



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 MOŽNOSTÍ MODIFIKACE
IZOLANTŮ NA BÁZI PŘÍRODNÍCH VLÁKEN
PRO ZLEPŠENÍ JEJICH REAKCE NA OHEŇ

STUDY OF POSSIBILITIES OF MODIFICATION OF INSULATORS BASED
ON NATURAL FIBERS FOR IMPROVEMENT OF THEIR FIRE REACTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Urbánek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ ZACH, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Tomáš Urbánek
Název	Studium možností modifikace izolačních vláken na bázi přírodních vláken pro zlepšení jejich reakce na oheň
Vedoucí práce	doc. Ing. Jiří Zach, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- [1] Boštík, J., Vývoj izolačních materiálů na bázi technického konopí a studium jejich vlastností, Diplomová práce, VUT v Brně, FAST, Brno 2007
- [2] Slípková, A., Vývoj tepelně izolačních materiálů na bázi přírodních vláken, Diplomová práce, VUT v Brně, FAST, Brno 2013
- [3] Slimak K. M., Process of using sodium silicate to create fire retardant products, United States Patent 6 303 234 B1, October 2001.
- [4] Janošová M., Aditiva užívaná pro snížení hořlavosti styrenových kopolymerů, Bakalářská práce, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Zlín, 2009
- [5] Mercimek H., Effect of chemicals and Binders on the Durability of Flame Retardant Treated Cotton Nonwovens, Master's Thesis, University of Tennessee, 2010

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Práce se bude věnovat možnostem chemické modifikace organických (včetně přírodních) vláken s cílem zlepšení reakce na oheň u tepelných a akustických izolačních materiálů z nich vyrobených. V teoretické části práce je cílem, na základě literární rešerše, navrhnout nové principy ochrany organických vláken z pohledu jejich reakce na oheň, včetně podrobného návrhu technologie aplikace úpravy vláken. Snahou bude dosažení minimální třídy reakce na oheň D u finálních izolačních materiálů.

Praktická část práce bude prováděna v nové požární laboratoři Centra AdMaS fakulty stavební. U vybraných variantách úpravy vláken bude provedeno praktické ověření jejich účinnosti. Bude provedena zkouška malý plamenem a SBI test na reálných zkušebních vzorcích. Dále pak bude posouzen vliv provedených úprav na další klíčové tepelně izolační, akustické a fyzikálně mechanické vlastnosti upravených izolačních materiálů.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Jiří Zach, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá novými možnostmi modifikace organických (včetně přírodních) vláken pro zlepšení jejich reakce na oheň používaných při výrobě tepelných a akustických izolačních materiálů. Cílem práce je dosažení minimální třídy reakce na oheň D u finálních izolačních materiálů.

ABSTRACT

This paper deals with new possibilities of modification of organic (including natural) fibers to improve their reaction to fire used in the production of thermal and acoustic insulators. The aim of the thesis is to achieve a minimum reaction class to fire D in final insulators.

KLÍČOVÁ SLOVA

Organické vlákno, přírodní vlákno, reakce na oheň, protipožární úprava, retardér hoření, hoření, požární odolnost, požární bezpečnost.

KEYWORDS

Organic fiber, natural fiber, reaction to fire, fire protection, flame retardant, burning, fire resistance, fire safety.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Tomáš Urbánek *Studium možností modifikace izolantů na bázi přírodních vláken pro zlepšení jejich reakce na oheň*. Brno, 2017. 47 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

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2017

Tomáš Urbánek
autor práce

Poděkování

Rád bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Zachovi, Ph.D., Ing. Vítězslavovi Novákovi a Ing. Martinovi Sedlmajerovi, Ph.D. za ochotu, cenné rady při vypracování této práce a odbornou pomoc při provádění experimentálních zkoušek.

Dále bych rád poděkoval své rodině a přítelkyni za pomoc a podporu při studiu.

