komínom.

Materiál	Súčiniteľ tepelnej vodivosti	Hrúbka		
	$\lambda [W/(m.K)]$	[mm]		
Nerezová oceľ	20	1		
Komínová izolácia	viď Tab. 4.3	30		
Kamenná vlna	0,045	200 - 600		
Sklená vata	0,036	200 - 600		

Tab. 4.1 Vlastnosti materiálov

Fab. 4.2 Deklarovaný súčiniteľ tepelne	j vodivosti technickej tepeln	ej izolácie (z min.	vlákien) v záv	islosti
	na teplote [W/(m.K)]			

Materiál	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	650 °C
min. vata	0,080	0,100	0,120	0,130	0,140	0,236

#### 4.2.1 Výsledky a diskusia



Obr. 4.2 Teplota vonkajšieho povrchu komína v mieste priechodu konštrukciou s rôznou hrúbkou tepelnej izolácie z minerálnej vlny v závislosti od teploty spalín

Tab. 4.3 Teplota vonkajšieho povrchu komína v	závislosti od teploty spalín a hrúbky minerálnej vlny
v mieste priechod	u komína konštrukciou

Hrúbka	Teplota spalín [°C]								
minerålnej vlny	200	300	400	500	600	700	800		
[mm]	Teplota vonk. povrchu komína v mieste priechodu konštrukciou [°C]								
voľný povrch	44,8	63,1	83,3	102,6	122,8	162,5	183,4		
200	83,1	132,0	183,4	235,7	285,0	357,4	406,4		
300	113,6	177,5	244,1	308,2	373,2	453,5	520,5		
400	135,8	210,4	287,4	361,8	437,1	527,7	602,9		
500	151,1	232,7	316,6	398,2	473,2	572,6	657,1		
600	163,1	249,9	337,8	423,8	510,7	608,2	695,9		

Najvyššia povrchová teplota komína vedeného voľne je výrazne nižšia ako v prípade zabudovaného komína. Komín prestupujúci izolovanou konštrukciou s vyššou hrúbkou minerálnej vlny má vyššiu povrchovú teplotu. Dôvodom je ochladzovanie tohto miesta v prípade voľne vedeného komína, kde bolo teplo odvádzané do okolia.

Jednoduchou numerickou analýzou za použitia 2D modelu v programe Therm sa dá určiť bezpečná odstupová vzdialenosť horľavých výrobkov v skladbe izolovanej strešnej konštrukcie danej hrúbky pri rôznych teplotách spalín v mieste priechodu komína konštrukciou. Za túto vzdialenosť boli uvažované miesta, v ktorých teplota prekročila 85 °C.

Hrúbka	Teplota spalín [°C]									
minerálnej vlny	200	300	400	500	600	700	800			
[mm]	Bezpečná odstupová vzdialenosť [mm]									
kv 200	0,0	38,5	61,3	80,0	93,3	108,1	116,1			
sv 200	1,0	39,7	64,0	81,5	94,8	109,7	117,7			
kv 300	37,0	86,8	118,8	144,6	163,3	183,5	198,3			
sv 300	39,7	89,5	121,8	145,8	166,0	184,6	199,5			
kv 400	74,7	139,0	179,3	211,6	235,6	262,6	280,1			
sv 400	77,3	140,5	183,5	212,8	238,3	268,0	282,8			
kv 500	113,5	188,8	240,9	278,6	310,9	340,6	363,1			
sv 500	116,1	191,5	245,1	282,8	313,6	343,3	363,1			
kv 600	152,7	242,5	304,1	348,6	385,9	420,9	446,4			
sv 600	156,5	245,1	306,8	352,4	387,4	422,4	450,6			

Tab. 4.4 Bezpečná odstupová vzdialenosť horľavých výrobkov od povrchu komína v závislosti od teploty spalín a hrúbky minerálnej vlny v mieste priechodu komína konštrukciou



Obr. 4.3 Bezpečná odstupová vzdialenosť horľavých materiálov v skladbe konštrukcie od vonkajšieho povrchu komína za prevádzkových podmienok

Z výsledkov je zrejmé, že viacej ako hodnota súčiniteľa tepelnej vodivosti mala vplyv na odstupovú vzdialenosť hrúbka použitej tepelnej izolácie. Obidva druhy tepelnej izolácie v skladbe strechy sú vhodné na použitie len do teploty 200 °C. Sivou sú v Tab. 4.5 vyznačené hodnoty, pri ktorých už tepelná izolácia v blízkosti komína prekročila maximálnu prevádzkovú teplotu a bezpečné odstupové vzdialenosti v tabuľke sú tak skreslené.

