



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

# STUDIUM MOŽNOSTI MODIFIKACE IZOLANTŮ NA BÁZI ORGANICKÝCH VLÁKEN PRO ZLEPŠENÍ JEJICH UŽITNÝCH VLASTNOSTÍ

STUDY OF MODIFICATION POSSIBILITIES OF ORGANICS FIBERS FOR IMPROVEMENT  
OF THEIR PROPERTIES

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ivana Tošerová

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ ZACH, Ph.D.

BRNO 2020



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
<b>Pracoviště</b>	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Ivana Tošerová
<b>Název</b>	Studium možnosti modifikace izolantů na bázi organických vláken pro zlepšení jejich užitných vlastností
<b>Vedoucí práce</b>	doc. Ing. Jiří Zach, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2019
<b>Datum odevzdání</b>	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA,  
dr.h.c.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

- [1] CHYBÍK, J. Přírodní stavební materiály. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2009. 272 s. ISBN 978-80-247-2532-1.
- [2] ŠTASTNÍK, S., ZACH, J. Zkoušení izolačních materiálů. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. 95 s. ISBN 80-214-2253-X
- [3] ŠTASTNÍK, S., ZACH, J., Stavební akustika a zvukoizolační materiály. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. 209 s. ISBN 80-214-2117-7.
- [4] Briga-Sá, A., Nascimento, D., Teixeira, N., Pinto, J., Caldeira, F., Varum, H., Paiva, A., Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution, Construction and Building Materials, Volume 38, January 2013, Pages 155-160, ISSN 0950-061
- [5] Hadded, A., Benltoufa, S., Fayala, F., Jemni, A., Thermo physical characterisation of recycled textile materials used for building insulating, Journal of Building Engineering, Volume 5, March 2016, Pages 34-40, ISSN 2352-7102

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Bakalářská práce se bude věnovat možnostem návrhu a modifikací vlastností vláknitých tepelných a akustických izolantů na bázi organických vláken, a to především z pohledu reakce těchto izolantů na oheň. Cílem bude definovat parametry ovlivňující reakci na oheň u těchto izolantů složených především z čistých (chemicky neupravených) vláken různého typu jako je například typ vlákna, jeho délka, tloušťka, rozvolněnost, dále orientace vláken v izolantu, objemová hmotnost, tloušťka izolantu, atd. Výstupem práce by měl být návrh optimální metodiky pro výrobu vláknitých izolantů z organických vláken, aby bylo dosaženo co nejlepší reakce na oheň bez nutnosti druhotného chemického ošetření vláken. V rámci práce bude provedena jednak rešerše literatury, a dále budou ostatní informace získávány na základě provedených laboratorních experimentů na reálných vzorcích izolantů. (Rozsah práce 40-50 stran)

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT „Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací“ a platné Směrnice děkana „Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT“ (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT „Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací“ a platné Směrnice děkana „Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT“ (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

---

doc. Ing. Jiří Zach, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi návrhu modifikace vláknitých tepelných izolantů na bázi organických vláken, zejména z hlediska jejich reakce na oheň. Cílem práce je definovat parametry ovlivňující reakci na oheň a navrhnout optimální úpravu izolantů, aby bylo dosaženo co nejlepší reakce na oheň bez použití druhotného chemického ošetření.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Tepelná izolace, vláknité izolační materiály, požární odolnost, organické vlákno, zkouška reakce na oheň, požární odolnost

## ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the possibilities of modification of fibrous insulation materials based on natural fibers, especially in terms of their reaction to fire tests. The aim of the work is to define the parameters influencing the reaction to fire test and to design the optimal treatment of insulations in order to achieve the best possible reaction to fire tests without the use of secondary chemical treatment.

## KEYWORDS

Thermal insulation, fibrous insulating materials, fire resistance, organic fiber, reaction to fire tests, fire resistance

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Ivana Tošerová *Studium možnosti modifikace izolantů na bázi organických vláken pro zlepšení jejich užitných vlastností*. Brno, 2020. 51 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Zach, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Studium možnosti modifikace izolantů na bázi organických vláken pro zlepšení jejich užitných vlastností* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22. 5. 2020

---

Ivana Tošerová  
autor práce

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji svému vedoucímu Ing. Jiřímu Zachovi, Ph.D. za kvalitní vedení mé bakalářské práce, cenné rady a odborný dohled. Dále děkuji za pomoc při zpracování praktické části Ing. Vítězslavu Novákovi.

# Obsah

<b>I. TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>10</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>2 TEPELNĚ IZOLAČNÍ MATERIÁLY.....</b>	<b>11</b>
<b>3 POŽADAVKY NA TEPELNĚ A AKUSTICKO IZOLAČNÍ MATERIÁLY ZABUDOVANÉ V KONSTRUKCI.....</b>	<b>12</b>
3.1 POŽÁRNÍ OCHRANA.....	13
3.2 REAKCE NA OHEŇ.....	13
3.2.1 Zkouška malým zdrojem plamene .....	15
3.2.2 Zkouška jednotlivým hořícím předmětem .....	17
3.2.3 Zkouška nehořlavosti .....	18
3.2.4 Stanovení spalného tepla .....	20
3.3 POŽÁRNÍ BEZPEČNOST PRO OBJEKTY S VNĚJŠÍ ZATEPLOVACÍ SOUSTAVOU.....	22
<b>4 PRINCIP HOŘENÍ.....</b>	<b>24</b>
<b>II. PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>26</b>
<b>5 CÍL PRÁCE .....</b>	<b>26</b>
<b>6 METODIKA PRÁCE .....</b>	<b>26</b>
6.1 ZKUŠEBNÍ VZORKY .....	27
6.2 METODIKA PROVEDENÝCH EXPERIMENTŮ A MĚŘENÍ.....	28
6.2.1 Stanovení struktury vzorků.....	29
6.2.2 Stanovení homogenity vzorků .....	29
6.2.3 Stanovení tloušťky vláken.....	29
6.2.4 Stanovení orientace vláken .....	29
6.2.5 Stanovení tloušťky vzorků.....	30
6.2.6 Stanovení objemové hmotnosti vzorků .....	30
6.2.7 Zkouška malým plamenem .....	30
<b>7 PROVEDENÍ A VÝSLEDKY ZKOUŠEK.....</b>	<b>31</b>
7.1 STANOVENÍ STRUKTURY VZORKŮ .....	31
7.2 STANOVENÍ HOMOGENITY VZORKŮ .....	32
7.3 STANOVENÍ TLOUŠŤKY VLÁKEN .....	33
7.4 STANOVENÍ ORIENTACE VLÁKEN.....	34
7.5 STANOVENÍ TLOUŠŤKY VZORKŮ .....	36
7.6 STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI VZORKŮ .....	37
7.7 ZKOUŠKA MALÝM PLAMENEM.....	38



<b>8</b>	<b>VYHODNOCENÍ DÍLČÍCH ZKOUŠEK .....</b>	<b>40</b>
8.1	STANOVENÍ STRUKTURY VZORKŮ .....	41
8.2	STANOVENÍ HOMOGENITY VZORKŮ .....	41
8.3	STANOVENÍ TLOUŠŤKY VLÁKEN .....	42
8.4	STANOVENÍ ORIENTACE VLÁKEN .....	42
8.5	STANOVENÍ TLOUŠŤKY VZORKŮ .....	43
8.6	STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI VZORKŮ .....	43
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>44</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>47</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>50</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>50</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>51</b>

# I. TEORETICKÁ ČÁST

## 1 ÚVOD

Stavebnictví je obor neustále se rozvíjející a zdokonalující. Dochází zde k vývoji a modernizaci jednotlivých materiálů, izolační nevyjímaje. Pravděpodobně nejvyužívanějším izolačním materiálem jsou dnes izolace tepelné. Ty jsou důležitou součástí stavební konstrukce, neboť chrání před průnikem tepla dovnitř a zabraňují úniku tepla ven, čímž snižují tepelné ztráty konstrukce budovy. Je potřeba, aby ale i samotná tepelná izolace byla odolná proti působení tepla, především proti působení plamene. Na tuto problematiku je zaměřena tato bakalářská práce.

V rámci teoretické části byla nejprve provedena rozsáhlá literární rešerše v oblasti reakce izolantů na oheň. V praktické části budou provedeny jednotlivé zkoušky, které mají za úkol zjistit, zda mají dané parametry vliv na reakci na oheň. Mezi sledované parametry patří délka, tloušťka, orientace vlákna, objemová hmotnost izolantů atd. V praktické části budou testy prováděny na reálných vzorcích, dodaných firmou RETEX, v centru AdMas Fakulty stavební. Cílem je posoudit vliv daných parametrů a navrhnout optimální metodiky pro výrobu vláknitých izolantů z organických vláken, aby bylo dosaženo co nejlepší reakce na oheň bez nutnosti druhotného chemického ošetření vláken.

## 2 TEPELNĚ IZOLAČNÍ MATERIÁLY

Norma ČSN 73 0540-1: Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie definuje tepelně izolační materiál jako materiál výrazně omezující šíření tepla. Zároveň takto označený materiál nesmí překročit charakteristickou hodnotu tepelné vodivosti  $0,1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  při referenčních teplotních a vlhkostních podmínkách a daném stáří. Základním požadavkem na tepelné izolace je zamezení prostupu tepla z míst o vyšší teplotě do míst s nižší teplotou [6].

Tepelně izolační vlastnosti stavební konstrukce jsou v současné době (v souladu s ČSN 73 0540) vyjadřovány pomocí součinitele prostupu tepla  $U$ , který udává celkovou výměnu tepla v ustáleném stavu mezi dvěma prostředími vzájemně oddělenými stavební konstrukcí o tepelném odporu  $R$  s přilehlými vzduchovými mezerami. Vyjadřuje množství tepla, které projde  $1 \text{ m}^2$  materiálu při rozdílu teplot  $1 \text{ K}$  [8, 9].

Mezi klíčové vlastnosti tepelně izolačních materiálů pak patří především součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  [ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ] a měrná tepelná kapacita  $c$  [ $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ] [8].

- **Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$**  – charakterizuje tepelnou vodivost látky. Jedná se o schopnost materiálu vést teplo, tedy šířit teplo z teplejší části konstrukce do části chladnější. Udává množství tepla, které projde  $1 \text{ m}^3$  tělesa, za jednotku času, při tepelném spádu  $1 \text{ K}$  [9].
- **Měrná tepelná kapacita  $c$**  – vyjadřuje množství tepla, které je třeba dodat materiálu o hmotnosti  $1 \text{ kg}$ , aby se jeho teplota zvětšila o  $1 \text{ K}$ .

### Rozdělení tepelně izolačních materiálů

Vlastnosti izolačních výrobků se odvíjí především od jejich chemického složení a fyzikální struktury. Na základě rozdílného složení můžeme tepelně izolační materiály rozdělit hned z několika hledisek [7]:

- **Podle původu:**
  - organické,
    - minerální,
    - rostlinné,
    - živočišné,
  - anorganické.
- **Podle struktury:**
  - vláknité,
  - pórovité,
  - zrnité.

- **Podle materiálu:**
  - vláknité materiály – skleněná, minerální a syntetická vlákna; izolace na bázi ovčí vlny,
  - pěněné silikáty – pěnové sklo,
  - pěnoplastické látky – pěnový polyuretan, pěnový a extrudovaný polystyren, pěněné pryskyřice, pěněný polyetylen,
  - minerální materiály – keramzit, expandovaný perlit a vermikulit,
  - organické materiály – materiály na bázi dřeva a přírodních vláken; materiály na bázi celulósových vláken,
  - materiály nové generace – kalciumsilikáty, vakuové izolace [7].

### 3 POŽADAVKY NA TEPELNĚ A AKUSTICKO IZOLAČNÍ MATERIÁLY ZABUDOVANÉ V KONSTRUKCI

Tepelné izolace jsou navrhovány v souladu s vyhláškou č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby. Hlavním požadavkem tepelných izolací jsou tepelně izolační vlastnosti, avšak nejedná se o jediný požadavek kladený na izolanty. Důležité jsou též základní požadavky na bezpečnost a vlastnosti staveb uvedené ve třetí části v § 8. Konkrétní požadavky jsou [10]:

- **Mechanická odolnost a stabilita** – návrh stavby v souladu s normovými hodnotami tak, aby nedošlo k narušení stability, destrukce konstrukce či jejích částí
- **Požární bezpečnost** – zabezpečení stavby proti vzniku a šíření požáru, zajištění stability co nejdéle po vzniku požáru
- **Ochrana zdraví osob a zvířat, zdravých životních podmínek a životního prostředí** – návrh a provedení stavby tak, aby neohrožovala život a zdraví osob nebo zvířat a aby neohrožovala životní prostředí
- **Ochrana proti hluku** – stavba se navrhuje tak, aby bylo dosaženo dostatečné ochrany zdraví osob a zvířat proti působení hluku a vibrací
- **Bezpečnost při užívání** – návrh a provedení stavby tak, aby při jejím užívání nevznikalo nepřijatelné nebezpečí nehod nebo poškození
- **Úspora energie a tepelná ochrana** – stavba se navrhuje tak, aby byla spotřeba energií co nejnižší a nedocházelo k tepelným ztrátám [10]

### 3.1 POŽÁRNÍ OCHRANA

Nezbytným posuzovaným parametrem při výstavbě a zateplování domu je požární odolnost, která slouží k zajištění bezpečnosti v případě požáru. Požadavky na požární ochranu jsou uvedeny v zákoně 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu, a ve vyhlášce č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby. Jednotlivé požadavky na zateplovací systémy stavebních konstrukcí jsou pak uvedeny především v ČSN 73 0802 a v ČSN 73 0810 – Požární bezpečnost staveb. Tyto požadavky jsou rozdílné s různou požární výškou objektu, počtem požárních úseků či jeho účelem využití [10, 14, 16].