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	TEORETICKÁ ČÁST	10
2.1	Tepelně izolační materiály	10
2.1.1	Tepelně izolační materiály na bázi přírodních surovin	11
2.2	Hoření materiálu	17
2.3	Požadavky kladené na tepelně izolační materiály z pohledu požární bezpečnosti.....	18
2.3.1	Třídy reakce na oheň	19
2.3.2	Zkušební metody pro stanovení reakce na oheň u stavebních materiálů a výrobků.....	21
2.4	Retardéry hoření	26
2.4.1	Anorganické (minerální) retardéry hoření	27
2.4.2	Halogenované retardéry hoření	28
2.4.3	Retardéry na bázi fosforu	28
2.4.4	Retardéry na bázi dusíku	29
2.4.5	Ostatní materiály	29
2.5	Aplikace retardérů hoření	29
2.6	Mechanismus retardace hoření	30
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	31
3.1	Metodika práce	31
3.2	Metodika zkoušek	33
3.2.1	Stanovení délky a tloušťky vláken	33
3.2.2	Zkouška zápalnosti	33
3.2.3	Zkouška jednotlivým hořícím předmětem.....	34
3.3	Metodika výroby zkušebních vzorků.....	36
3.4	Provedení a výsledky zkoušek	38
3.4.1	Stanovení délky a tloušťky vláken	38
3.4.2	Zkouška zápalnosti	40
3.4.3	Zkouška jednotlivým hořícím předmětem.....	42
4	ZÁVĚR	44
5	POUŽITÉ ZDROJE	45

1 ÚVOD

Tepelně a akusticky izolační materiály jsou důležitou součástí stavební konstrukce, proto je nutné jim věnovat patřičnou pozornost. Chrání konstrukci před průnikem tepla dovnitř v letních měsících a naopak v zimních měsících zabraňuje úniku tepla ven z konstrukce. Avšak někdy je potřeba, aby byly samotné tepelně a akusticky izolační materiály chráněny. Zejména při působení plamene. Touto problematikou se bude zabývat tato bakalářská práce ve snaze ochránit nebo alespoň zvýšit odolnost reakce na oheň tepelně a akusticky izolačních materiálů.

Cílem práce je u tepelných a akustických izolačních materiálů vyrobených z organických (včetně přírodních) vláken zlepšení reakce na oheň. Snahou bude dosažení u finálních izolačních materiálů minimální třídy reakce na oheň D. Na základě literární rešerše se v teoretické části navrhnou nové principy ochrany organických vláken proti reakci na oheň a následné technologické postupy aplikací pro úpravu vláken. V praktické části bude u vybraných variant úpravy vzorků provedeno praktické ověření jejich účinnosti v nové požární laboratoři Centra AdMaS fakulty stavební. Na reálných zkušebních vzorcích bude provedena zkouška malým plamenem a SBI test.

Důvodem výběru tohoto tématu pro bakalářskou práci je jeho aktuálnost. Klade se stále větší důraz na ekologii a šetrnost k přírodě. Je snaha stále více recyklovat a opětovně používat některé materiály. S tím souvisí i některé organické materiály, které jsou vhodné pro použití při výrobě tepelně a akusticky izolačních materiálů. Většina z nich vykazuje třídu reakce na oheň F, proto je nutné aplikovat protipožární přípravky pro zvýšení jejich odolnosti reakce na oheň. Dalším důvodem je i osobní zájem rozvoje této problematiky, která souvisí s mým působením u dobrovolných jednotek požární ochrany.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Tepelně izolační materiály

Mezi tepelně izolační materiál patří takový materiál, který výrazně snižuje šíření tepla a jeho součinitel tepelné vodivosti je max. $0,1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Základní funkce těchto materiálů je v letním období zamezit prostupu tepla konstrukcí z venkovního prostředí do objektu. V zimním období naopak zamezit úniku tepla konstrukcí z objektu do venkovního prostředí. [1, 6] Izolační materiály mají ve stavebnictví velmi dlouhou historii. Lidé se snažili chránit před nepřízní počasí, jako jsou srážky, chlad nebo povětrnostní vlivy už od pradávna. Technologický vývoj izolačních materiálů postupoval ve 20. století poměrně rychle v důsledku zvyšující se úrovně kvality a pohody bydlení. Nejvíce však tomu napomohly, zejména v posledních letech, stále se zvyšující náklady na vytápění a chlazení staveb. Souvisí s tím i ochrana životního prostředí kvůli spotřebě neobnovitelných zdrojů a produkce CO_2 . Ve snaze co nejvíce snížit tyto náklady, ale i šetřit životní prostředí, vyvíjí se stále kvalitnější a nové materiály. Dále je ve snaze používat pro výrobu izolačních materiálů materiály ze snadno obnovitelných zdrojů (např. technické konopí, ovčí vlna...) nebo odpadní materiály získané při výrobě jiných produktů (papír, sláma...). [2, 3]