#### 4.3 Experimentálne meranie teplôt v mieste priechodu komína strešnou konštrukciou

Experimentálne meranie v rámci tejto dizertačnej práce bolo realizované v spolupráci s ČVUT a firmou MESSY s.r.o. V požiarnom laboratóriu v UCEEB bol pod odsávací zvon inštalovaný komín napojený na kachľovú pec a prestupujúci skúšobnou strešnou konštrukciou, ktorú predstavoval drevený box, ktorý bol kalcium-silikátovou doskou rozdelený na dve polovice s rôznou skladbou. Meranie bolo vykonané dvakrát s rôznymi skladbami skúšobnej konštrukcie. Jednotlivé spoje boli utesnené žiaruvzdorným elastickým tmelom a priechod komína bolo na hornej hrane spodnej OSB dosky utesnený tesnením pre blower door test RAAB HOT SHOT s tepelnou odolnosťou do 250 °C. Tepelný spotrebič, ktorý predstavovali krbové kachle Romotop Stromboli N03, bol za pomoci jednovrstvového dymovodu napojený na skúšobný systémový trojvrstvový komín RAAB DW s vnútorným priemerom 150 mm a s označením podľa STN EN 1443 T600 N1 D L50050 V3 G50.

Propánový pieskový horák, ovládaný systémom merania a regulácie, bol použitý na simuláciu prevádzky spotrebiča na tuhé palivo. Na dokumentovanie povrchových teplôt komína bola použitá aj termokamera Infratec VarioCAM HD RP. Pri meraní teploty na povrchoch a v skladbe boli použité káblové termočlánky typu K s konektorom od firmy MAVIS. V spalinovej ceste a na meranie teploty okolia boli použité plášťové termočlánky typu K s priemerom 1,5 mm a teplotným rozsahom od -40°C do +1 150°C. Povrchové teploty a teploty vo vnútri stropnej konštrukcie boli merané káblovým diskovým termočlánkom typu K s priemerom 0,5 mm, ktorého rozsah meraných teplôt je od -40°C do +600°C.

# 4.4 Prvé meranie – sledovanie rozdielu medzi difúzne otvorenou a uzavretou konštrukciou v skladbe s minerálnou vlnou

#### 4.4.1 Skladba skúšobnej konštrukcie

Obe časti dreveného boxu boli pri prvom meraní vyplnené tepelnou izoláciou na báze kamennej vlny ISOVER UNI s celkovou hrúbkou 300 mm. Ľavá časť boxu (skladba S<sub>1</sub>, označovaná tiež ako mw\_cc) bola prikrytá OSB doskou s hrúbkou 15 mm, ktorá predstavovala plný záklop a pravá polovica boxu (skladba S<sub>2</sub>, resp. mw\_pc) bola z hornej strany prekrytá geotextíliou, na ktorú bolo uložené latovanie a následne OSB doska predstavujúca krytinu.



#### LEGENDA:

- krbové kachle Romotop Stromboli N03 90° pripojovacie koleno dymovodu DN150 1
- 2 3
- dymovod DN150
- 4 pripojovací T-kus DN150
- 5 zberný diel
- 6 7 komínová zostava RAAB DW 150 nerezová vložka RAAB EW 150 DN150



- - 11 lešenie
- 12 kalcium silikátová doska Skamotec 225
- Obr. 4.4 Skúšobná zostava prvého merania s umiestnením vybraných termočlánkov

materiál	súčiniteľ tepelnej vodivosti	objemová hmotnosť	merná tepelná kapacita	faktor difúzneho odporu	trieda reakcie na oheň	maximálna prevádzková teplota
	λ [W/(m.K)]	ρ [kg/m³]	c [J/(kg.K)]	μ[-]		[°C]
nerezová oceľ	20	7 850	460	-	A1	-
komínová izolácia pri 50 °C	0,041	90	800	1,3	A1	640
OSB doska	0,13	650	1700	50	D - s2,d0	-
smrekové drevo	0,18	400	2510	157	D - s2,d0	_2
minerálna vlna	0,035	40	1020	1	A1	200
drevovlákno	0,039	50	2100	5-10	Е	NPD
PIR panely	0,022	30-60	1500	180-260	Е	90
kalcium- silikátová doska pri 20 °C pri 100 °C pri 200 °C	0,175 0,190 0,210	870 870 870	920 920 920	20 20 20	A1	400 400 400

Tab. 4.5 Tepelnotechnické vlastnosti materiálov použitých v skúšobnej konštrukcii pri oboch meraniach

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Termická degradácia jednotlivých zložiek viď ods. 1.4.3 Termická degradácia dreva.

#### 4.4.2 Umiestnenie termočlánkov

V rámci merania bola zaznamenávaná teplota v interiéri (Tin3), teplota spalín (T21, T22 a T23), teplota na povrchu spodnej hrany OSB (Ts). Vzhľadom na kruhový prierez komína bolo možné pri umiestňovaní termočlánkov využiť os symetrie a uvažovať o rovnomernom šírení tepla. Povrchová teplota voľného povrchu komína bola meraná 200 mm pod spodnou hranou skúšobnej konštrukcie (Tsa). V mieste priechodu komína stropnou konštrukciou a vo vnútri stropnej konštrukcie bola meraná teplota v 3 vodorovných úrovniach v 50 mm rozostupoch. Pri druhom meraní bola vložená ďalšia dvojica termočlánkov označených ako T12.



Obr. 4.5 Rozmiestnenie termočlánkov v skúšobnej konštrukcii pri prvom meraní - rez

#### 4.4.3 Priebeh merania

V čase 0 s bol spustený plyn a zapálený pieskový horák pomocou kovovej tyče obalenej petrolejom napustenou a zapálenou textíliou.