### 3.2 REAKCE NA OHEŇ

Podle hořlavosti dělí norma ČSN EN 13501-1+A1 materiály do sedmi tříd reakce na oheň [11, 12].

- **Třída A1** – Do této třídy patří nehořlavé materiály, které nepřispívají k požáru v žádném jeho stadiu, např. kamenná vlna, skleněná vlna nebo pěnové sklo. Materiály z této třídy musí splnit požadavky dle ČSN EN ISO 1182 (Zkouška nehořlavosti), kdy vzrůst teploty  $\Delta T$  nesmí být vyšší než 50 °C a úbytek hmotnosti  $\Delta m$  nesmí být vyšší než 50 %. Výrobek nesmí vykazovat trvalé plamenné hoření. Zároveň musí být vyhověno požadavkům dle ČSN EN ISO 1716 (Stanovení spalného tepla), kdy spalné teplo nesmí přesáhnout hodnotu 2,0 MJ/kg. Nestejnorodé výrobky musí splňovat stejné požadavky podle zkoušky ČSN EN ISO 1716 (Stanovení spalného tepla). Materiály z této třídy rovněž vyhovují všem požadavkům pro nižší třídy [11].

- **Třída A2** – Do této třídy řadíme téměř nehořlavé materiály, které nepřispívají významně k růstu a šíření požáru, např. minerální vlny s vysokou objemovou hmotností nebo s vysokým obsahem pojiva. Patří sem materiály splňující požadavky pro třídu reakce na oheň B spolu s dalšími požadavky. Podle normy ČSN EN ISO 1716 (Stanovení spalného tepla) nesmí výrobek této třídy přesáhnout hodnotu 3,0 MJ/kg. Dalšími požadavky jsou dle ČSN EN ISO 1182 (Zkouška nehořlavosti) vzrůst teploty  $\Delta T$  nižší než 50 °C a úbytek hmotnosti  $\Delta m$  menší než 50 % nebo plamenné období menší než 20 s. Další požadavky udává ČSN EN 13823+A1 (Zkouška jednotlivým hořícím předmětem). Materiály musí mít index rychlosti rozvoje požáru menší než 120 W/s, celkové uvolňování tepla musí být menší než 7,5 MJ a postranní šíření plamene musí být menší než hrana zkušební vzorku [11].

• **Třída B** – Do této třídy patří hořlavé materiály, které k růstu požáru přispívají jen velmi omezeně a jsou schopny odolávat působení malého plamene v delším časovém intervalu. Příkladem materiálu z této třídy jsou některé fenolové pěny. Materiál musí splnit požadavek dle ČSN EN ISO 11925-2 (Zkouška malým zdrojem plamene), kdy šíření plamene nesmí přesáhnout 150 mm za 60 s. Dále musí splňovat stejné požadavky uvedené v ČSN EN 13823+A1 (Zkouška jednotlivým hořícím předmětem) jako třída A2 [11].

• **Třída C** – Do této třídy patří hořlavé materiály, které omezeně, ale postřehnutelně přispívají k vývinu požáru a zároveň jsou schopné mu odolávat v delším časovém intervalu, např. některé pěny PIR. U materiálů z této třídy dochází k celkovému vzplanutí po 10 minutách od počátku požáru. Materiály musí splnit požadavky dle ČSN EN ISO 11925-2 (Zkouška malým zdrojem plamene) stejné jako pro třídu B. Dále musí splnit požadavky uvedené v ČSN EN 13823+A1 (Zkouška jednotlivým hořícím předmětem). Index rychlosti rozvoje požáru menší než 250 W/s, celkové uvolňování tepla musí být menší než 15 MJ a postranní šíření plamene musí být menší než hrana zkušební vzorku [11].

• **Třída D** – Do této třídy patří hořlavé materiály, které podstatně přispívají k vývoji požáru, např. dřevo, většina pěn PIR. U materiálů z této třídy dochází k celkovému vzplanutí mezi 2 a 10 minutami od počátku požáru. Materiál musí dosáhnout stejných požadavků dle ČSN EN ISO 11925-2 (Zkouška malým zdrojem plamene) jako třídy reakce na oheň B a C. Požadavky podle ČSN EN 13823+A1 (Zkouška jednotlivým hořícím předmětem) nejsou již tak náročné jako u výše uvedených tříd. Materiál musí mít pouze index rychlosti rozvoje požáru menší než 750 W/s [11].

• **Třída E** – Do této třídy řadíme hořlavé materiály, které značně přispívají k vývinu požáru. K celkovému vzplanutí dochází u těchto materiálů do 2 minut od počátku požáru. Příkladem materiálu je pěnový polystyren s přidavkem retardantů. Materiál z této třídy nesmí mít dle ČSN EN ISO 11925-2 (Zkouška malým zdrojem plamene) rychlost šíření plamene větší než 150 mm za 20 s [11].

• **Třída F** – Do poslední třídy reakce na oheň patří materiály, které nespĺnily požadavky dle ČSN EN ISO 11925-2 (Zkouška malým zdrojem plamene), nebo pro které nebyla zjištěna žádná data [11].

Blíže můžeme třídu reakce na oheň specifikovat pomocí doplňkových klasifikací, ve kterých sledujeme buď vývin kouře, nebo plamenně hořící kapky, případně oba jevy najednou [11, 12].

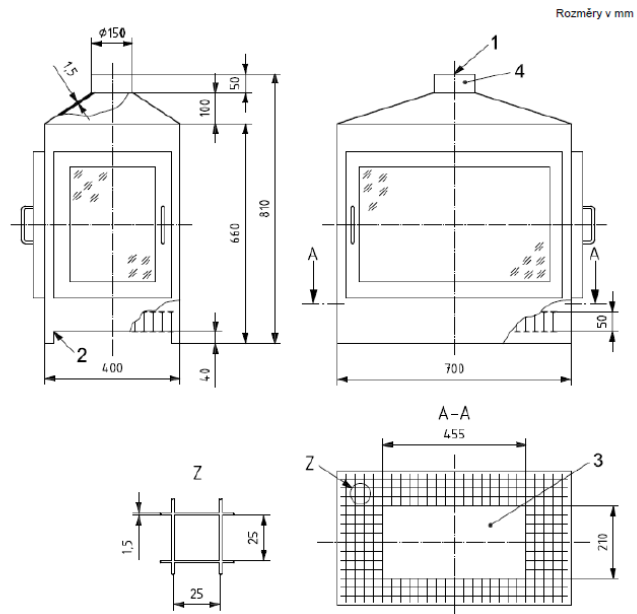
Doplňková klasifikace podle vývinu kouře sleduje množství a rychlost tvorby kouře v podmínkách požáru. Norma pak dělí materiál do tříd s1, s2 a s3, přičemž čím vyšší číslo, tím víc kouře [11].

Doplňková klasifikace podle plamenně hořící kapky se zaměřuje na plamenně hořící částice odpadávající během hoření ze vzorku. Podle množství hořících kapek, které mohou způsobit další šíření ohně, dělíme materiál do tříd d0, d1 a d2. Obecně lze říct, že čím vyšší číslo, tím více plamenně hořících kapek materiál vytváří [11].

### 3.2.1 Zkouška malým zdrojem plamene

Tato zkouška dle normy ČSN EN ISO 11925–2 patří mezi základní normy pro stanovení vlastností stavebních materiálů z pohledu reakce na oheň. Norma popisuje zkoušku zápalnosti a vznětlivosti materiálu přímým kontaktem malého plamene na svisle umístěný vzorek. Měří se šíření plamene po svislé straně vzorku, při působení plamene na hraně nebo ploše vzorku po dobu 15 s nebo 30 s. Celková doba pozorování je 20 s nebo 60 s. Využívá se jako základní zkouška u všech tříd reakce na oheň kromě A1, nebo v případech, kdy není známé složení materiálu a není jasný předpoklad očekávané třídy reakce na oheň [13].

Norma specifikuje požadavky pro zdárné provedení této zkušební metody. Zkušební komora vyrobená z plechů nerezové oceli s čelními prosklenými dveřmi pro pozorování a přístup do komory by měla být umístěna v částečně zatemněné místnosti, aby se dosáhlo lepšího pozorování malých plamenů na povrchu. Povolena rychlost proudění vzduchu v komínku komory je  $0,7 \pm 0,1$  m/s. Zdrojem zapálení je malý hořák, osazený jemným přesným ventilem pro přesnou regulaci výšky plamene, umožňující použití ve svislé poloze nebo pod úhlem  $45^\circ$  ke svislé straně vzorku. Je vyžadováno palivo o čistotě technického propanu minimálně 95 % a tlak v plynu musí být v rozmezí 10 až 50 kPa. Zkušební vzorek o rozměrech 250 mm × 90 mm musí být pevně umístěn v držáku po celou dobu trvání zkoušky. Měří se výška plamene od místa působení plamene po žlutou část špičky plamene a zároveň se zaznamenávají případné odpadávající hořící částice na filtrační papírek, umístěný v hliníkové misce pod zkušebním vzorkem. U hořících částic se posuzuje, zda dojde k zapálení filtračního papírku – jedná se o doplňkovou klasifikaci u některých tříd reakce na oheň [13].

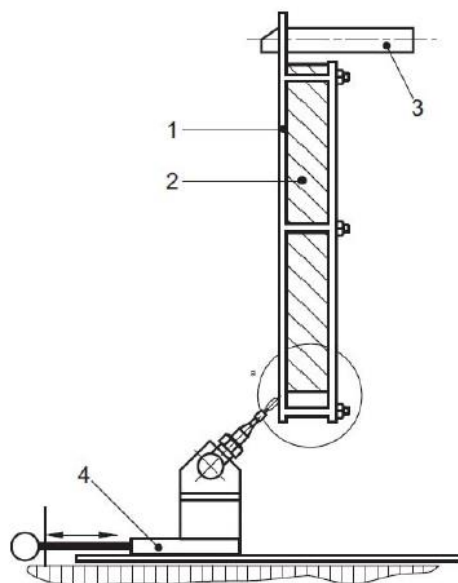


**Legenda**

- 1 místo měření proudění vzduchu
- 2 kovová mříž
- 3 vodorovná deska
- 4 komín

POZNÁMKA Všechny hodnoty jsou jmenovité hodnoty v mm, pokud není uvedena tolerance.

Obrázek 1: Zkušební komora pro zkoušku zápalnosti [13]



**Legenda**

- 1 držák zkušebního tělesa
- 2 zkušební těleso
- 3 podpěra
- 4 základna malého hořáku

POZNÁMKA Zobrazuje standardní vzorek na podpěře vzorku upevněný v držáku zkušebního tělesa v maximální tloušťce.

Obrázek 2: Zkušební zařízení pro zkoušku zápalnosti [13]



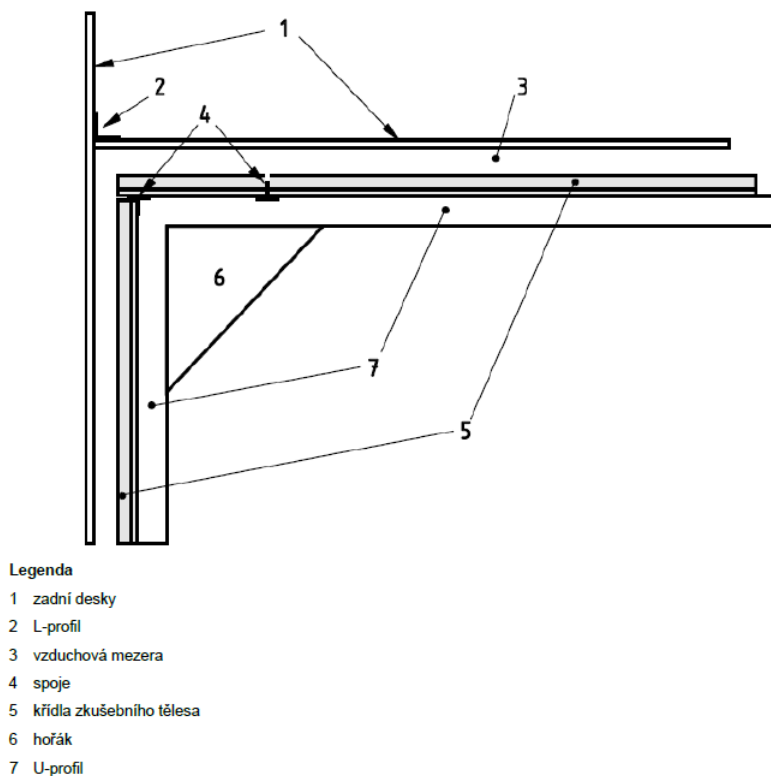
Na začátku samotné zkoušky se zkontroluje rychlost proudění vzduchu v komínku komory. Následně se vyjme šest zkušebních těles z klimatizovaného prostředí a během následujících 30 minut se zkouší. Zkušební těleso se upevní do držáku a pod něj se umístí hliníková miska se dvěma filtračními papírky. Následně se zapálí ve svislé poloze hořák, nastaví se výška plamene na 20 mm (pomocí normové měřky), hořák se skloní pod úhlem 45° a přisune se ke zkušebnímu tělesu. Jakmile se plamen dotkne zkušebního tělesa, zapnou se stopky a měří se 15 s nebo 30 s, dle požadavku zkoušky. Po skončení časového limitu se hořák plynulým pohybem oddálí. Po uplynutí 20 s nebo 60 s se ukončí zkouška co nejrychlejším uhašením vzorku [13].

Zkouška malým zdrojem plamene vyhodnocuje hned několik parametrů. Hodnotí se, zda došlo k tvorbě plamenného hoření, případně plamenně hořících částic nebo kapek, a následnému zapálení filtračního papíru. Dále se hodnotí, zda špička plamene dosáhla výšky 150 mm nad místem působení plamene a čas, za který k tomu došlo [13].