Tab. 1 Rozdělení tepelně izolačních materiálů [2, 3]

Organické materiály	Materiály na bázi dřeva a rostlinných vláken	Bavlna a technický len
		Dřevní vlákno
		Džínsovina
		Kokos
		Korek
		Piliny a hobliny
		Rákos
		Sláma
		Technické konopí
	Materiály na bázi papíru	Recyklovaný papír
Materiály ze živočišné produkce	Ovčí vlna	
Anorganické materiály	Pěněné plasty	Pěnový polystyren
		Polyuretan
		Extrudovaný polystyren
		Pryskyřice
		PVC
	Vláknité materiály	Čedičová vlákna
		Minerální vlákna
		Skleněná vlákna
		Syntetická vlákna
	Minerální materiály	Pěnové sklo
		Expandovaný perlit
		Keramzit
	Materiály nové generace	Aerogel
Vakuová izolace		

2.1.1 Tepelně izolační materiály na bázi přírodních surovin

Tepelně izolační materiály z přírodních látek je skupina materiálů, která se začíná stále více prosazovat ve stavebnictví. S rostoucí ekonomikou a rozvojem stavebnictví se zvyšují nároky společnosti. Tím roste spotřeba materiálů, které mají omezené zásoby z nevratných zdrojů, ale i množství druhotných surovin z výroby a zpracování surovin. Likvidace je často ekonomicky náročná a zároveň má negativní dopad na životní prostředí. Z hlediska odpadového hospodářství se klade větší důraz na šetrnost k životnímu prostředí. Ve snaze vyřešit tyto problémy se druhotné suroviny využívají pro další výrobu (recyklují). Pro výrobu tepelně izolačních materiálů se používají nejčastěji druhotné suroviny ze zemědělství, dřezozpracujících závodů nebo papírenského průmyslu. Po jejich zpracování se nejčastěji vyrábí tepelně izolační desky a rohože různých rozměrů

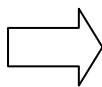
a tloušťky. Dále je možné vyrobit tepelně izolační materiál v podobě jemných vláken nijak nespojený do určitého tvaru a lze ho použít jako foukaný tepelně izolační materiál. Tento typ tepelné izolace slouží k zateplení stávajících, ale i nových objektů. Jedná se o technologii, při které je rozvlákněný izolační materiál vháněn potrubím za pomoci vzduchu do prostoru, kde se izolace aplikuje. Díky tomu lze vyplnit i těžko přístupná místa. Další výhodou je rychlá a snadná aplikace, při které nevzniká žádný odpad. Používá se k výplni stropů, podlah, stěn a střešních konstrukcí. Tato technologie byla poprvé použita v roce 1977 v Americe firmou Advanced Fiber Technology. Jako prvotní materiál byla použita celulózová vlákna, která nahradila skelnou vatu z minerálních vláken. Důvodem byla surovinová energetická krize na konci druhé světové války. V roce 1990 tato technologie dorazila i do Československa. Jako první ji zde začala používat firma CIUR, která byla ve stejném roce založena. Po stabilizaci průmyslu došlo opět k návratu používání skelných vláken, kde se však změnila hlavní vstupní surovina. Struska byla nahrazena sklářským pískem a je tomu tak dodnes. [2, 11, 29]

2.1.1.1 Celulózová izolace

Vyrábí se ze starého vytríděného papíru a novin (Obr. 1), který se v mlýnu podrtí, rozvlákní a vznikne buničina. K ní se přidá směs látek jako například kyselina boritá, borax a síran hořečnatý pro zvýšení požární odolnosti. Dále je také směs částečně chráněna proti napadení hmyzem, plísní a dalším škůdcům. V posledním procesu výroby se odstraní prachové částice a následně se provedou zkoušky jako je požární odolnost nebo obsah vlhkosti v materiálu. Tepelně izolační vlastnosti jsou podobné jako u skelné vaty. Celulózové vlákno (Obr. 2) je vhodné používat u dřevostaveb a v prostorech s omezením nadměrného přístupu vlhkosti. Dokáže přijímat a odevzdávat vlhkost, proto umí vyrovnat vlhkostní křivku v konstrukci. Nedochází tak k rozesychání nebo k bobtnání jednotlivých dílců v konstrukci. Součinitel tepelné vodivosti má hodnotu $0,037 - 0,045 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. Po přidání retardačních přísad se řadí do třídy reakce na oheň C. [3, 12]