Výkon horáka bol postupne zvyšovaný tak, aby čo najlepšie simuloval prevádzku spotrebiča. Postupné navyšovanie výkonu horáka zodpovedá približne prikladaniu 0,8 kg dreva každých 15 minút, čo predstavuje zvýšenú prevádzku spotrebiča [3]. Maximálny výkon 14 kW zodpovedal teplote približne 310 °C na spalinovom hrdle spotrebiča, čo je priemerná hodnota spalín na spalinovom hrdle uvádzaná výrobcom krbových kachlí.

K vypnutiu horáka došlo v čase 6,8 h (24 400 s) a následne bolo zaznamenávané chladnutie konštrukcie. Záznam dát bol ukončený 12 hodín (43 200 s) od zapálenia horáka. Postup merania sa pri druhom meraní do 5,0 h (18 000 s) zhodoval s postupom pri prvom meraní. Rozdiel bol v tom, že v čase 5,0 h (18 000 s) bol vypnutý pieskový horák. Chladnutie bolo následne zaznamenávané ďalších necelých 7 hodín (do 12,0 h od zapálenia horáka).

# 4.5 Druhé meranie – sledovanie teplotného poľa v skladbe strešnej konštrukcie s tepelnou izoláciou z drevovlákna a PIR panelov

#### 4.5.1 Skladba skúšobnej konštrukcie

Pri druhom meraní bola do ľavej časti boxu (skladba wf\_cc) vložená vysoko difúzne otvorená drevovláknitá tepelná izolácia STEICO Flex 038 s celkovou hrúbkou 300 mm a v pravej časti boxu (skladba PIR\_cc) PIR dosky v rovnakej celkovej hrúbke. Obe časti boxu boli prekryté OSB doskou s hrúbkou 15 mm, ktorá predstavovala plný záklop.

#### 4.6 Výsledky a diskusia

#### 4.6.1 Teplota spalín

V rámci laboratórneho merania s použitím regulovaného výkonu horáka sa teplota spalín stabilizovala približne 2,3 h po poslednom zvýšení výkonu horáka. Následne až do konca merania v časti pred priechodom konštrukciou mierne stúpala na rozdiel od teploty spalín za priechodom konštrukciou, kde bola stabilizovaná na hodnote približne 282 °C. To je dôkazom prestupu tepla do skúšobnej konštrukcie, ktorý spôsobil pokles teploty spalín za priechodom v čase 5 h o 43,2 °C v prvom meraní (s nehorľavou tepelnou izoláciou z časti difúzne otvorenou skladbou) a o 48 °C v druhom meraní (s horľavou difúzne uzavretou skladbou), t.j. o približne 14%.



Obr. 4.1 Teplota vo vnútri spalinovej cesty pri priechode komína skúšobnou strešnou konštrukciou s minerálnou vlnou

### 4.6.2 Povrchová teplota komína

Teplota na povrchu komína pred priechodom skúšobnou konštrukciou bola pri prvom meraní v čase 5 h 72,5 °C, pri druhom meraní 76,7 °C. Ide o povrchovú teplotu, pri ktorej už hrozí pri dotyku riziko

popálenia. Nameraná povrchová teplota komína v mieste priechodu konštrukciou bola v čase 5 h na úrovni cca 176 °C a neskôr stúpla až na 219 °C, čo približne zodpovedá predpokladanej povrchovej teplote z numerického modelu (193 °C). Po vypnutí plynového horáka povrchová teplota komína ešte chvíľu stúpala. Rozdiel povrchovej teploty v strede skladby s minerálnou vlnou (T01) a vo vzdialenosti 50 mm od hornej hrany dosky (T10) bol v prípade difúzne otvorenej skladby skoro dvojnásobný (30,6 °C) v porovnaní s difúzne uzavretou skladbou (17,0 °C).



Obr. 4.7 Teplota na povrchu komína pri priechode komína difúzne otvorenou skúšobnou strešnou konštrukciou s minerálnou vlnou a s latovaním

Numerickým výpočtom bola v skladbe s kamennou minerálnou izoláciou s hrúbkou 300 mm a teplotou spalín 300 °C vypočítaná teplota voľného povrchu komína 63,1 °C. Nameraná teplota voľného povrchu bola v tom čase 66,4 °C. Povrchová teplota komína mieste priechodu bola pri rovnakej teplote spalín očakávaná na základe numerického výpočtu 177,5 °C. Skutočná povrchová teplota (T01) v čase, kedy teplota spalín pod skúšobnou konštrukciou dosiahla hodnotu 300 °C bola 139,5 °C a stále stúpala až po hodnotu 200,9 °C.

## 5 Závery

#### 5.1 Čiastkové závery

# 5.1.1 Meranie povrchovej teploty jednovrstvového dymovodu za prevádzkových podmienok

Teploty udávané výrobcami sú získané zo skúšobných meraní za ideálnych laboratórnych podmienok a za prevádzkového stavu, v ktorom má byť dosiahnutá maximálna účinnosť. Uvádzaná je priemerná teplota spalín na spalinovom hrdle a nie maximálna teplota za reálneho prevádzkového

stavu. Napriek tomu, že spôsob prevádzky uvádza výrobca v návode na obsluhu, je dodržiavanie tohto postupu len veľmi ťažké zabezpečiť (ak sa nejedná o automatizované systémy dodávky palív) a celková prevádzka spotrebiča je tak závislá na zodpovednosti jeho užívateľa. Hodnoty uvádzané v technickom liste tak nemusia zodpovedať reálnej prevádzke a môžu byť v prípade prekurovania výrazne podhodnotené.