### 3.2.2 Zkouška jednotlivým hořícím předmětem

Reakcí na oheň stavebních výrobků kromě podlahových krytin vystavených tepelnému účinku jednotlivého hořícího předmětu se zabývá norma ČSN EN 13823+A1 (730881). Reakce na oheň se stanovuje vystavením tepelnému účinku jednotlivého hořícího předmětu (Single Burning Item – SBI). Tato zkouška slouží k vyhodnocení toho, jak jednotlivá zkušební tělesa přispívají k rozvoji požáru v případě, že se těleso vystavené účinkům hoření nachází v rohu místnosti. Principem je stanovení produkovaného kouře a tepla na základě stanovené spotřeby kyslíku během zkoušky. Zkoušky je často využíváno pro zkoušení skladeb systému ETICS [18].

Aby byla zkouška správně provedena, je třeba správně zařízená místnost a zkušební komora. Ta musí být tvořena stěnami z lehkého betonu nebo jiného materiálu klasifikovaného do třídy reakce na oheň A1 nebo A2. Další součástí komory jsou dvě protipožární okna kolmá k rovině vzorku, sloužící k pozorování průběhu zkoušky. Pro provedení zkoušky je nezbytný také zkušební vozík, na jehož dně se nachází primární pískový hořák, sekundární je vyveden na sloupek. V průběhu zkoušky musí být zajištěno odsávání kouře rychlostí 0,6 m<sup>3</sup>/s. Důležité měřicí přístroje jsou termočlánky, sondy pro odběr plynu na výstupu připojené na analyzátory měřící obsah kyslíku a oxidu uhličitého, tlakoměr měřící barometrický tlak vzduchu a vlhkoměr měřící relativní vlhkost vzduchu. Zkušební těleso má tvar písmene „L“. Je tvořené ze dvou křídel, vysokých 1,5 m, přičemž delší křídlo je široké 1,0 m a kratší 0,5 m. Tloušťka zkušebního tělesa je maximálně 0,2 m, přičemž se zkouší tři zkušební tělesa. Sběr hodnot musí probíhat po dobu trvání zkoušky [18].



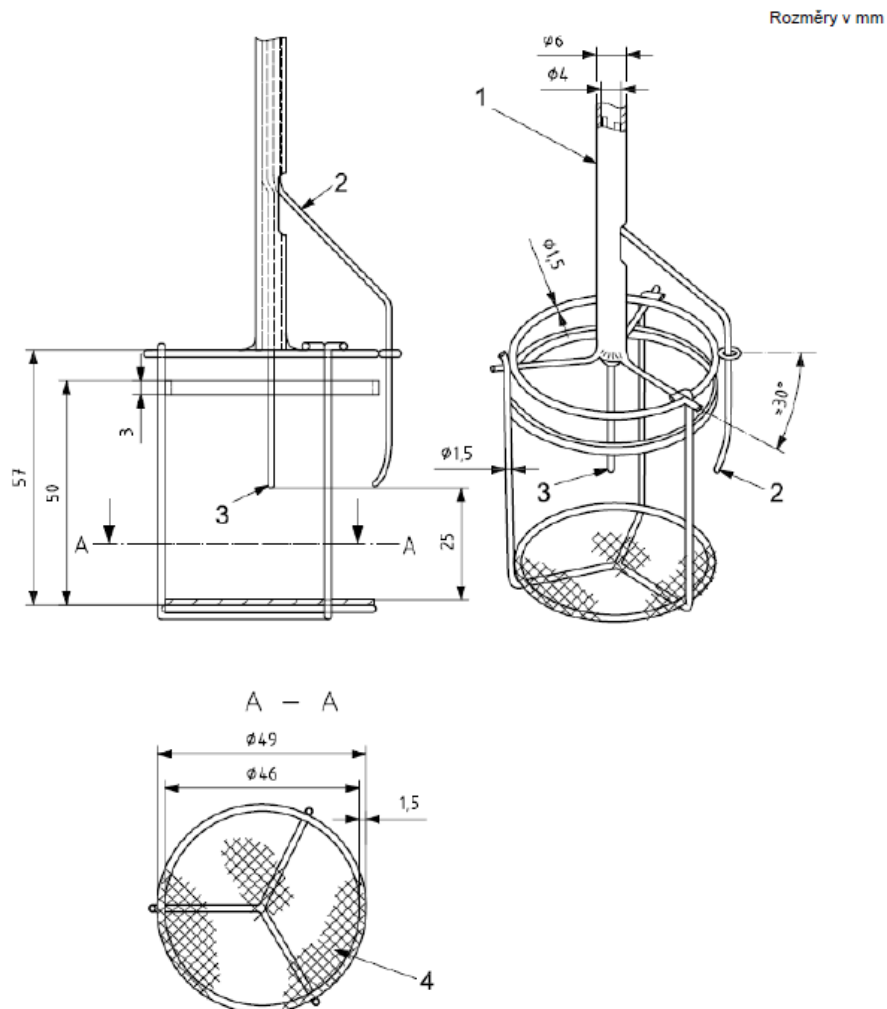
Obrázek 3: Zkušební vzorek pro SBI test [18]

Zkušební vzorek umístěný na plošině vozíku je zavezen do zkušební komory. Poté dojde ke kalibraci zařízení a k zapálení sekundárního hořáku. Následně se zapálí primární hořák s tepelným výkonem 30,7 kW a dochází k zaznamenávání měřených hodnot. Zkouška probíhá po dobu 20 minut a na zkušební těleso působí teplota až  $2\ 000 \pm 100$  °C. Pomocí soustavy čidel je měřena rychlost uvolňování tepla a rychlost produkce zplodin v průběhu hoření. Vizuálně se hodnotí boční šíření plamene ve výšce 0,5–1 m na povrchu delšího křídla. V průběhu celé zkoušky se hodnotí, zda nedošlo odpadávajícími částicemi k zastínění více jak poloviny oblasti primárního hořáku. Při překročení tohoto parametru se ukončuje zkouška a vzorek nevyhověl [18].

### 3.2.3 Zkouška nehořlavosti

Tato požární zkouška dle normy ČSN EN ISO 1182 se zabývá stanovením nehořlavosti u výrobků stejnorodých a podstatných složek výrobků nesterodných z důvodů obtížné specifikace zkušebních těles. A to u výrobků zcela inertních, nebo v případě, že nejsou zcela inertní, tak při působení teplot do 750 °C produkují jen velmi malé množství tepla a plamenů [19].

Zkušební zařízení musí sestávat z pece tvořené trubkou ze žáruvzdorného materiálu ovinutou topnou spirálou. Celá pec je uzavřena v izolačním obalu a nedílnou součástí je i kryt proti vlivu okolního proudění vzduchu. Důležitý je též držák zkušební tělesa, znázorněný na obr. 4. Ve vzdálenosti 10 mm od stěny pece a ve výšce geometrického středu trubky se nachází termoelektrický článek sloužící pro měření teploty v peci. Pro lepší pozorování průběhu zkoušky slouží zrcadlo, umístěné nad zkušebním zařízením. Součástí zkušebního zařízení je i stabilizátor napětí, regulační transformátor, přístroj pro kontrolu elektrického příkonu, regulátor výkonu či zařízení pro měření a záznam teploty. Zkušební těleso musí být odebráno z dostatečně velkého tělesa, přičemž na zkoušku je potřeba pět zkušebních těles. Jedno samotné zkušební těleso válcového tvaru o průměru 45 mm a výšce 50 mm musí mít objem  $76 \pm 8 \text{ cm}^3$  [19].



#### Legenda

- 1 trubka z korozivzdorné oceli
- 2 termoelektrický článek na povrchu zkušebního tělesa
- 3 termoelektrický článek ve středu zkušebního tělesa
- 4 síťka s oky o velikosti 0,9 mm a z drátu o průměru 0,4 mm

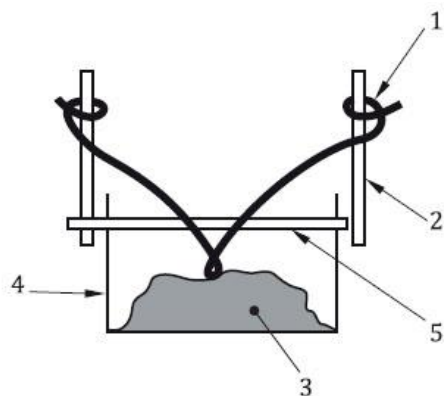
Obrázek 4: Držák zkušební tělesa [19]

Zkušební těleso se před zkouškou nejdříve 20–24 hodin suší a pak se chladí v exsikátoru. Následně se vloží do držáku zkušebního zařízení a poté do pece s ustálenou teplotou. Tento proces nesmí trvat déle než pět sekund. Zároveň se zapne časoběrné zařízení a dochází k automatickému zaznamenávání teplot pomocí termoelektrických článků. Samotná zkouška trvá 30 minut, pokud dojde za tento časový limit ke konečné teplotní rovnováze tím, že teplotní drift měřeného pecního termoelektrického článku nepřekročí 2 °C za 10 minut. V případě, že k ustálení po 30 minutách nedojde, zkouška pokračuje až do doby dosažení rovnováhy, případně se ukončí po 60 minutách od začátku zkoušky. Následně se těleso vyjme z pece, vloží se do exsikátoru a nechá se zchladnout. Poté se zbytky zkušebního tělesa zváží a stanoví se úbytek hmotnosti v procentech. Dále se stanoví celková doba trvalého plamenného hoření v sekundách a nárůst teploty ve °C [19].

### 3.2.4 Stanovení spalného tepla

Podstatou této metody dle ČSN EN ISO 1716 je měření tepla, které je uvolňováno při spalování zkušebního vzorku a pomocných spalovacích látek v kalorimetrické bombě kalorimetru [20].

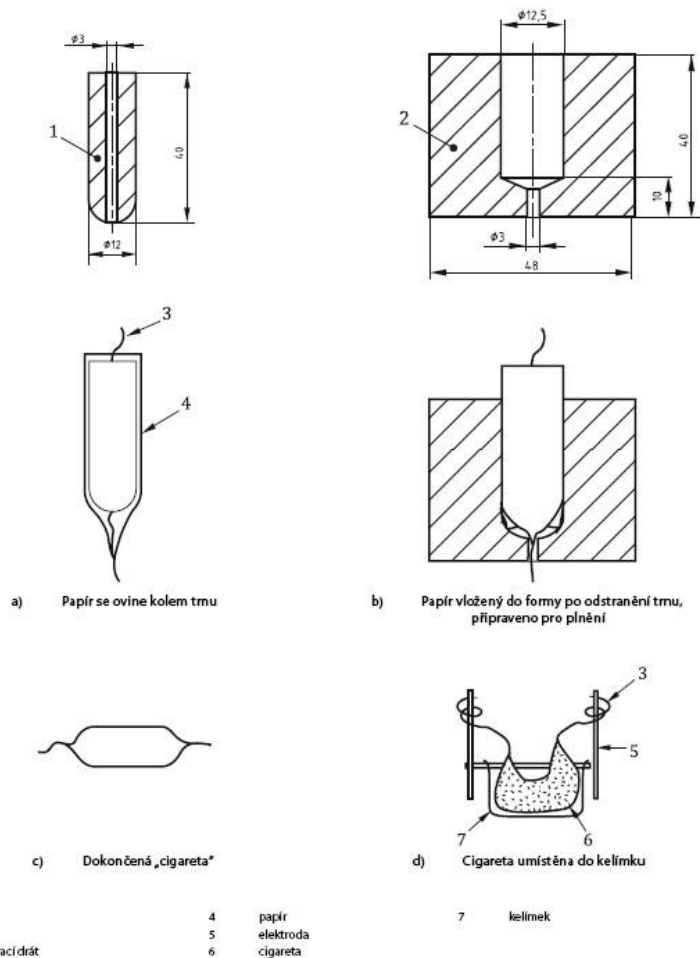
Pro provedení zkoušky je nezbytná tlaková nádoba, tzv. kalorimetrická bomba o maximální hmotnosti 3,25 kg a o objemu  $300 \pm 50$  ml, odolávající vnějšímu tlaku 1,2 MPa. Potřebné je též míchadlo s konstantní rychlostí. Povrch kalorimetrické nádoby je tvořen dvoustěnným pláštěm, tzv. termostatem naplněným vodou, zcela obklopující kalorimetr se vzdušnou mezerou mezi kalorimetrem a termostatem o tloušťce cca 10 mm. K měření teploty se mohou používat teploměry, termistory či alternativní měřicí sondy s přesností 0,001 K. Zdrojem zapálení je drát z čistého železa se zdrojem elektrického proudu maximálně 20 V. Dále jsou potřebné váhy pro přípravu vzorků, stopky, manometr měřící tlak v tlakové nádobě a činidla na podporu hoření, jako například parafín, kyselina benzoová a cigaretový papír. Vzorky se připravují dvojitým způsobem na základě zvolené metody, buď kelímkové nebo cigaretové znázorněné na obrázcích níže. Daná metoda se volí v závislosti na charakteru vzorku, jeho homogenitě a předpokladu hoření. Ideální vzorek musí být homogenní, s předpokladem snadného zapálení a dokonalého hoření. K tomu přispívá přebytek kyslíku, nacházející se v kalorimetrické bombě. Každá zkouška probíhá na třech vzorcích [20].