Obr. 1 Starý papír k recyklaci [18]



Obr. 2 Rozvlákněné celulózové vlákno [19]

2.1.1.2 Lýková vlákna

Mezi typické zástupce lýkových vláken patří konopná vlákna a lněná vlákna. Konopná vlákna se vyrábí velmi podobným způsobem jako lněná vlákna. Existují dva způsoby technologie výroby, dle kterých se konopná vlákna dělí na rosená a nerošená.

První způsob je klasická ruční výroba, při které se vyrábí rosená vlákna. Stonky konopí jsou namočené ve vodě a poté nalámány. Následně se pomocí tření oddělí od stonku pazdeří. Dále se stonky pomocí pročešávání rozvlákní na jednotlivá vlákna, která jsou následně zkrácena. Po přidání látek chránících konopná vlákna proti plísním, houbám a hořením se mohou používat jako foukané tepelná izolace.

Druhý způsob je mechanická výroba, kde se zpracovávají nerošená (suchá) vlákna. Stroj zvaný Dekortikátor pomocí soustavy válců láme suché stonky, zároveň ze stonků vypadává rozdrčené pazdeří. Následně pomocí další soustavy válců a drtičů se vyčesávají jednotlivá vlákna. Další postup je stejný, jako v prvním případě při výrobě roseného vlákna.

Kromě výroby foukané izolace je možné spojit vlákna pomocí pojivé složky za vzniku konopných tepelně izolačních desek. Jako pojivo se používají BiCO vlákna. Jedná se o dvousložkovou vlákna vyráběná ze dvou typů polyesteru, které zaručují dokonalé a dlouhodobé spojení konopných vláken. Po přidání všech přísad se konopná vlákna vloží do pece, kde dojde k jejich propojení pomocí pojiva. Poté se vzniklé konopné desky už jen nařezou na požadované rozměry. Mezi přednosti této tepelné izolace patří především dlouhá životnost a stabilita ve vlhkém prostředí. Dále vykazuje odolnost proti plísním, hnilobám, škůdcům a hlodavcům. Nevýhodou je její vysoká cena. [8, 9, 30]



Obr. 3 Zpracované technické konopí [20]

2.1.1.3 Sláma

Sláma je odpadní produkt ze zemědělské výroby, konkrétně suchý stonek získán při sklizni obilovin. Nejčastější využití, kromě podestýlky pro dobytek, je lisování do balíků nebo panelů. Ty následně slouží jako tepelná izolace např. umístěna v neobývaných půdních prostorech a brání úniku tepla střešní konstrukcí. V dřívějších letech byla sláma nejpoužívanější tepelně izolační materiál. Nejčastěji se míchala s hlínou při výrobě nepálených cihel nebo se používala jako střešní krytina. Nepálené cihly s přídavkem slámy měly vysokou požární odolnost, ale naopak nízkou odolnost proti vlhkosti. Modernější způsob zpracování slámy je, že se pomele, podrtí a smíchá se s látkami zajišťující odolnost proti ohni, hnilobě, škůdcům a plísním. Následně se lisuje za vysoké teploty a tlaku bez použití pojiv, kdy se následně olepí recyklovanou lepenkou a vznikne slaměná deska. Výhodou je dobrá tepelná a akustická izolace. Dále je i snadná a rychlá montáž, proto se často používá při trvalém zabudování do staveb. [3]