# 5.1.2 Numerický model pre stanovenie teplotného poľa v konštrukcii v závislosti od hrúbky, súčiniteľa tepelnej vodivosti tepelnej izolácie a teploty spalín

Numerickou analýzou bol preukázaný zjavný vplyv hrúbky tepelnej izolácie v strešnej konštrukcii na teplotné pole v blízkosti komína pri izolovanom priechode konštrukciou. Teplota spalín v mieste priechodu komína strešnou konštrukciou bežne dosahuje 300 °C. Z výsledkov vyplýva, že pri stavbách, spĺňajúcich súčasné požiadavky na tepelný odpor strešného plášťa, kde hrúbka tepelnej izolácie strešnej obalovej konštrukcie dosahuje aj 600 mm, nie je vo väčšine prípadov priame zabudovanie komína do konštrukcie možné, ani v prípade nehorľavej tepelnej izolácie. Potrebné je v tomto kritickom mieste použiť nehorľavú tepelnú izoláciu vhodnú do prostredia s vyššou prevádzkovou teplotou.

#### 5.1.3 Experimentálne meranie teplôt v mieste priechodu komína strešnou konštrukciou

#### 5.1.3.1 Teplota spalín

Logický predpoklad, že teplota spalín sa so zvyšujúcou sa vzdialenosťou od zdroja tepla znižuje sa nepotvrdil. Meraním bolo zistené, že teplota spalín v mieste priechodu komína skúšobnou strešnou konštrukciou je vyššia ako priemerná teplota v spalinovom hrdle uvádzaná výrobcom spotrebiča. V prípade prekurovania môže byť vyššia až o desiatky stupňov Celzia.

Bolo dokázané, že teplota spalín pred priechodom komína konštrukciou môže mierne narastať behom celej doby vykurovania, avšak za priechodom komína skúšobnou konštrukciou sa stabilizuje. Na poklese teploty spalín po priechode komína skúšobnou konštrukciou bol preukázaný vplyv súčiniteľa tepelnej vodivosti tepelnej izolácie použitej v skúšobnej konštrukcii ako aj vplyv difúzne otvorenej skladby strešnej konštrukcie na teplotné pole v okolí komína.

#### 5.1.3.2 Povrchová teplota komína

Bola dokázaná akumulácia tepla v skladbe strešnej konštrukcie, nakoľko povrchová teplota v mieste priechodu skúšobnou strešnou konštrukciou neustále mierne stúpala (istý čas aj po vypnutí horáka) napriek tomu, že povrchová teplota komína meraná pod touto konštrukciou bola ustálená približne v rovnakom čase, ako teplota spalín a výrazne nižšia ako v mieste priechodu.

Napriek tomu, že sa nejednalo o reálnu prevádzku, ale laboratórne meranie s výkonom pieskového horáka zodpovedajúcemu zvýšenému výkonu spotrebiča, teplota voľného povrchu komína pod priechodom dosahovala hodnotu (cca 75 °C), pri ktorej hrozí riziko popálenia a povrchová teplota v mieste priechodu skúšobnou strešnou konštrukciou mierne presahovala maximálnu prevádzkovú

teplotu použitej tepelnej izolácie (200 °C). Pôsobenie tejto teploty však nebolo dlhodobé a vizuálne poškodenie nebolo po demontáži pozorovateľné voľným okom.

Meraním bol preukázaný vplyv použitia latovania v porovnaní s plným záklopom strešnej konštrukcie len v hornej časti. Odstránenie latovania nemalo výrazný vplyv na povrchovú teplotu komína v ostatných častiach.

#### 5.1.3.3 Teplota v skladbe skúšobnej konštrukcie

V rámci experimentálneho merania bol preukázaný vplyv difúzneho uzavretia skladby ako aj vplyv súčiniteľa tepelnej vodivosti, mernej tepelnej kapacity a faktoru difúzneho odporu na tvar teplotného poľa aj na rýchlosť reakcie a chladnutia konštrukcie po vypnutí plynového horáka.



Obr. 5.1 Teplota vo vzdialenosti 50 mm od povrchu komína

Odstupová vzdialenosť horľavých materiálov v skladbe v blízkosti komína sa pri certifikácii skúša pri teplote spalín 1 000 °C a uvádza na štítku komína. Skúšobný komín použitý v experimente mal určenú odstupovú vzdialenosť 50 mm a napriek tomu, že teplota spalín nedosahovala tak vysokých hodnôt, teplota na rozhraní nehorľavej tepelnej izolácie v okolí komína a horľavých izolácií v druhom meraní presiahla hraničnú hodnotu 85 °C. Teplota v rámci skladby môže po vypnutí horáka stúpať aj niekoľko ďalších desiatok minút. Odkrytie skladby a demontáž latovania s provizórnou krytinou malo vplyv na teplotné pole skladby len vo vrchnej vrstve skladby.