**Legenda**

- 1 zapalovací drát
- 2 elektrody
- 3 směs kyseliny benzoové a výrobku
- 4 kelímek
- 5 držák kelímku

Obrázek 5: Vzorek pro kelímkovou metodu [20]



Obrázek 6: Postup přípravy vzorku pro cigaretovou metodu [20]

Zvážený vzorek se umístí na spalovací kelímek, který je vložen do držáku a připojen k zapalovacímu drátu pomocí bavlněné nitě s přesně známou hodnotou spalného tepla. Následně se držák vloží do kalorimetrické bomby, která se uzavře víkem a nastaví se tlak plnění kyslíkem na 3,0 až 3,5 MPa. Poté se bomba vloží do kalorimetrické nádoby, do které se nalije destilovaná voda tak, aby hladina přesahovala horní povrch bomby. Nastaví se zařízení pro měření času a teploty, míchadlo a teplota vody v kalorimetrické nádobě se vyrovná s teplotou vody v plášti, přičemž až do vyrovnání teplot se každou minutu zaznamená teplota vody. Teplota po vyrovnání se označí jako  $T_i$  a poznamená se. Zapne se elektrický okruh, čímž dojde k hoření. Po dohoření se bomba vyjme z kalorimetru a nechá se 10 minut zchladnout. Výsledkem zkoušky je množství uvolněného spalného tepla, které se získá dle vztahu [20]:

$$QPCS = \frac{(T_m - T_i + C) - b}{m}$$

QPCS ... spalné teplo [MJ/kg],

E ... vodní hodnota kalorimetru [KJ/K],

$T_i$  ... počáteční teplota [K],

$T_m$  ... maximální teplota [K],

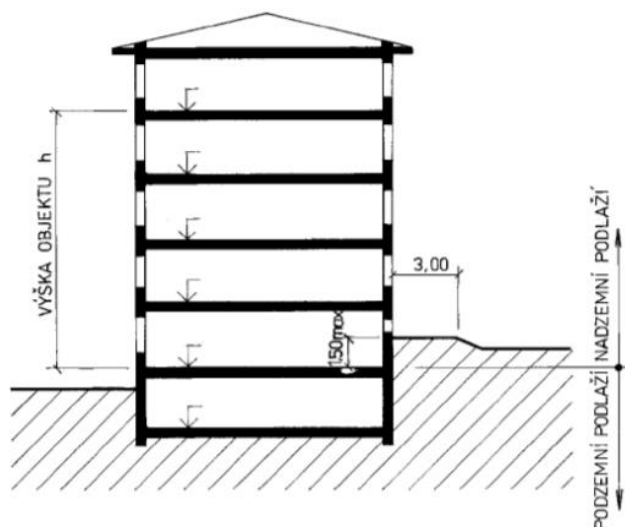
B ... tepelný obsah paliva [MJ],

c ... opravný součinitel teploty [K],

m ... hmotnost zkušební vzorku [kg]

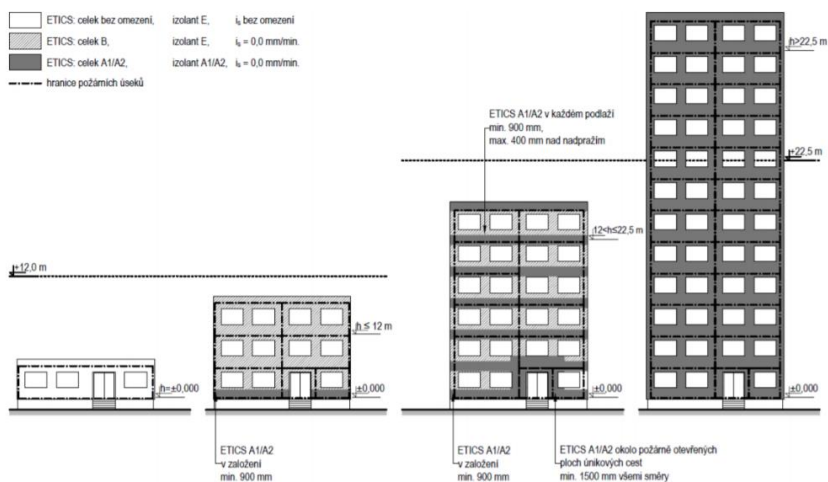
### 3.3 POŽÁRNÍ BEZPEČNOST PRO OBJEKTY S VNĚJŠÍ ZATEPLOVACÍ SOUSTAVOU

Jak již bylo zmíněno, požadavky na požární bezpečnost se liší s požární výškou objektu. Ta se měří od podlahy prvního nadzemního podlaží k podlaze posledního užitného nadzemního, popř. podzemního podlaží [12, 14].



Obrázek 7: Požární výška objektu [17]

Vnější zateplovací systém u jednopodlažních objektů musí být vyroben z materiálu třídy reakce na oheň nejhůře E, přičemž fasáda je uvažována jako zcela otevřená plocha. [14]



Obrázek 8: Čtyři výškové kategorie a jejich základní požadavky na zateplení ETICS [17]

Vícepodlažní objekty s požární výškou do 12 m musí být zatepleny tepelným izolantem s třídou reakce na oheň nejhůře E. Tepelný systém jako celek musí mít třídu reakce na oheň nejhůře B a musí být kontaktně spojen se zateplovací konstrukcí při maximální mezeře 10 mm [14].

Zateplovací systém objektu s požární výškou vyšší než 12 m a zároveň nižší než 22,5 m musí jako celek vykazovat třídu reakce na oheň nejhůře B, samotný tepelný izolant pak třídu reakce na oheň nejhůře E. Jednotlivá podlaží musí být oddělena požárním pruhem (třídy reakce na oheň A1 nebo A2) výšky minimálně 900 mm. U nekontaktních zateplovacích systémů musí mít konstrukce třídu reakce na oheň A1 nebo A2 [14].

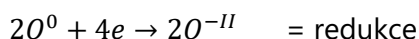
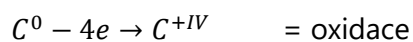
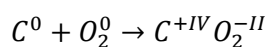
Pro objekt s požární výškou vyšší než 22,5 m musí být použity materiály a konstrukce s třídou reakce na oheň nejhůře A1 nebo A2 [14].

Co se týče zateplení objektu pod úrovní terénu, je potřeba použít materiál s třídou reakce na oheň nejhůře E [14].

## 4 PRINCIP HOŘENÍ

Hoření je fyzikálně chemický děj, při kterém dochází k exotermní reakci hořlavých a nesnadno hořlavých látek s oxidačním prostředkem (kyslíkem). Během této reakce dochází k rozkladným reakcím, a to za vzniku tepla, světla v podobě plamene a ke vzniku zplodin v podobě kouře. Aby mohlo hoření vůbec vzniknout, musí být splněny tři základní předpoklady. Musí být přítomna hořlavá látka (hořlavina), a oxidační prostředek (nejčastěji kyslík), jež spolu vytvářejí hořlavou směs. Dále je potřebný vhodný tepelný stav látky za přítomnosti iniciátoru (zdroj zapálení). Pokud dojde k absenci alespoň jedné podmínky, hoření nevznikne, případně již probíhající hoření zanikne. [21]

Pochopení principu hoření nám usnadní též chemická rovnice popisující zánik a tvorbu nových vazeb mezi atomy. Během reakce dochází současně k oxidaci i redukci. Při oxidaci dochází u částic k odevzdání elektronů, při redukci naopak k přijímání elektronů [21, 22].



Hoření můžeme podle rozdílných podmínek rozdělit na tři typy. Prvním typem je hoření dokonalé. Jedná se o dokonalou chemickou reakci, při které nevznikají žádné zplodiny schopné dalšího hoření. Důležitá je přítomnost dostatečného množství vzduchu – kyslíku. Dalším typem hoření je hoření nedokonalé. Při tomto typu vznikají zplodiny schopné dalšího hoření a je zde nedostatečná přítomnost vzduchu během hoření. Názorným příkladem nedokonalého hoření je každý požár. Základním rozdílem



mezi hořením dokonalým a nedokonalým je, že při hoření dokonalém vzniká oxid uhličitý, kdežto při nedokonalém oxid uhelnatý. Posledním typem je hoření explozivní, kde hoření probíhá formou výbuchu. Dochází k rychlé fyzikálně chemické reakci, při které se během okamžiku uvolní velké množství energie. Podle rychlosti šíření explozivního hoření můžeme toto hoření dělit dále na explozivní (když nepřevyšuje rychlost zvuku) a detonaci. V případě detonace dochází k šíření hoření rychlostí vyšší, než je rychlost zvuku. Zároveň velikost tlakové vlny při detonaci dosahuje až dvojnásobně vyššího tlaku než při explozivním hoření [21].

Speciálním druhem hoření je samovznícení, což je děj, při kterém dochází ke vzplanutí samozahříváním hořlavé látky. Samovznícení můžeme podle děje, který se podílí na zvyšování teploty, dělit na tři typy. Prvním typem je samovznícení fyzikální. Jedná se o nejčastější typ, při kterém dochází k pohlcování plynů a páry prostřednictvím povrchu uhlíku, čímž vzniká teplo. To se postupně navyšuje, až dojde ke samovznícení. Dalším typem je samovznícení chemické. Zde dochází k reakci dvou nebo více chemických látek za vzniku tepla. Posledním typem je samovznícení biologické, jehož podstatou je činnost mikroorganismů, která vede k zahřívání materiálu. Jedná se tedy o samovznícení vyskytující se u rostlinných materiálů, tudíž i u tepelně izolačních materiálů z organických vláken. Při teplotě okolo 70 °C začínají mikroorganismy odumírat, teplota je však již dostatečná pro rozklad některých jednodušších rostlinných látek, čímž vzniká uhlík. Ten pak dále oxiduje, tím zvyšuje teplotu látky a dochází ke samovznícení [21].

Přírodní vlákna, využívaná pro výrobu tepelně izolačních materiálů, jsou tvořena převážně celulózu. Při zahřívání celulózových vláken dochází při teplotě okolo 350 °C k rozkladu celulózy. Zároveň dochází k nevratným změnám za vzniku hořlavých těkavých látek (např. alkoholy, aldehydy a alkany), které při přítomnosti kyslíku během spalování oxidují na oxid uhličitý a vodní páru. Dále vznikají hořlavé plyny (např. oxid uhelnatý, metan) a samotný oxid uhličitý s párou. Vysoký obsah celulózy má tendenci zvyšovat hořlavost vlákna [23].

Co se týče tepelného rozkladu polyesterů, jedná se o složitý proces, který probíhá v závislosti na daném materiálu a podmínkách hoření. Polyesterová vlákna se vznítí při teplotě okolo 480 °C, rychle hoří a po odstranění plamene mohou hořet i nadále. Vlákna se mohou vlivem plamene smrštit, roztavit, kapat a zanechávat tvrdou plastovou skořápku. Spálením těchto látek vznikne černý kouř a nebezpečné výpary [23].

## II. PRAKTICKÁ ČÁST

### 5 CÍL PRÁCE

Práce se zabývá možnostmi návrhu a modifikace vlastností vláknitých tepelných a akustických izolantů na bázi organických vláken, a to zejména z pohledu reakce těchto izolantů na oheň. V rámci teoretické části byla provedena rešerše v oblasti reakce izolantů na oheň.

Cílem je definovat parametry ovlivňující reakci na oheň u izolantů složených především z čistých (chemicky neupravených) vláken různého typu, jako je například typ vlákna, jeho délka, orientace vláken v izolantu, objemová hmotnost izolantu, tloušťka izolantu atd. Případně navrhnout, na základě zjištěných výsledků, modifikaci těchto izolantů pro zlepšení reakce na oheň.

### 6 METODIKA PRÁCE

Na základě vypracované literární rešerše byly vybrány vhodné vzorky vláknitých izolačních materiálů od firmy RETEX na bázi PES vláken, které se od sebe lišily druhem vláken, tloušťkou vláken, celkovou tloušťkou a objemovou hmotností izolantů.

Ve všech případech se jednalo o vláknité izolace vyrobené z druhotných vláken metodou termického pojení s podílem 10–15 % pojivových bikomponentních vláken.

Experimenty v práci byly zaměřeny především na stanovení základních popisných znaků izolantů:

- Vlastnosti vláken:
  - typ,
  - tloušťka,
  - délka,
  - případná úprava vlákna,
- vlastnosti izolantu,
  - složení:
    - použité typy vláken,
    - jejich vzájemné poměry,
    - množství pojivových vláken,
  - orientace vláken,
  - vlastnosti povrchu,
  - objemová hmotnost,
  - tloušťka.

A vlivu těchto znaků na výslednou reakci na oheň.

## 6.1 ZKUŠEBNÍ VZORKY

Pro praktickou část bakalářské práce byly zvoleny vzorky vláknitých izolačních materiálů od firmy RETEX. Jedná se vždy o materiály vyrobené z druhotných surovin na bázi PES vláken metodou termického pojení pomocí bikomponentních vláken. Množství bikomponentních pojivových vláken je v rozmezí 10–15 %. Vzorky se liší nejenom množstvím bikomponentních vláken, ale i rozdílem přídatných vláken (Tabulka 1).

Vzorky obsahují celkem 4 typy druhotných PES vláken:

1. PES 1 vlákna – recyklovaná tenká vlákna pocházející z automobilového průmyslu vyšší kvality,
2. PES 2 vlákna – recyklovaná tenká vlákna pocházející z automobilového průmyslu nižší kvality,
3. Drcené PES okraje technických koberců pro automotive,
4. Trhané PES okraje technických koberců pro automotive.

Pro zjištění rozdílného chování materiálů na reakci na oheň bylo vybráno 22 vzorků rozdílného složení, odlišné tloušťky a objemové hmotnosti. Zkoušky se na daných vzorcích prováděly vždy na měkké a tvrdé straně.