2.1.1.4 Ovčí vlna

Jak už z názvu vyplývá, tak ovčí vlákna se získávají z ovčí vlny. Pro výrobu vláken se používá pouze kvalitní vlna ze zdravých ovcí. Po ostříhání ovcí se vlna nejdříve vypere ve speciální pračce s přídavkem mýdla a sody, aby se odstranili nežádoucí látky. Tím se myslí prach, trus, pot a ovčí tuk. Dále se přidávají látky, které zabraňují výskytu molů. Poté se vlna suší a vyčesává. Takto upravenou ovčí vlákna lze aplikovat jako foukanou tepelnou izolaci nebo v podobě pásů s netkanou textilií, která se přidává pro lepší manipulaci. Počátek výroby je stejný, jako v případě foukaných ovčích vláken. Jen místo vyčesání se ovčí vlna zpracuje v mykacím stroji, který uspořádá jednotlivá vlákna

do stejného směru ve velmi tenké vrstvě. Jednotlivé vrstvy se na sebe skládají až do požadované tloušťky pásu. Nejčastěji užití pásů z ovčích vláken je u dřevostaveb, zejména u srubů a roubených staveb, při utěsnění mezer. Používá se i u zděných staveb při zateplení podkrovní části stavby. Výhodou tohoto materiálu je dlouhá životnost a schopnost vyrovnávat vlhkost v konstrukci. Nevýhodou je vysoká cena a špatná dostupnost na trhu. Převážná většina tohoto materiálu se dováží ze zahraničí. [3]

2.1.1.5 Dřevní vlákno

Pro výrobu dřevovláknitých tepelných izolací se nejčastěji používají jehličnaté stromy. Jednotlivé kmeny se nejdříve nařežou, podrtí a vytvoří se dřevní štěpek (Obr. 4). Štěpky se nechají ve vodě změkknout a rozvláknit. Nejčastěji se z nich vyrábí dřevovláknité desky. Ty lze následně vyrobit dvěma způsoby technologie výroby.

Prvním způsobem technologie výroby je pomocí mokrého způsobu. Rozvlákněné dřevo (Obr. 5) s vodou je rozmícháno do kašovitého stavu a rovnoměrně rozprostřeno na dopravníkový pás, kde se za pomoci tlaku a teploty vytvoří výsledná tepelně izolační dřevovláknitá deska. Ta se poté nařeže na požadovanou velikost.

Druhý způsob technologie výroby je výroba dřevovláknitých desek pomocí suchého způsobu. Zde se vytvořená dřevní vlákna vysuší a smíchají s pryskyřicí. Vytvořená směs se opět rovnoměrně rozprostře na dopravníkový pás, kde se za pomoci tlaku a teploty vytvoří výsledná tepelně izolační dřevovláknitá deska, která se následně nařeže na požadované rozměry.

Dřevovláknité tepelně izolační desky se používají při zateplení interiéru i exteriéru. Konkrétně se jedná o zateplení stěn, fasád, střech i podlah. [3]



Obr. 4 Dřevní štěpky [21]



Obr. 5 Dřevní vlákno [21]

2.1.1.6 Korek

Korek se získává odlupováním kůry ze stromu zvaného korkový dub. Dále se suší a je vložen do tlakové nádoby, kde je vystaven lehce přehřáté páře. Díky tomu korek expanduje a zároveň je svázán korkovou pryskyřicí. Používá se ve foukané podobě nebo ho lze lisovat a použít jako desku. Korek má skvělé izolační vlastnosti, je odolný a pružný, proto ho lze použít do obvodových plášťů nebo podlah. Odolává teplotám od -200 °C do 200 °C, bakteriím, hmyzu, chemickým látkám i dlouhodobému působení vody. Nevýhodou je jeho vyšší cena a nesnadná dostupnost na trhu. Bez použití retardačních přísad patří korek do třídy reakce na oheň F. [3]

2.1.1.7 Bavlna a džínsovina

Vysoce kvalitní recyklovaná bavlněná vlákna, která jsou získána z odpadů a zbytků oděvního průmyslu, lze využít k výrobě džínsoviny (Obr. 6). Tento materiál obsahuje až 95 % čisté bavlny. Vykazuje výborné tepelné a akustické vlastnosti. Odolává plísním, houbám a škůdcům. Nevýhodou je vysoká cena a nesnadná dostupnost na trhu. [3]



Obr. 6 Džínsovina [22]