Obr. 5.22 Teplota vo vzdialenosti 50 mm od povrchu komína

#### 5.2 Závery pre ďalší rozvoj vednej disciplíny

Výsledky dizertačnej práce sú príspevkom hlavne v oblasti analýzy teplotného poľa v mieste priechodu komína izolovanou konštrukciou a otvárajú tak možnosti k ďalšiemu výskumu. Použiteľné sú ako pre definovanú strešnú, tak aj pre stropnú konštrukciu. Preukázaný bol predpoklad akumulácie tepla v skúšobnej konštrukcii ako aj vplyv rôznych faktorov, ako napríklad vplyv hrúbky tepelnej izolácie, ktorou komín prestupuje, vplyv súčiniteľa tepelnej vodivosti, mernej tepelnej kapacity, faktora difúzneho odporu a doposiaľ neriešenému vplyvu plne difúzne uzatvorenej, prevetrávanej, alebo celkom odkrytej skladby skúšobnej konštrukcie na teplotné pole v okolí komína. Ďalej práca poskytuje porovnanie odstupových vzdialeností dymovodu od horľavých stavebných výrobkov pre rôzne teploty spalín s vybranými zahraničnými predpismi.

#### 5.3 Závery pre prax

- Práca poskytuje obraz o približnej teplote spalín v spalinovej ceste a vývine teplôt v tomto kritickom detaile.
- Priemerná teplota spalín v spalinovom hrdle udávaná výrobcom sa môže od teploty spalín v mieste priechodu komína strešnou konštrukciou značne líšiť.
- Je potrebné zjednotiť a revidovať normy EN 1443: 2019, EN 13216-1: 2019 a EN 1859+A1:
   2013.
- Potrebné je špecifikovať za akých podmienok skúšať komín podľa EN 1859+A1: 2013 a kedy a s akými klauzulami sa riadiť podľa EN 13216-1: 2019. Rozdiel je hlavne v skúšobnej konštrukcii.
- Vzhľadom na akumuláciu tepla v tepelnej izolácii by bolo vhodné prehodnotiť skúšobný postup a dobu vykurovania v ňom.

- Pri zabudovaní komína do stavby je dôležitý individuálny návrh a správna realizácia.
- Odstupové vzdialenosti určené pred zmenou normy EN 13216-1:2019, ktorá vyšla v roku 2019, určené pre komín vedený konštrukciou s prevetrávanou dutinu a nie izolovaný priechod. Komín v tomto normovom skúšobnom postupe bol umiestnený v rohovej polohe pri stene, čo z hľadiska vedenia tepla nie je najnepriaznivejší stav a v skutočnosti býva priechod komína obklopený konštrukciou strechy. Naviac boli skúšané pre hrúbky stropných, resp. strešných konštrukcií, ktoré nezodpovedajú súčasným teplo-technickým požiadavkám a so skladbou difúzne otvorenou.
- Vzhľadom na zníženie teploty spalín za priechodom konštrukciou by počet a druh skladieb, ktorými komín prestupuje mal byť braný do úvahy.
- Preukázaný bol vplyv plného záklopu v porovnaní s latovaním a vplyv priedušnosti stavebných materiálov na teplotné pole v okolí komína.
- Dôležité je pri realizácii prihliadať aj na maximálnu prevádzkovú teplotu materiálov použitých v blízkosti komína.
- Práca poskytuje aj tabuľkový prehľad noriem.
- Výsledok dizertačnej práce môže slúžiť ako podklad pre rozvoj skúšobných postupov, poukazuje na nedostatky skúšobnej normy a poskytuje odporúčania na zapracovanie. Niektoré boli medzičasom opravené v najnovšom znení normy STN EN 13216-1.

## 5.4 Odporúčania pre ďalší výskum

- Vkonať merania pre širšiu vzorku strešných, stropných ale aj stenových konštrukcií, vykonanie meraní pri vyšších teplotách spalín a pri dlhodobejšom tepelnom namáhaní.
- Overenie experimentálnych meraní numerickou simuláciou.
- Skúmanie zmeny tepelnotechnických vlastností výrobkov a stavebných materiálov v blízkosti komína a tepelného spotrebiča vzhľadom na dlhodobé tepelné namáhanie, vplyv vlhkosti a degradácie materiálu zabudovaných v stavbe po dlhší čas.
- Vypracovanie matematických modelov a za pomoci numerickej analýzy vytvorenie knižnice rôznych variácií riešení. Následne vyselektovanie údajov signifikantných pre daný problém a podnet na zapracovanie do predpisov, prípadne vypracovanie prehľadu s odporúčaniami na správne zabudovanie komína do konštrukcií vhodných a použiteľných pre prax.

## Použitá literatúra

[1] STN EN 1443 Komíny. Všeobecné požiadavky.