Obrázek 9: PES 1 vlákna



Obrázek 10: PES 2 vlákna



Obrázek 12: Drcené PES okraje



Obrázek 11: Trhané PES okraje

Tabulka 1: Základní vlastnosti zkušebních vzorků

Vzorek	Barva	Složení vzorku – obsah vláken [% hm.]					Tloušťka vzorku výrobní [mm]	Objemová hmotnost výrobní [kg/m <sup>3</sup> ]
		Pojivové vlákno	Drcené PES okraje	PES 1	PES 2	Trhané PES okraje		
1	černá	10	70	-	-	20	20	100
2	černá	10	70	-	-	20	30	100
3	černá	10	70	-	-	20	40	100
4	šedá/černá	15	-	85	-	-	35	30
5	šedá/černá	15	-	85	-	-	20	35
6	šedá/černá	15	-	85	-	-	25	35
7	šedá/černá	15	-	85	-	-	30	36
8	šedá/černá	15	-	85	-	-	35	35
9	šedá/černá	15	-	85	-	-	40	35
10	šedá/černá	15	-	85	-	-	50	35
11	šedá/černá	15	-	85	-	-	60	35
12	šedá	10	-	-	90	-	10	70
13	šedá	10	-	-	90	-	15	70
14	šedá	10	-	-	90	-	20	70
15	šedá	10	-	-	90	-	25	70
16	šedá	10	-	-	90	-	100	26
17	šedá	10	-	-	90	-	40	26
18	šedá	10	-	-	90	-	100	50
19	šedá	10	-	-	90	-	30	50
20	šedá	10	-	-	90	-	50	50
21	šedá	10	-	-	90	-	140	26
22	šedá	10	-	-	90	-	75	26

## 6.2 METODIKA PROVEDENÝCH EXPERIMENTŮ A MĚŘENÍ

V rámci experimentální práce byly provedeny následující zkoušky:

- stanovení reakce na oheň izolantů,
- stanovení tloušťky izolantů,
- stanovení objemové hmotnosti izolantů,
- stanovení tloušťky vláken,
- stanovení orientace vláken,
- stanovení homogenity izolantů,
- stanovení struktury izolantů.

### 6.2.1 Stanovení struktury vzorků

K určení struktury vzorků bylo využito subjektivního zhodnocení, kdy se posuzovalo, zda se jedná o strukturu vločkovitou či vláknitou. Aby bylo možné posoudit vliv struktury vzorků na reakci na oheň, určila se stupnice v rozmezí 0–10, kdy 0 odpovídá struktuře vločkovité a 10 odpovídá struktuře vláknité.

### 6.2.2 Stanovení homogenity vzorků

Homogenita se obdobně jako struktura určovala subjektivním hodnocením k získání dalšího posuzovacího kritéria. Sledovala se míra rovnoměrného rozmělnění vláken. Stanovila se opět stupnice v rozmezí 0–10, kdy 0 znamená homogenní materiál a 10 nehomogenní materiál.

### 6.2.3 Stanovení tloušťky vláken

Stanovení tloušťky vláken bylo provedeno komparační metodou pomocí optického mikroskopu pro doplnění informací o mikrostruktuře izolantů a určení vlivu tohoto parametru na výslednou reakci na oheň.

Na podložní sklíčko bylo pomocí pinzety položeno malé množství vláken. Ta byla následně zakápnuta destilovanou vodou a přikryta krycím sklíčkem. Takto připravený vzorek byl vložen do mikroskopu a stanovovala se tloušťka vláken. Tloušťka se měřila vždy ve 20 různých bodech a pro získání výsledné tloušťky byly hodnoty zprůměrovány.

Pro stanovení tloušťky vláken byl použit univerzální mikroskop pro pozorování v procházejícím a odraženém světle – Leica DM4000 M LED, podložní sklíčko, krycí sklíčko, pinzeta a stříčka s destilovanou vodou

### 6.2.4 Stanovení orientace vláken

Orientace vláken se určovala na příčném řezu izolace rovnoběžném s plochou desky izolace. Zhruba jeden centimetr od okraje izolace se přiložil úhloměr a provedlo se odečtení úhlu vybraných vláken na pěti místech.

### 6.2.5 Stanovení tloušťky vzorků

Tloušťka vzorků se určovala v souladu s normou ČSN EN 823. Na vzorek položený na základové desce se přiloží přitlačná deska, působící na zkušební vzorek tlakem  $(50 \pm 1,5)$  Pa nebo  $(250 \pm 5)$  Pa a odečet tloušťky se provede na číselníkovém úchylkoměru [24].

Tloušťka vzorků se stanovovala pomocí měřicí přístroje vybaveného úchylkoměrem a pravouhlou přitlačnou deskou [24].

### 6.2.6 Stanovení objemové hmotnosti vzorků

Objemová hmotnost se stanovuje dle normy ČSN EN 1602, Tepelně izolační výrobky – Stanovení objemové hmotnosti. Prvně byly změřeny lineární rozměry v souladu s normou ČSN EN 822 [25] a ČSN EN 823 [24]. Objemová hmotnost se určí dle vztahu [26]:

$$\rho = \frac{m}{V} [kg/m^3]$$

$\rho$  ... objemová hmotnost vzorku  $[kg/m^3]$

$m$  ... hmotnost zkušební vzorku  $[kg]$

$V$  ... objem zkušební vzorku  $[m^3]$

Pro stanovení objemové hmotnosti byly využity váhy s přesností 0,5 % a měřicí zařízení pro stanovení lineárních rozměrů [25].

### 6.2.7 Zkouška malým plamenem

Zkouška se provádí dle normy ČSN EN ISO 11925–2. Do držáku se upevnil zkušební vzorek a následně byl držák připevněn k podpoře na stojanu v klimatizační komoře. Nezapálený kahan se posunul ke vzorku, aby bylo možné nastavit vzdálenost a zaaretovat ji. Poté se kahan oddálil od vzorku, zapálil se, výška plamene se upravila na požadovanou výšku 20 mm a kahan se sklonil pod úhlem 45°. Zavřela se dvířka klimatizační komory a kahan se posunul směrem ke vzorku tak, aby se špička plamene dotýkala spodní hrany zkušební vzorku. Jakmile došlo ke styku plamene se vzorkem, byly spuštěny stopky a měřilo se 60 sekund. V průběhu zkoušky se sledovalo, zda došlo k zapálení vzorku, zda výška špičky dosáhla výšky 150 mm, případně se zaznamenal čas při překročení této výšky a zaznamenala se maximální dosažená výška špičky plamene. Dále se sledovalo, zda došlo k zapálení filtračního papírku vlivem plamenně hořících částic odpařujících z hořícího zkušební tělesa [13].

Pro zkoušku byla třeba klimatizační komora, zařízení pro měření rychlosti odtahu v komoře, stojan na uchycení přípravku, zdroj plamene (plynový hořák), kalibr pro nastavení správné výšky plamene, kalibr pro nastavení vzdálenosti kahanu od vzorku, miska s filtračním papírkem, stopky, váhy a přípravek na uchycení vzorku s pravítkem [13].

## 7 PROVEDENÍ A VÝSLEDKY ZKOUŠEK

### 7.1 STANOVENÍ STRUKTURY VZORKŮ

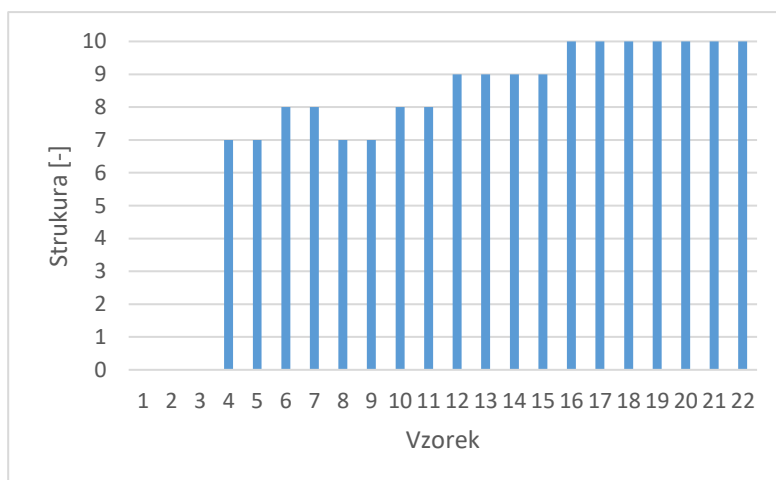
Struktura se určovala dle zvoleného kritéria, kdy na stupnici 0–10 odpovídá 0 struktuře vložkovité a 10 struktuře vláknité. Určené hodnoty jsou uvedené v následující tabulce.

Tabulka 2: Stanovená struktura

Vzorek	Struktura
1	0
2	0
3	0
4	7
5	7
6	8
7	8
8	7
9	7
10	8
11	8
12	9
13	9
14	9
15	9
16	10
17	10
18	10
19	10
20	10
21	10
22	10



Obrázek 13: Ukázka vložkovité struktury – vzorek 2



Graf 1: Stanovená struktura vzorků

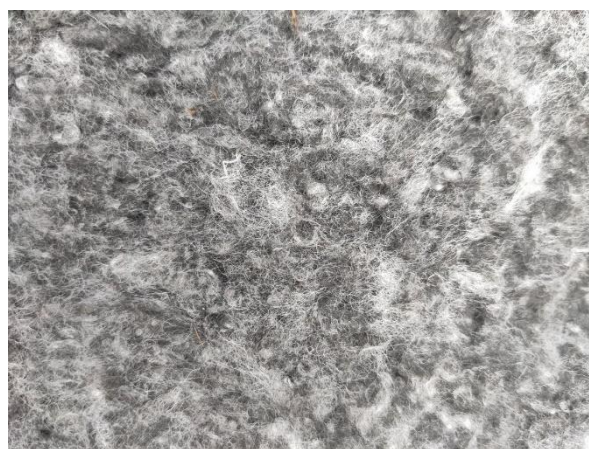
Pomocí stanovení struktury bylo určeno, že vzorky č. 1–3 mají strukturu vločkovitou, kdežto ostatní vzorky mají strukturu spíše vláknitou.

## 7.2 STANOVENÍ HOMOGENITY VZORKŮ

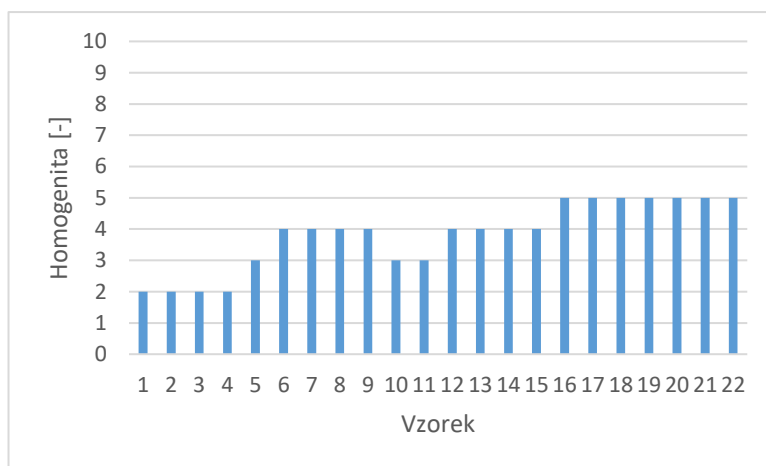
Homogenita se stanovovala obdobně jako struktura, kdy bylo subjektivním pohledem na vzorek určeno, zda se jedná o materiál homogenní (10), nebo nehomogenní (0).

Tabulka 3: Stanovená homogenita

Vzorek	Homogenita
1	2
2	2
3	2
4	2
5	3
6	4
7	4
8	4
9	4
10	3
11	3
12	4
13	4
14	4
15	4
16	5
17	5
18	5
19	5
20	5
21	5
22	5



Obrázek 14: Vzorek 20



Graf 2: Stanovená homogenita vzorků

Strukturu vzorků bylo těžké definovat krajními body, neboť jak je patrné na obrázku 10, přestože se jednalo mezi vzorky o vzorek s nejlépe rozptýlenými vlákny bez shluků, nelze ho definovat jako absolutně homogenní. Pro srovnání lze nahlédnout k předchozí zkoušce na obrázek 9, kde se nachází vzorek nehomogenní, což lze přisuzovat jeho vločkovité struktuře.

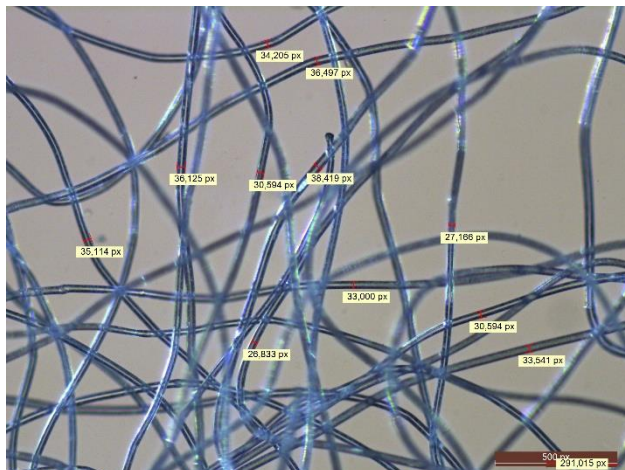


### 7.3 STANOVENÍ TLOUŠŤKY VLÁKEN

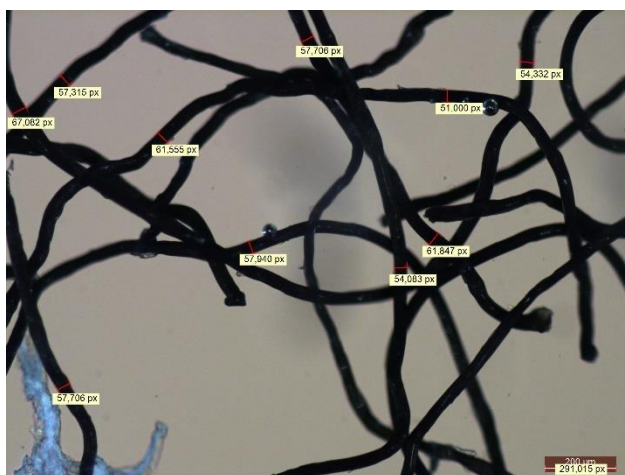
Tloušťka vláken se určovala pomocí optického mikroskopu Leica DM4000 M LED umožňujícího pozorování jak v odraženém, tak i prošlém světle. Šířka vláken byla naměřena v pixelech při zvětšení 50×, následně byla zprůměrována a převedena na skutečnou velikost. Průměr byl zhotoven z 20 hodnot a pro přepočet byla použita závislost: 1 px = 0,68448 μm.