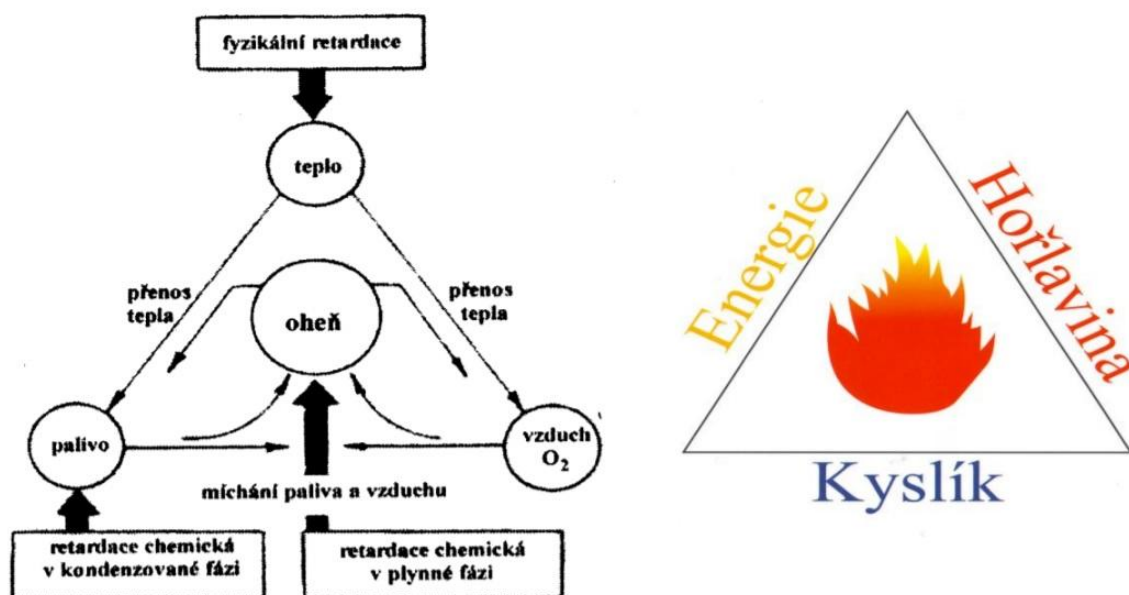
2.1.1.8 Kokos

Kokosová vlákna se vyrábí z nedozrálých ořechů kokosové palmy. Obaly ořechů se podrtí na svazky, které se dále máčí ve slané vodě. Dojde k jejich rozvláknění a získání jednotlivých vláken, která jsou dlouhá a kvalitní. Kokosová vlákna patří do třídy reakce na oheň F, proto se pro zajištění nehořlavosti přidávají retardační přísady. Lze je používat v podobě plstí, rohoží nebo desek. Jedním z příkladů výroby tepelně izolačních materiálů obsahující kokosová vlákna je jejich kombinace s korkovými vlákny. Jedná se o spojení kokosové desky a korkové desky pomocí lepidla. Vyrábí se i varianty sendvičových desek,

kteřá má uprostřed desku z kokosových vláken nebo korkových vláken. Nesou název Corkoco. [3]

2.2 Hoření materiálu

Hoření je fyzikálně chemický děj, při kterém hořlavá látka po přidání dostatečného množství energie a vysoké teploty reaguje s oxidačním prostředkem. Dochází k rozkladným reakcím, ke vzniku tepla a světla v podobě plamene a ke vzniku zplodin v podobě kouře. [5, 10] Pro vznik hoření je nutné, aby byly splněny tři podmínky. Musí být přítomna hořlavá látka (palivo), oxidační prostředek (vzdušný kyslík) a vhodný tepelný stav látky za přítomnosti iniciátoru (zdroj zapálení). Jakmile jedna z podmínek není splněna, proces hoření není uskutečněn (Obr. 7). To stejné platí i pro už probíhající proces hoření, kdy po odstranění jedné z podmínek je proces hoření ukončen. Rozlišujeme tři druhy hoření. Prvním z nich je dokonalé hoření. Jak je z názvu patrné, při tomto typu hoření nevznikají žádné zplodiny schopné dalšího hoření. Nejčastěji vzniká oxid uhličitý a vodní pára. Další typ hoření je nedokonalé hoření, kde vznikají zplodiny schopné dalšího hoření. Posledním typem hoření je explozivní hoření. Zde dochází k rychlé fyzikálně chemické reakci, při které dojde během okamžiku k uvolnění velkého množství energie (výbuchu). [5]



Obr. 7 Princip hoření [23, 28]