[2] STN EN 15287-1 +A1: Komíny. Navrhovanie, montáž a prevádzkovanie komínov. Časť 1: Komíny pre otvorené spotrebiče palív

[3] SODOMKA, W.: Integrace a bezpečnost komínových systémů v nízkoenergetických a pasivních stavbách. Dip. práca. Praha 2018, FSv ČVUT Praha

[4] Vyhláška MV SR č. 401/2007 Z. z. o technických podmienkach a požiadavkách na protipožiarnu bezpečnosť pri inštalácii a prevádzkovaní palivového spotrebiča, elektrotepelného spotrebiča a zariadenia ústredného vykurovania a pri výstavbe a používaní komína a dymovodu a o lehotách ich čistenia a vykonávania kontrol

[5] STN EN 1856-1: Komíny. Požiadavky na kovové komíny. Časť 1: Výrobky komínových systémov

[6] KVARČÁK, M. – BALOG, K. 1999. *Dynamika požáru*. vyd. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě. 118 s. ISBN 80-86111-44-X.

[7] STN ISO 8421-1: Požiarna ochrana. Slovník. Časť 1: Všeobecné požiarne termíny a javy

[8] STN EN 13216-1: Komíny. Skúšobné metódy pre komínové systémy. Časť 1: Všeobecné skúšobné metódy

[9] VAŘEKA, Josef; FROLEC, Václav. Lidová architektura : encyklopedie. 2., preprac. vyd., V nakl. Grada 1. vyd. vyd. Praha: Grada 427 s. s. ISBN 978-80-247-1204-8. OCLC 186963804 S. 65

[10] Zákon č. 314/2001 Z. z. o ochrane pred požiarmi v znení neskorších predpisov.

[11] KOŠÍK, M. – a kol.: *Polymérne materiály a ich požiarna ochrana*, ALFA Bratislava, 1986, s. 54.

[12] BALOG, K.: Štúdium procesu plameňového a bezplamenného horenia celulózových

materiálov. Kand. dizert. práca. Bratislava 1986, s. 22, CHTF ŠVŠT Bratislava

[13] BALOG, K.: Samovznietenie. Samozahrievanie. Vznietenie. Vzplanutie. Ostrava: SPBI, 1999, s.
50, ISBN: 80-86111-45-8

[14] BLAŽEJ, A a kol.: *Chémia dreva*. Bratislava: ALFA, 1975, 224 s.

[15] KAČÍK, F., MARKOVÁ, I., OSVALD, A.: The changes of lignin in burning process of spruce wood. In: Cellulose Chemistry and Technology, 33, No. 3-4, 1999. s. 267-275, ISSN: 0576-9787.

[16] LOWDEN, L. A. – HULL, T. R. 2013. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction. In Fire Science Reviews. ISSN 2193-0414, 2013, vol. 2, n. 4, s. 1–19.

[17] JANSSENS, M. - DOUGLAS B. *Wood and wood products*. In: Handbook of building materials for fire protection. New York: McGraw-Hill; 2004. p. 7.1–7.58.

[18] KAČÍKOVÁ, D., NETOPILOVÁ, M., OSVALD, A.: Drevo a jeho termická degradácia. Ostrava:
 SPBI, 2006, 79 s., ISBN 80-86634-78-7.

[19] OSVALD, A.: Požiarnotechnické vlastnosti dreva a materiálov na báze dreva. (Vedecké štúdie 8/1997/A). Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 1997. 52 s. ISBN 80-228-0656-0

[20] SHI, L. - CHEW, M. A review of fire processes modeling of combustible materials under external *heat flux*. Singapore: Elsevier, 2013

[21] KAČÍK, F. – ŠINDLER, J. : Vplyv hydrotermickej úpravy na termickú stabilitu lignínov. In: Zborník Wood Burning '92, Vysoké Tatry, 1992, s.197-200.

[22] KOŠÍK, M. – GERÁTOVÁ, L. – RENDOŠ, F. – DOMANSKÝ, R. : Pyrolyse des Buchenholzes bei niedrigen Temperaturen II. Thermographie des Buchenholzes und seiner Komponenten. Holzforschung, 20, 1968, s. 56-59.

[23] MITCHELL, N. D.: New Light on Self-Ignition, NFPA Quarterly, Vol. 45, No. 2, 1951, s. 165-172

[24] MACLEAN, J. D.: *Effect of Heat on Properties and Serviceability of Wood: Experiments on Thin Wood Speciments*, Forest Products Laboratory Report, No. R1471, Madison, Wisc., 1945

[25] MACLEAN, J. D.: *Rate of Disintegration of Wood Under Different Heating Conditions*, American Wood-Preservers Association, 1951

[26] MARKOVÁ, I.: Zmeny hustoty v priereze smrekového dreva v dôsledku jeho tepelného zaťaženia. In:
Pivarčiová Elena. *Požiarna ochrana: zborník referátov - Sekcia č. 3, Zvolen, Slovensko, 27. - 28. september* 1999. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 1999. 192 s. ISBN 8022808466, s. 67-72

[27] Rozhodnutie komisie 2007/348/ES z 15. mája 2007, ktorým sa mení a dopĺňa rozhodnutie 2003/43/ES, ktorým sa ustanovujú triedy reakcie na oheň pre určité stavebné výrobky, pokiaľ ide o drevené panely

[28] Rozhodnutie komisie 2003/43/EC zo 17. januára 2003, ktorým sa ustanovujú triedy reakcie na oheň pre určité stavebné výrobky