Tabulka 4: Stanovená tloušťka vzorků

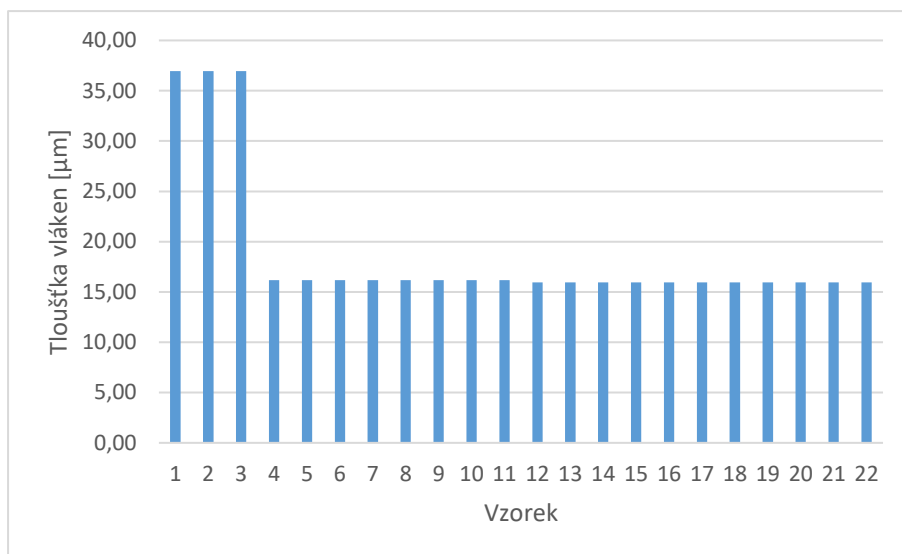
Vzorek	Průměrná tloušťka vláken [μm]
1	36,96
2	36,96
3	36,96
4	16,19
5	16,19
6	16,19
7	16,19
8	16,19
9	16,19
10	16,19
11	16,19
12	15,96
13	15,96
14	15,96
15	15,96
16	15,96
17	15,96
18	15,96
19	15,96
20	15,96
21	15,96
22	15,96



Obrázek 15: Pojivové vlákno – zvětšeno 50×



Obrázek 16: Drcené PES okraje – zvětšeno 50×



Graf 3: Stanovená tloušťka vláken

Z tabulky 4 je patrné, že má většina vzorků obdobnou tloušťku vláken. Je to zapříčiněno složením, kdy vzorky 1–3 obsahují drcené PES okraje, které mají výrazně větší tloušťku. Porovnání těchto vláken s vlákny pojivovými je vidět na obrázcích 11 a 12.

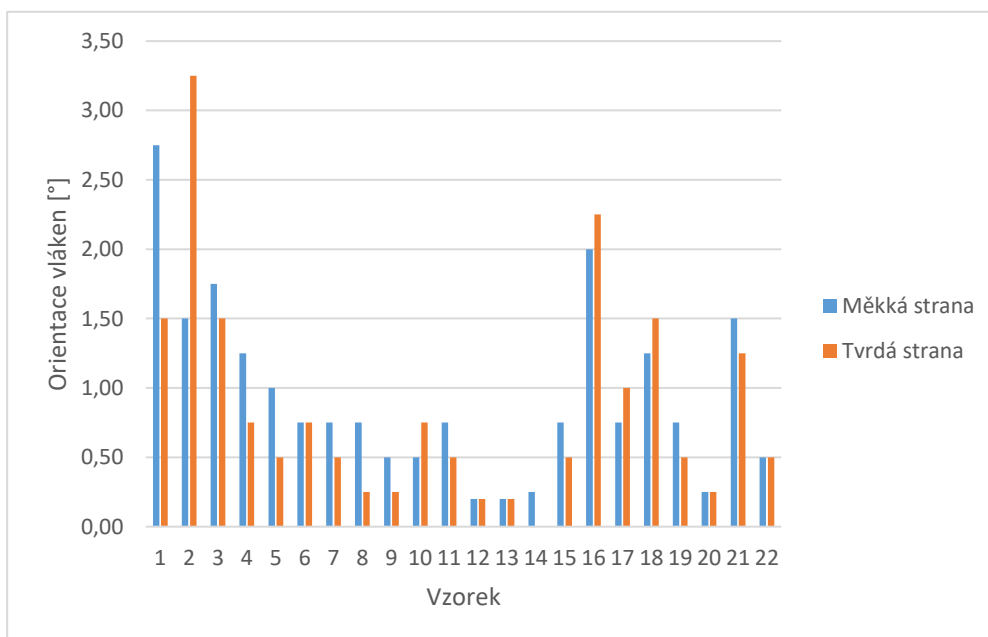
## 7.4 STANOVENÍ ORIENTACE VLÁKEN

Orientace vláken byla stanovena za pomoci úhlooměru, kdy bylo na řezu zvoleno 5 vláken, u nichž se určil úhel odklonu od rovného povrchu izolace. Určovala se vždy orientace jak ze strany měkké, tak ze strany tvrdé. Výsledek uvedený v tabulce vznikl průměrem 5 hodnot.

Tabulka 5: Stanovená orientace vláken

Vzorek	Strana	Orientace vláken [°]
1	měkká	2,75
2	měkká	1,50
3	měkká	1,75
4	měkká	1,25
5	měkká	1,00
6	měkká	0,75
7	měkká	0,75
8	měkká	0,75
9	měkká	0,50
10	měkká	0,50
11	měkká	0,75
12	měkká	0,25
13	měkká	0,25
14	měkká	0,25
15	měkká	0,75
16	měkká	2,00
17	měkká	0,75
18	měkká	1,25
19	měkká	0,75
20	měkká	0,25
21	měkká	1,50
22	měkká	0,50

Vzorek	Strana	Orientace vláken [°]
1	tvrdá	1,50
2	tvrdá	3,25
3	tvrdá	1,50
4	tvrdá	0,75
5	tvrdá	0,50
6	tvrdá	0,75
7	tvrdá	0,50
8	tvrdá	0,25
9	tvrdá	0,25
10	tvrdá	0,75
11	tvrdá	0,50
12	tvrdá	0,25
13	tvrdá	0,25
14	tvrdá	0,00
15	tvrdá	0,5
16	tvrdá	2,25
17	tvrdá	1,00
18	tvrdá	1,50
19	tvrdá	0,50
20	tvrdá	0,25
21	tvrdá	1,25
22	tvrdá	0,50



Graf 4: Stanovená orientace vláken

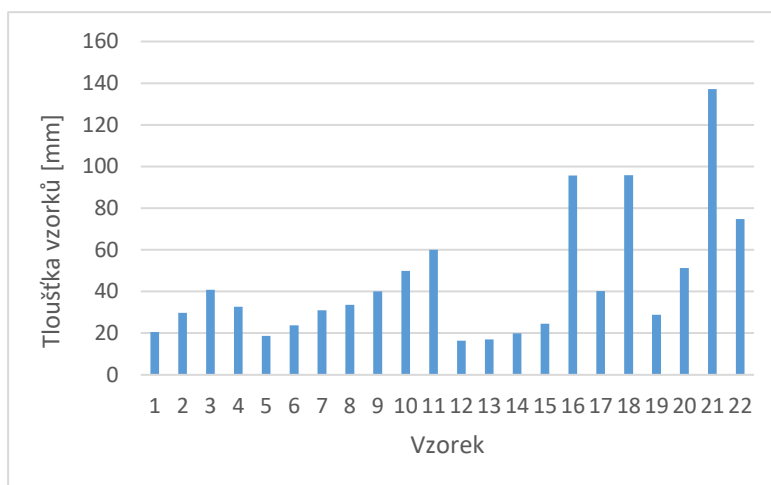
Orientace vláken byla u všech vzorků velice podobná. Výrazně větší odklon vláken lze sledovat pouze u prvních vzorků, což je zapříčiněno jejich vložkovitou strukturou.

## 7.5 STANOVENÍ TLOUŠŤKY VZORKŮ

Tloušťka vzorků se stanovovala v souladu s metodikou již dříve zmiňovanou. Výsledná hodnota je vždy průměrem dvou měření.

Tabulka 6: Stanovená tloušťka vzorků

Vzorek	Tloušťka vzorku [mm]
1	20,55
2	29,74
3	40,80
4	32,60
5	18,70
6	23,71
7	30,96
8	33,61
9	39,99
10	49,87
11	60,00
12	16,31
13	16,99
14	19,89
15	24,54
16	95,71
17	40,23
18	95,78
19	28,89
20	51,34
21	137,20
22	74,85



Graf 5: Stanovená tloušťka vzorků

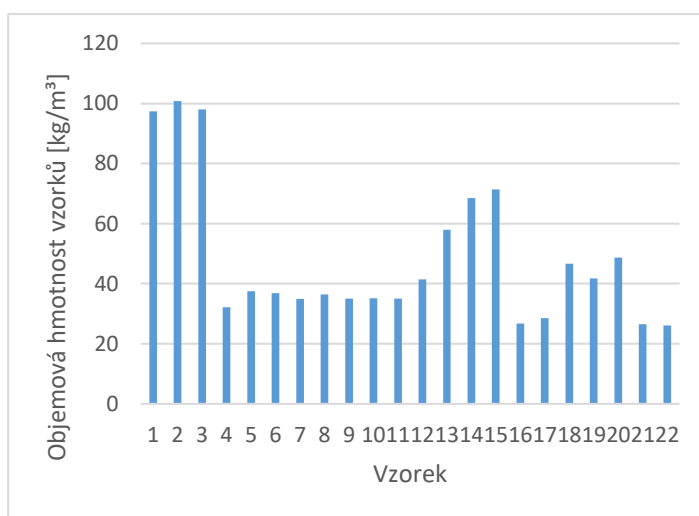
Účelem zkoušky bylo určení reálné tloušťky vzorků, která se odlišovala od stanovené výrobní tloušťky vzorků. Největší tloušťku 137,20 mm má vzorek 21, naopak vzorek 12 má tloušťku nejmenší, a to 16,31 mm.

## 7.6 STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI VZORKŮ

Objemová hmotnost se vyhodnocovala v souladu s normou ČSN EN 1602 v laboratorních podmínkách za teploty 23 °C a relativní vlhkosti 50 % [26].

Tabulka 7: Stanovená objemová hmotnost vzorků

Vzorek	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
1	97,40
2	100,85
3	98,05
4	32,20
5	37,45
6	36,90
7	34,90
8	36,45
9	35,00
10	35,10
11	35,00
12	41,39
13	57,91
14	68,56
15	71,35
16	26,70
17	28,57
18	46,71
19	41,76
20	48,70
21	26,50
22	26,10



Graf 6: Stanovená objemová hmotnost vzorků

Nejvyšší objemové hmotnosti 100,85 kg/m<sup>3</sup> dosáhl vzorek 2, obdobných hodnot dosáhly i vzorky 1 a 3, které mají stejné složení. Nejnižší objemovou hmotnost má vzorek 22, a to 26,10 kg/m<sup>3</sup>.

## 7.7 ZKOUŠKA MALÝM PLAMENEM

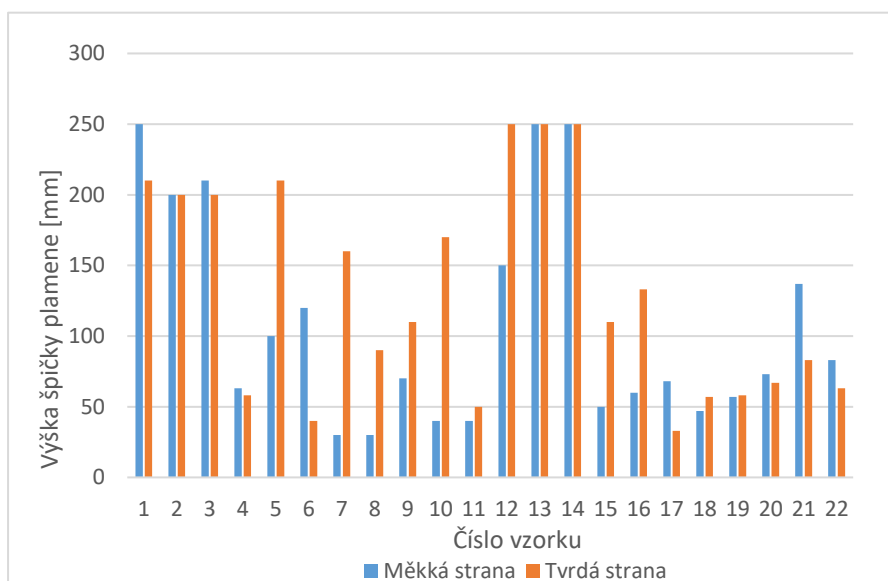
Pomocí zkoušky malým plamenem se sledovala reakce na oheň tepelně izolačních materiálů od firmy RETEX na bázi PES vláken. Zkouška byla provedena v souladu s normou ČSN EN ISO 11925–2. V rámci zkoušky se pozorovalo, zda došlo během 30 sekund k zapálení vzorku a zda špička plamene dosáhla výšky 150 mm, případně v jakém čase k tomu došlo a jaká byla maximální výška špičky plamene. Dále se sledovalo, zda vznikaly plamenně hořící částice či kapky, díky čemuž by došlo k zapálení filtračního papíru.