Aby začal proces hoření, je nutná přítomnost zdroje zapálení nebo může dojít k samovznícení. Samovznícení je děj, kdy dojde k zapálení hořlavé látky důsledkem

exotermních reakcí látky. Během těchto reakcí se uvolňuje teplo a tím se zvyšuje teplota. Hořlavá látka dosáhne teploty vznícení a začne proces hoření. Rozlišujeme tři druhy samovznícení. Prvním z nich je fyzikální samovznícení. Tento typ vzniká pohlčováním plynů a páry prostřednictvím povrchu uhlíku, který je obsažen ve všech organických materiálech. Důsledkem toho je vznik tepla, které se hromadí a zvyšuje teplotu až na teplotu samovznícení. Dalším typem samovznícení je chemické. To se vyznačuje exotermní reakcí dvou nebo více chemických látek za vzniku tepla. Posledním typem samovznícení je biologické. Tento typ se týká rostlinných materiálů, tedy i tepelně izolačních materiálů z organických vláken. Podstatou biologického samovznícení je zahřívání materiálu činností mikroorganismů. Při zahřátí na teplotu okolo 70 °C dochází k rozpadu některých rostlinných látek za vzniku uhlíku a dalších látek. U uhlíku dochází ke stejné činnosti jako u fyzikálního samovznícení, tedy pohlcování plynů a vodní páry svým povrchem, čímž se dále zvyšuje teplota. Po dosažení teploty 250 – 300 °C dojde následně ke vznícení rostlinného materiálu. Tento proces je ovlivněn i nerovnoměrným rozložením vlhkosti v materiálu. [5]

2.3 Požadavky kladené na tepelně izolační materiály z pohledu požární bezpečnosti

Základní požadavky na stavební objekty uvádí Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby. Upřesňuje požadavky na mechanickou odolnost a stabilitu, ochranu zdraví a zdravých životních podmínek, ochranu proti hluku, bezpečnost při užívání, úsporu energie a ochranu tepla. Dále upřesňuje požadavky na požární bezpečnost staveb s odkazem na normu ČSN 73 0810: Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení. Tyto požadavky jsou různé v závislosti na výšce objektu. Posouzení třídy reakce na oheň se u zateplovacích soustav složených z dílčích výrobků provádí jako celek. [4]

Vnější zateplení u jednopodlažních objektů musí být vyrobeno z materiálů třídy reakce na oheň alespoň E. U ostatních objektů s výškou do 12 m musí samostatné dílčí materiály konstrukce vnějšího zateplení vykazovat třídu reakce na oheň alespoň E a jako ucelená konstrukce vnějšího zateplení musí patřit do třídy reakce na oheň alespoň B.

Objekty s výškou v rozmezí 12 m až 22,5 m musí mít ucelenou konstrukci vnějšího zateplení patřící do třídy reakce na oheň alespoň B a dílčí materiály tvořící ucelenou konstrukci vnějšího zateplení musí mít třídu reakce na oheň alespoň E. V místech otvorů

(např. v místě oken, dveří, elektrického rozvaděče apod.) musí být soustava vnějšího zateplení zajištěna proti šíření plamene. To znamená použití materiálů nad těmito otvory a v místech založení vnějšího zateplení, které vykazují třídu reakce na oheň A1 nebo A2. Dále je nutné zabezpečit tepelnou izolací třídy reakce na oheň A1 nebo A2 i vnější schodiště sloužící jako úniková cesta.

U objektů s výškou větší než 22,5 m je nutné použít po výšce objektu soustavu vnějšího zateplení, která patří do třídy reakce na oheň A1 nebo A2

V případě zateplení objektu pod úrovní terénu musí tepelně izolační materiál patřit minimálně do třídy reakce na oheň E.

U objektů s výškou větší než 12 m, které jsou zastřešeny konstrukcí s přesahující římsou, je nutné spodní stranu římsy zabezpečit proti šíření požáru vnějším zateplením třídy reakce na oheň A1 nebo A2. [7]

2.3.1 Třídy reakce na oheň

Každý materiál má jinou hořlavost a tím různě přispívá k šíření požáru. Z tohoto důvodu se dříve zaříd'oval materiál do šesti stupňů hořlavosti. V současné době se tyto stupně hořlavosti nahradily třídami reakce na oheň dle ČSN EN 13501-1. Dle této technické normy jsou jednotlivé třídy reakce na oheň klasifikovány následovně: [5, 24,]