[29] OSVALD, A.:: *Horľavosť jednotlivých druhov drevín*. In: Geffert Anton, Kačík František a Réh Roman. *Vybrané procesy pri spracovaní dreva*: *III.medzinárodné sympózium, Zvolen, Slovensko*, 6. - 7. *septembra 2000*. 1.vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2000. 278s. ISBN 8022809322, s.15–17

[30] LEPPÄNEN, P. – NERI, M.– MÄKINEN, J.: *Heat release caused by the smouldering combustion of the binder of rockwool.* 2015. In: *Rakenteiden Mekaniikka ( Journal of Structural Mechanics) Vol.* 48, No 1, s. 68-82

- [31] STN EN ISO 23993: Tepelnoizolačné výrobky pre technické zariadenia budov a priemyselné prevádzky. Stanovenie výpočtovej hodnoty súčiniteľa tepelnej vodivosti. (ISO 23993: 2008, opravená verzia 2009-10-01). Brarislava: SÚTN, 2011
- [32] STN EN 14706: Tepelnoizolačné výrobky pre technické zariadenia budov a priemyselné inštalácie. Stanovenie maximálnej prevádzkovej teploty. Brarislava: SÚTN, 2013
- [33] STN EN 14707: Tepelnoizolačné výrobky pre technické zariadenia budov a priemyselné inštalácie. Stanovenie maximálnej prevádzkovej teploty vopred tvarovanej izolácie potrubí. Brarislava: SÚTN, 2013

[34] LACOVÁ, Z. – OLBŘÍMEK, J.: Detail priestupu komínového systému cez horľavú strešnú a stropnú konštrukciu. In Požární ochrana 2017 [elektronický zdroj]: sborník příspěvků z mezinárodní konference Požární ochrana 2017, Ostrava 6.-7. září 2017. 1. vyd. Ostrava : SPBI, 2017, DVD-ROM, s. 150-152. ISSN 1803-1803. ISBN 978-80-7385-188-0

[35] ALDRICH, D. – Bond, R.: *Thermal performance of rigid cellular foam insulation at subfreezing temperatures*. In: *Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings III*. ASHRAE/DOE/BTECC Conference, 1985.

[36] PEAVY, B. A.: A Heat Transfer Note on Temperature Dependent Thermal

Conductivit. In: Journal of Thermal Insulation and Building Envelopes, 1996. 20(1): s. 76-90.

[37] ABDOU, A., A. – BUDAIWI, I., M.: Comparison of thermal conductivity measurements of building insulation materials under various operating temperatures. 2005. In: Journal of Building Physics, 29(2): s. 171-84.

[38] YOUSEFI, Y. – TARIKU, F.: *Thermal Conductivity and Specific Heat Capacity of Insulation materials at Different Mean Temperatures*. 2021. In: *Journal of Physics: Conference Series*.

[39] BOMBERG, M. – KLARSFELD, S.: Semi-empirical model of heat transfer in dry

mineral fiber insulation. 1983. In: Journal of Building Physics, 6(3): s. 156-73.

[40] KARAMANOS, A. –HADIARAKOU, S. – PAPADOPOULOS, A., M.: *The impact of temperature and moisture on the thermal performance of stone wool.* 2008. In: *Energy and Buildings*, 40(8): s. 1402-11

[41] DARYABEIGI, K. – CUNNINGTON, G., R. – KNUTSON, J. R.: *Combined heat transfer in highporosity high-temperature fibrous* insulation: Theory and experimental validation. 2011. In: *Journal of thermophysics and heat transfer*, 25(4): s. 536-46.

[42] KORU, M.: Determination of Thermal Conductivity of Closed-Cell Insulation

Materials That Depend on Temperature and Density. 2016. In: Arabian Journal for Science and Engineering, 41(11): s. 4337-46.

[43] NAGY, B. – TAMÁS, S. – NEMES, R.: *Effect of built-in mineral wool insulations durability on its thermal and mechanical performance.* 2019. In: *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry.* 

[44] KOSIŃSKI, P. – WÓJCIK, R.: An Impact of Air Permeability on Heat Transfer through Partitions Insulated with Loose Fiber Materials. 2016 In: .Applied Mechanics and Materials.

[45] BELLEUDY, C. – KAYELLO, A. – WOLOSZYN, M. – GE, H.: *Experimental and numerical investigations of the effects of air leakage on temperature and moisture fields in porous insulation. 2015. In: Building and Environment*, s. 457-466

[46] ØKLAND, Ø.: *Convection in Highly – Insulated Building Structures.*, Doctoral theses at NTNU. Norwegian University of Science and Technology, Department of Building and Construction Engineering, Trondheim, 1998.

[47] DESEYVE, C. – BEDNAR, T.: *Wind induced airflow through lightweight pitched roof construction: Test roof element – measurements and model validation,* proceedings of the 8th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, Kopenhaga, 2008.

[48] ROELS, S. – LANGMANS, L. –KLEIN, R.: *Hygrothermal risks of using exterior air barrier systems for highly insulated light weight walls*. A laboratory investigation, Building and Environment. 2012. S. 192-202.

[49] WATT, D. – SJÖBERG, S. – WAHLGREN, P.: *Hygrothermal performance of a light weight timber wall assembly with an exterior air barrier*. In: *Energy Procedia*. 2015. 1419-1424.