Tabulka 8: Výsledky zkoušky malým plamenem – měkká strana vzorků

Vzorek	Strana	Výška špičky plamene [mm]	Čas [s] dosažení plamene do vzdálenosti 150 mm nad působením malého hořáku	Zapálení filtračního papíru (ano–ne)
1	měkká	250	19,3	ANO
2	měkká	200	23,2	ANO
3	měkká	210	19,5	ANO
4	měkká	63	-	NE
5	měkká	100	-	NE
6	měkká	120	-	NE
7	měkká	30	-	NE
8	měkká	30	-	NE
9	měkká	70	-	NE
10	měkká	40	-	NE
11	měkká	40	-	NE
12	měkká	150	16,5	NE
13	měkká	250	17,3	ANO
14	měkká	250	51,3	ANO
15	měkká	50	-	NE
16	měkká	60	-	NE
17	měkká	68	-	NE
18	měkká	47	-	NE
19	měkká	57	-	NE
20	měkká	73	-	NE
21	měkká	137	10	NE
22	měkká	83	-	NE

Tabulka 9: Výsledky zkoušky malým plamenem – tvrdá strana vzorků

Vzorek	Strana	Výška špičky plamene [mm]	Čas [s] dosažení plamene do vzdálenosti 150 mm nad působením malého hořáku	Zapálení filtračního papíru (ano–ne)
1	tvrdá	210	15,5	ANO
2	tvrdá	200	19,3	ANO
3	tvrdá	200	23,4	ANO
4	tvrdá	58	-	NE
5	tvrdá	210	19,4	ANO
6	tvrdá	40	-	NE
7	tvrdá	160	15,1	NE
8	tvrdá	90	-	NE
9	tvrdá	110	-	NE
10	tvrdá	170	15,5	NE
11	tvrdá	50	-	NE
12	tvrdá	250	10,4	ANO
13	tvrdá	250	12,2	ANO
14	tvrdá	250	38,5	ANO
15	tvrdá	110	-	NE
16	tvrdá	133	7,2	NE
17	tvrdá	33	-	NE
18	tvrdá	57	-	NE
19	tvrdá	58	-	NE
20	tvrdá	67	-	NE
21	tvrdá	83	-	NE
22	tvrdá	63	-	NE



Graf 7: Výsledné naměřené hodnoty výšky špičky plamene



Obrázek 15: Vzorek 7 – měkká strana



Obrázek 16: Vzorek 7 – tvrdá strana

Pomocí zkoušky se určovala výška špičky plamene. Nejvyšších hodnot dosáhly vzorky 1–3 a vzorky 12–14. V případě vzorků 1–3 lze tento výsledek přisuzovat jejich nevhodné struktuře. U vzorků 12–14 je na vině pravděpodobně jejich malá tloušťka.

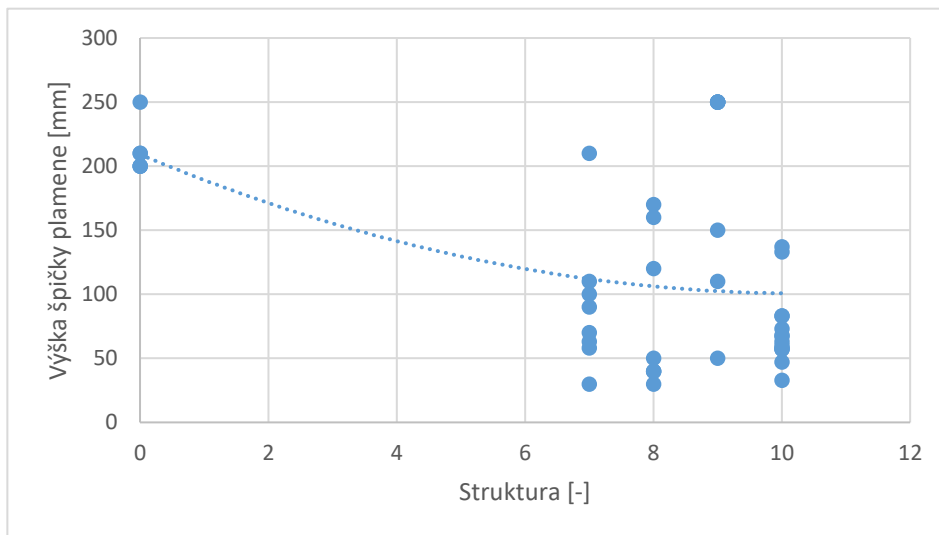
## 8 VYHODNOCENÍ DÍLČÍCH ZKOUŠEK

Vliv jednotlivých parametrů na výslednou reakci na oheň lze nejlépe vyjádřit pomocí korelace, což je lineární závislost mezi dvěma veličinami. Míra korelace se vyjadřuje pomocí tzv. korelačního koeficientu  $r$ . Ten nabývá hodnot od  $-1$  do  $1$ . Čím se hodnota blíží k  $-1$  či  $1$ , tím je vztah těchto dvou veličin silnější. Pokud se hodnota rovná  $0$ , znamená to, že zde není vztah žádný. Pro potřeby vyhodnocení bakalářské práce bude srovnání probíhat vždy mezi výškou špičky plamene a parametrem stanoveným v dané zkoušce.



## 8.1 STANOVENÍ STRUKTURY VZORKŮ

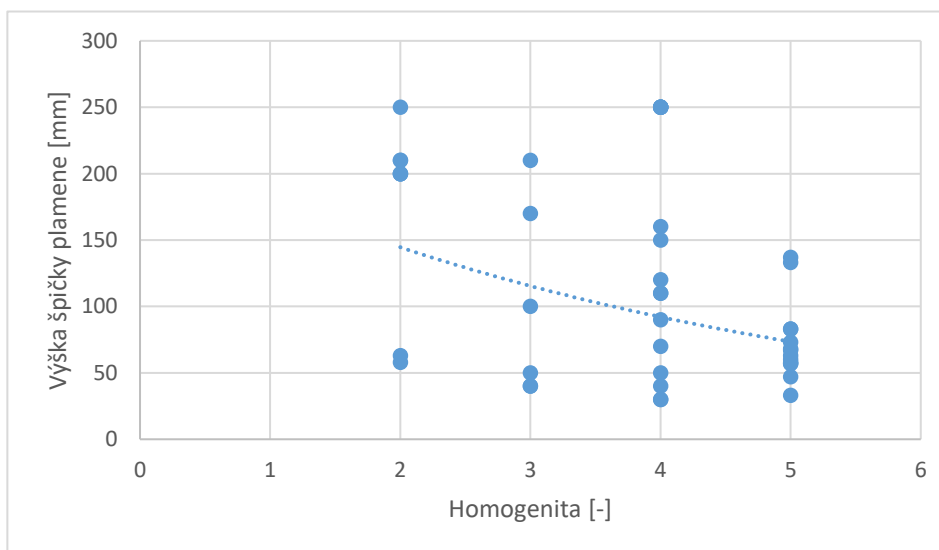
Korelační koeficient při srovnání struktury a výšky špičky plamene vyšel  $r=-0,467$ . Záporná hodnota nám říká, že čím nižší hodnoty dosahuje struktura vzorku (čím je více vločkovitá), tím je výška špičky plamene větší.



Graf 8: Závislost výšky špičky plamene na struktuře

## 8.2 STANOVENÍ HOMOGENITY VZORKŮ

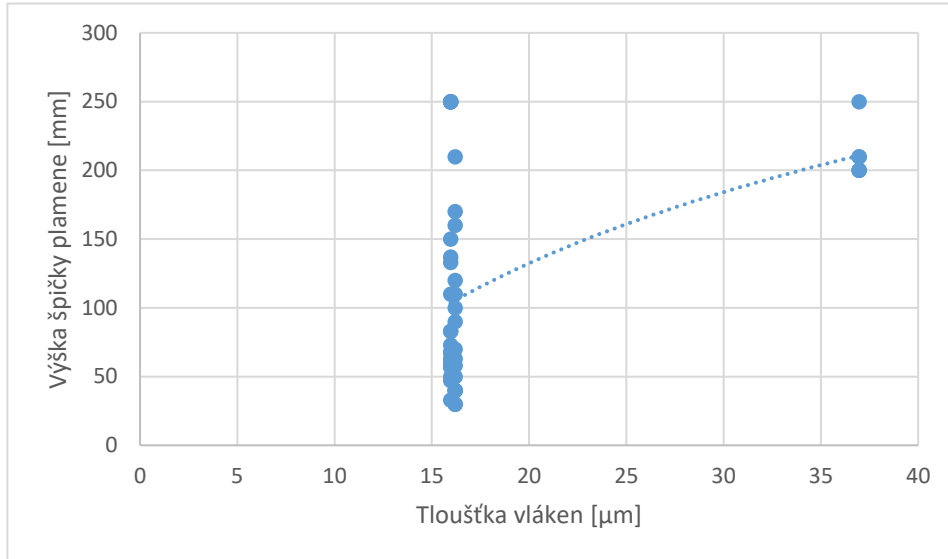
Pro vyjádření vlivu homogenity na výšku plamene byl opět využit korelační koeficient, který nabývá v tomto případě hodnoty  $r=-0,401$ . Dosahuje tak obdobné hodnoty jako v případě stanovení struktury. Je třeba zmínit, že v obou případech se jedná o parametr určovaný subjektivně, což může výslednou závislost ovlivnit.



Graf 9: Závislost výšky špičky plamene na homogenitě

### 8.3 STANOVENÍ TLOUŠŤKY VLÁKEN

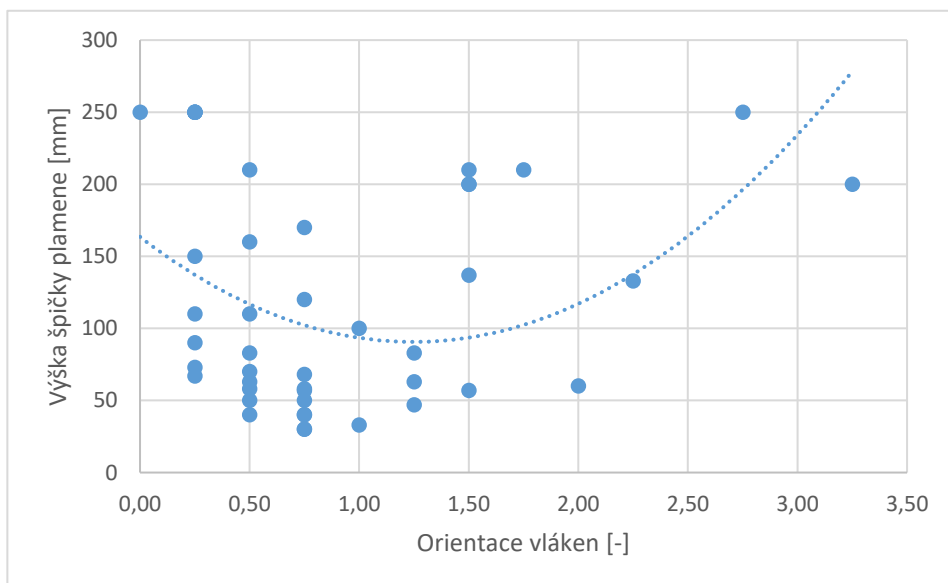
Při porovnávání rozdílné tloušťky vláken a chování reakce na oheň jsme získali hodnotu  $r=0,488$ . Zde hraje významnou roli složení vzorků. V grafu lze přehledně vidět, že tloušťka vláken je u většiny vzorků téměř totožná, proto nelze tomuto výsledku přiřadit velký význam.



Graf 10: Závislost výšky špičky plamene na tloušťce vláken

### 8.4 STANOVENÍ ORIENTACE VLÁKEN

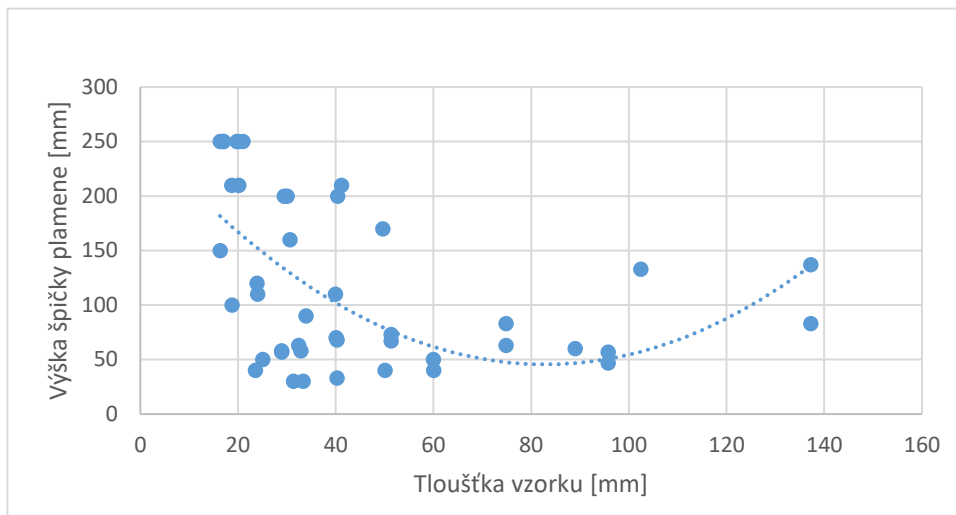
Co se týče rozdílné orientace vláken, korelační koeficient vyšel  $r=0,121$ , z čehož lze usoudit, že orientace vláken nemá na výšku plamene téměř žádný vliv.



Graf 11: Závislost výšky špičky plamene na orientaci vláken

## 8.5 STANOVENÍ TLOUŠŤKY VZORKŮ

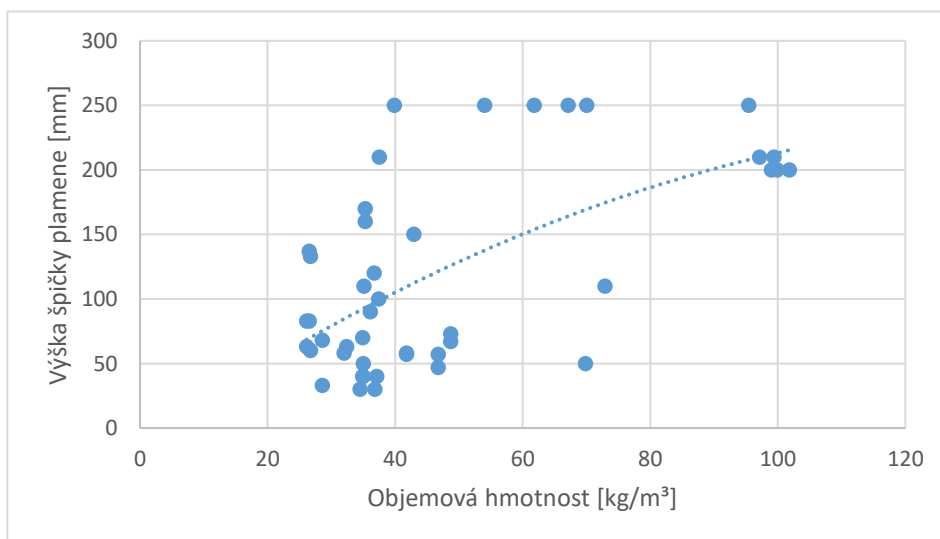
V případě různé tloušťky vzorků vyšel korelační koeficient  $r=0,353$ . Jedná se o druhou nejmenší hodnotu, která nám říká, že ani tloušťka vzorků nemá výrazný vliv na výšku špičky plamene.



Graf 12: Závislost výšky špičky plamene na tloušťce vzorku

## 8.6 STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI VZORKŮ

Korelační koeficient v případě rozdílné objemové hmotnosti vyšel  $r=0,610$ , což poukazuje na silnou korelaci, kdy s vyšší objemovou hmotností roste výška špičky plamene. Je ale třeba vzít v potaz velký rozptyl objemové hmotnosti, což ovlivňuje výslednou hodnotu  $r$ .



Graf 13: Závislost výšky špičky plamene na objemové hmotnosti vzorku

## 9 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala studiem možností modifikace izolantů na bázi organických vláken pro zlepšení jejich užitných vlastností. Práce byla zaměřena na reakci těchto izolantů na oheň. Cílem měl být návrh optimální metodiky pro výrobu vláknitých izolantů z organických vláken, aby bylo dosaženo co nejlepší reakce na oheň bez nutnosti druhotného chemického ošetření vláken. V rámci teoretické části byla provedena literární rešerše v oblasti reakce izolantů na oheň.

Pro praktickou část byly zvoleny vzorky tepelně izolačních materiálů od firmy RETEX. Šlo o materiál vyrobený z druhotných surovin metodou termického pojení pomocí bikomponentních vláken. Poté byly určeny jednotlivé parametry ovlivňující reakci na oheň. Konkrétně se jednalo o homogenitu a strukturu vzorku, tloušťku a orientaci vláken, tloušťku a objemovou hmotnost vzorku. Po stanovení těchto parametrů byla provedena na vzorcích zkouška malým plamenem a provedlo se porovnání závislosti výšky špičky plamene na jednotlivých parametrech.

Výška špičky plamene dosáhla největší hodnoty u vzorku 12, kdy došlo ke vzplanutí celého vzorku. Nejlepší reakce na oheň dosáhly naopak vzorky 7 a 8, u nichž špička plamene dosáhla na měkké straně výšky 30 mm.



Obrázek 17: Vzorek 12 po zkoušce malým plamenem



Obrázek 18: Vzorek 7 po zkoušce malým plamenem

Stanovení vlivu daných parametrů se provádělo pomocí tzv. korelačního koeficientu, který vyjadřuje vztah mezi dvěma veličinami. Parametr nejvíce ovlivňující výšku špičky plamene je objemová hmotnost vzorku. Ta dosáhla korelačního koeficientu  $r=0,610$ . Z grafu 13 je zřejmé, že vyšší špičky plamene, tudíž horší reakce na oheň, dosahují vzorky s vyšší objemovou hmotností.

Téměř shodných hodnot potom dosáhla struktura  $r=-0,466$  a tloušťka vláken  $r=0,488$ . U obou parametrů vyčnívají vzorky 1–3, které mají špatnou reakci na oheň. Tyto vzorky mají vločkovitou strukturu a vlivem obsahu drcených PES vláken mají větší tloušťku vláken.

Homogenita vzorku s  $r=-0,401$  se ukázala jako méně významný parametr. Hned v závěsu za tloušťkou vzorku skončila tloušťka vzorku s hodnotou  $r=-0,353$ . Jako nejméně významný vliv potom vyšla orientace vláken s korelačním koeficientem  $r=0,121$ , kdy je závislost téměř nulová. Je nutné ovšem přihlídnout k faktu, že pracujeme s velkým rozptylem hodnot. To je zapříčiněno množstvím vzorků různého složení a rozdílných vlastností. Důležité je též připomenout, že se jedná o materiály z druhotných surovin, které mohou mít na svědomí rozdílné chování vzorků.

Na reakci na oheň má vliv spolupůsobení více parametrů, nikoliv pouze jeden parametru samostatně. V rámci praktické části byla zjištěna výše závislosti jednotlivých parametrů na reakci na oheň. Dále byla navržena úprava vzorků, aby bylo dosaženo třídy reakce na oheň minimálně E. Jednotlivé parametry jsou řazeny od nejvýznamnějšího po nejméně významný:

1. Objemová hmotnost vzorku
2. Tloušťka vláken
3. Struktura
4. Homogenita
5. Tloušťka vzorku
6. Orientace vláken

#### Technologie výroby izolantů s třídou reakce na oheň E nebo lepší:

- 1) Z hlediska volby vstupních vláken je nutné vyrábět izolanty především z čistých vláken, bez obsahu jiných typů vláken, s odlišným chováním při hoření. Nežádoucí je především znečištění akrylovými nebo polypropylenovými vlákny, neboť akrylová vlákna mají teplotu zápalu již lehce nad  $250\text{ °C}$  (což je cca o  $240\text{ °C}$  méně, než je tomu u PES vláken). V případě polypropylenu nastává teplota tání už při  $165\text{ °C}$  (což je o cca  $100\text{ °C}$  méně než v případě PES vláken), to v praxi vede ke skapávání izolantu při hoření a zhoršení reakce na oheň. Nežádoucí je i znečištění přírodními vlákny, především bavlnou, kde dochází již při  $350\text{ °C}$  k pyrolýze [23].

- 2) Dále je při návrhu izolantu vhodné volit minimální tloušťku 30 mm a výše, přičemž optimální je alespoň 40 mm, aby bylo dosaženo minimální tloušťky izolantu zajišťující, že nebude docházet při kontaktu s plamenem k rozšíření hoření v celé tloušťce izolantu.
- 3) Z pohledu objemové hmotnosti je vhodné se vyvarovat volbě příliš vysokých i příliš nízkých hodnot. Je ideální volit nižší nebo střední objemové hmotnosti, kde je dostatečná vzdálenost mezi vlákny, díky čemuž se předejde šíření plamene mezi vlákny. Optimální objemová hmotnost byla zjištěna do  $50 \text{ kg/m}^3$ .
- 4) Z pohledu výrobní technologie je nutné dosažení rovnoměrného rozvrstvení vláken, s orientací ideálně ve směru desky. Klíčové však je, aby směs obsahovala vlákna sjednocená vždy v jednom směru a neobsahovala shluky nebo surovinu vločkovité struktury (jak to bylo v případě vzorků 1–3).

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] CHYBÍK, J., Přírodní stavební materiály. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2009. 272 s. ISBN978-80-247-2532-1.
- [2] ŠTASTNÍK, S., ZACH, J. Zkoušení izolačních materiálů. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. 95 s. ISBN 80-214-2253-X
- [3] ŠTASTNÍK, S., ZACH, J., Stavební akustika a zvukoizolační materiály. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. 209 s. ISBN 80-214-2117-7.
- [4] Briga-Sá, A., Nascimento, D., Teixeira, N., Pinto, J., Caldeira, F., Varum, H., Paiva, A., Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution, Construction and Building Materials, Volume 38, January 2013, Pages 155-160, ISSN 0950-061
- [5] Hadded, A., Benltoufa, S., Fayala, F., Jemni, A., Thermo physical characterisation of recycled textile materials used for building insulating, Journal of Building Engineering, Volume 5, March 2016, Pages 34-40, ISSN 2352-7102
- [6] ČSN 73 0540-1, Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie, Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [7] Janíček, V., - Studium fyzikálních vlastností tepelně izolačních materiálů na bázi přírodních vláken, Bakalářská práce, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Brno 2017.
- [8] ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov. Část 2: Funkční požadavky, Praha: ÚNMZ, 2011.
- [9] ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov. Část 1: Terminologie, Praha: ÚNMZ, 2005.
- [10] Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby, In: Sbíрка zákonů, 2009.

- [11] ČSN EN 13501-1 + A1 Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [12] ZACH, J., Speciální izolace [online]. Brno, 2019. Dostupné z: <http://thd.fce.vutbr.cz/bakalar>. Studijní opory. Vysoké učení technické v Brně.
- [13] ČSN EN ISO 11925-2 Zkoušení reakce na oheň – Zápalnost stavebních výrobků vystavených přímému působení plamene – Část 2: Zkouška malým zdrojem plamene, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [14] ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [15] Vyhláška č. 23/2008 Sb. o technických podmínkách požární ochrany staveb, In: Sbírka zákonů, 2008.
- [16] Zákon č. 183/2006 Sb. Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), In: Sbírka zákonů, 2006.
- [17] ČSN 73 0802, Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [18] ČSN EN 13823 Zkouška reakce stavebních výrobků na oheň – stavební výrobky kromě podlahových krytin vystavené tepelnému účinku jednotlivého hořícího předmětu, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [19] ČSN EN ISO 1182 Zkoušení výrobků na oheň – Zkouška nehořlavosti, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [20] ČSN EN ISO 1716 Zkoušení reakce výrobků na oheň – Stanovení spalného tepla, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.



- [21] Kupilík, V., Konstrukce pozemních staveb – Požární bezpečnost staveb, Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2009, 195 s., ISBN 978-80-01-04291-5.
- [22] CHEMIE. CHEMIE – Oxidačně redukční reakce [online]. Dostupné z: [http://www.skolni.8u.cz/H8\\_Oxidacne\\_redukzni\\_reakce.pdf](http://www.skolni.8u.cz/H8_Oxidacne_redukzni_reakce.pdf).
- [23] Flame Retardant Finishes, Combustion Of Cellulose, Flame Retardant Chemicals. B2B Technical Textiles Business Solution and Marketplace - TechnicalTextile.net [online]. Dostupné z: <https://www.technicaltextile.net/articles/flame-retardant-finishes-forcellulose-3098>.
- [24] ČSN EN 823. Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení tloušťky, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [25] ČSN EN 822. Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení délky a šířky, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [26] ČSN EN 1602. Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení objemové hmotnosti, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1998.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Zkušební komora pro zkoušku zápalnosti [13].....	16
Obrázek 2: Zkušební zařízení pro zkoušku zápalnosti [13].....	16
Obrázek 3: Zkušební vzorek pro SBI test [18].....	18
Obrázek 4: Držák zkušebního tělesa [19].....	19
Obrázek 5: Vzorek pro kelímkovou metodu [20].....	21
Obrázek 6: Postup přípravy vzorku pro cigaretovou metodu [20].....	21
Obrázek 7: Požární výška objektu [17].....	23
Obrázek 8: Čtyři výškové kategorie a jejich základní požadavky na zateplení ETICS [17] .....	23
Obrázek 9: PES 1 vlákna.....	27
Obrázek 10: PES 2 vlákna.....	27
Obrázek 11: Trhané PES okraje.....	27
Obrázek 12: Drcené PES okraje.....	27
Obrázek 13: Ukázka vločkovité struktury – vzorek 2.....	31
Obrázek 14: Vzorek 20.....	32
Obrázek 15: Vzorek 7 – měkká strana.....	40
Obrázek 16: Vzorek 7 – tvrdá strana.....	40
Obrázek 17: Vzorek 12 po zkoušce malým plamenem.....	44
Obrázek 18: Vzorek 7 po zkoušce malým plamenem.....	44

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Základní vlastnosti zkušebních vzorků.....	28
Tabulka 2: Stanovená struktura.....	31
Tabulka 3: Stanovená homogenita.....	32
Tabulka 4: Stanovená tloušťka vzorků.....	33
Tabulka 5: Stanovená orientace vláken.....	35
Tabulka 6: Stanovená tloušťka vzorků.....	36
Tabulka 7: Stanovená objemová hmotnost vzorků.....	37
Tabulka 8: Výsledky zkoušky malým plamenem – měkká strana vzorků.....	38
Tabulka 9: Výsledky zkoušky malým plamenem – tvrdá strana vzorků.....	39

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Stanovená struktura vzorků.....	31
Graf 2: Stanovená homogenita vzorků .....	32
Graf 3: Stanovená tloušťka vláken.....	34
Graf 4: Stanovená orientace vláken .....	35
Graf 5: Stanovená tloušťka vzorků .....	36
Graf 6: Stanovená objemová hmotnost vzorků.....	37
Graf 7: Výsledné naměřené hodnoty výšky špičky plamene .....	39
Graf 8: Závislost výšky špičky plamene na struktuře .....	41
Graf 9: Závislost výšky špičky plamene na homogenitě.....	41
Graf 10: Závislost výšky špičky plamene na tloušťce vláken .....	42
Graf 11: Závislost výšky špičky plamene na orientaci vláken .....	42
Graf 12: Závislost výšky špičky plamene na tloušťce vzorku.....	43
Graf 13: Závislost výšky špičky plamene na objemové hmotnosti vzorku .....	43