[50] RANTUCH, P., KAČÍKOVÁ, D., MARTINKA, J., BALOG, K.: *The influence of the heat rate to thermal decomposition of wood fibre insulation*. 2014. Acta Facultatis Xylologiae. 56. s. 97-108

[51] STN 73 4201: Rekonštrukcie a opravy komínov a dymovodov. Spoločné ustanovenia

[52] STN EN 13501-2: 2018. Klasifikácia požiarnych charakteristík stavebných výrobkov a prvkov stavieb. Časť 2: Klasifikácia využívajúca údaje zo skúšok požiarnej odolnosti (okrem ventilačných zariadení)

[53] STN EN 1366-13: 2019. Skúšky požiarnej odolnosti prevádzkových zariadení. Časť 13: Komíny

[54] SIMMS, D. L.: Damage to Cellulosic Solid by Thermal Radiation. Combustion and Flame 6, 1962,s. 308-318

[55] RÉH, R.: The fire performance of wood – based panel products. ES TU Zvolen, 1992, s. 12-14, 16.

[56] CLARKE, S.H.: The fire retardant treatment of textiles and timber. FPAJ. Reprint, 1951, No 8, s. 12

[57] ASHTON, L.A.: Fire and timber in modern building design. TRADA, 1970, s. 20

[58] HORSKÝ, D. – OSVALD, A.: Laboratórne testovacie metódy horľavosti dreva. VPA, 2/1983,
 VŠLD Zvolen, 1983, s. 27 - 31

[59] GREXA, O.: Vplyv hrúbky smrekového dreva na index jeho horľavosti podľa STN 73 0862. Drevo,
53, 1998, s. 59 – 61

[60] SKROVNÝ, R. – MAHÚT, J. – OSVALD, A.: Vplyv technológie výroby preglejok na požiarnotechnické vlastnosti. In: Geffert Anton, Kačík František a Réh Roman. Vybrané procesy pri spracovaní dreva: III. medzinárodné sympózium, Zvolen, Slovensko, 6. - 7. septembra 2000. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2000. 278 s. ISBN 8022809322, s. 223 – 226

[61] NERI, M. – LUSCIETTI, D.– FIORENTINO, A. – PILOTELLI, M.: *Experimental Analysis of Chimneys in Wooden Roofs*. 2015. In: *Fire Technology*.

[62] NERI, M. – LUSCIETTI, D. – BANI, S. – FIORENTINO, A. – PILOTELLI, M.: Anylysis of the temperatures measured in very thick and insulating roofs in the vicinity of a chimney. 2015. In: Journal of *Physics: Conference Series* 655. 33rd UIT (Italian Union of Thermo-fluid-dynamics) Heat Transfer Conference.

[63] Ignition and Charring Temperatures of Wood, Forest Products Laboratory Report No. 1464, Madison, Wisc., 1958

[64] SHELTON, J. W.: Wood Heat Safety, Garden Way Publishing, Charlotte, Vt., 1979

[65] PEACOCK, R. D.: Wood Heating Safety Research: An Update, Fire Technology, Vol. 23, No. 4, 1987, s. 292-312

[66] LAWSON, D. I. – FOX, L. L. – WEBSTER, C. T. : *The Heating of Panels by Flue Pipes,* Fire Research Special Report No. 1, Fire Protection Association, London, England, 1952

[67] LEPPÄNEN, P. – INHA, T.– PENTTI, M.: An Experimental Study on the Effect of Design Flue Gas Temperature on the Fire Safety of Chimneys. 2014. In: Fire Technology DOI 10.1007/s10694-014-0415-4

[68] JIŘÍK, F.: Zásady konstrukce a provozu komínů v dřevostavbě – 2. část. Komíny s kovovým komínovým pláštěm. [cit. 2016-1-15] Dostupné na internete: <u>http://vytapeni.tzb-info.cz/kominy-a-kourovody/11231-zasady-konstrukce-a-provozu-kominu-v-drevostavbe-2-cast</u>

[69] WOLANIN, J.: Podstawy Rozwoju Pozarow, Szkola Glówna Sluzby Pozarniczej, Warszawa 1986

[70] FOX, L. L. – WRITTAKER, D.: Some Measurements of Temperatures of Metal Flues of Domestic Heating Appliances, Journal of the Institution of Heating and Ventilation Engineers, Vol.23, 1955, s. 183-192

[71] LAWSON, D. I. – SIMMS, D. L.: *The Ignition of Wood by Radiation*, British Journal of Applied Physics, Vol. 3, 1952, s. 288-292

[72] NEALE, J. A. – KAČÍK, F. : *Clearances and Insulation of Heating Appliances*, Underwriters Laboratories, Inc., UL Bulletin of Research No. 27, 1943

[73] STN EN 1859+A1 Komíny. Kovové komíny. Skúšobné metódy

[74] ISO 9705 *Fire tests. Full scale room test for surface products.* Geneva: International Organization for Standardization, 1993.

[75] Drozdzol, D.: *Experimental fire testing of an innovative three-layer chimney for residential buildings*. In: *Journal of Building Engineering* 28. 2020.

[76] Drozdzol, D.: *CFD thermal analysis of a three-layer chimney used in residential buildings*. In: *Journal of Building Engineering* 44. 2021.

28