Třída A1

Do této třídy patří materiály, které nebudou v žádném případě přispívat k rozvoji požáru. Zároveň materiály této třídy vyhovují všem požadavkům pro nižší třídy a jsou brány jako nehořlavé. [4, 5, 24]

Třída A2

Do této třídy patří materiály, které nebudou v žádném případě přispívat k rozvoji požáru. Zároveň materiály této třídy vyhovují všem požadavkům pro nižší třídy a jsou brány jako nehořlavé. Pro zařazení do třídy reakce A2 musí materiál splnit požadavky zkoušky jednotlivým hořícím předmětem (ČSN EN 13823). Během této zkoušky měříme rychlost růstu intenzity hoření, které nesmí být větší než 120 W/s. Celkové množství uvolněného tepla nepřekročí hodnotu 7,5 MJ. Zároveň nesmí docházet k horizontálnímu šíření plamene po povrchu vzorku. Dále se provádí zkouška stanovení spalného tepla (ČSN EN ISO 1716) a zkouška nehořlavosti (ČSN EN ISO 1182). [4, 5, 24]

Třída B

Do této třídy patří materiály, které jsou schopné odolávat působení malého plamene delší časový interval a zároveň se podílí omezeně na šíření plamene. Navíc jsou zde přísnější požadavky, než u třídy C. Pokud je materiál zařazen do této třídy reakce na oheň, musí splňovat několik podmínek. První podmínka nutná ke splnění je zkouška malým zdrojem plamene (ČSN EN ISO 11925-2) po dobu 30 s, kdy plamen působí na povrch zkušební vzorku. Nesmí dojít k rozšíření plamene ve svislém směru o více než 150 mm do 60 s po ukončení působení plamene. Druhé kritérium se stanovuje pomocí zkoušky jednotlivým hořícím předmětem, tzv. SBI test (ČSN EN 13823). Během této zkoušky měříme rychlost růstu intenzity hoření, která nesmí být větší než 120 W/s. Dále se měří celkové množství uvolněného tepla, které nesmí překročit hodnotu 7,5 MJ. Poslední podmínka nutná pro splnění je, aby nedocházelo k horizontálnímu šíření plamene po povrchu vzorku. [4, 5, 24]

Třída C

Do této třídy patří materiály, které jsou schopné odolávat působení malého plamene delší časový interval a zároveň se podílí omezeně na šíření plamene. Pokud je materiál zařazen do této třídy reakce na oheň, musí splňovat několik podmínek. První podmínka nutná ke splnění je zkouška malým zdrojem plamene (ČSN EN ISO 11925-2) po dobu 30 s, kdy plamen působí na povrch zkušební vzorku. Nesmí dojít k rozšíření plamene ve svislém směru o více než 150 mm do 60 s po ukončení působení plamene. Druhé kritérium se stanovuje pomocí zkoušky jednotlivým hořícím předmětem, tzv. SBI test (ČSN EN 13823). Během této zkoušky měříme rychlost růstu intenzity hoření, které nesmí být větší než 250 W/s. Dále se měří celkové množství uvolněného tepla, které nesmí překročit hodnotu 15 MJ. Poslední podmínka nutná pro splnění je, aby nedocházelo k horizontálnímu šíření plamene po povrchu vzorku. [4, 5, 24]

Třída D

Materiály třídy D odolávají působení malého plamene delší časový interval a bezvýznamně se podílí na šíření plamene. Dále s velkým zpožděním a omezením uvolňují teplo. První podmínka nutná ke splnění je stejná jako v předchozích třídách C a B, tedy jedná se o zkoušku malým zdrojem plamene (ČSN EN ISO 11925-2) po dobu 30 s, kdy plamen opět působí na povrch zkušební vzorku. Také zde nesmí dojít k rozšíření plamene ve svislém směru o více než 150 mm do 60 s po ukončení působení plamene.

Druhé kritérium se stanovuje pomocí zkoušky jednotlivým hořícím předmětem, tzv. SBI test (ČSN EN 13823). Během této zkoušky měříme rychlost růstu intenzity hoření, které nesmí být větší než 750 W/s. [4, 5, 24]

Třída E

Do této třídy patří materiály, které dokážou odolávat působení zdroje malého plamene (ČSN EN ISO 11925-2) během krátkého časového intervalu. Zkouška probíhá 15 s, kdy plamen působí na povrch vzorku a nesmí dojít k rozšíření plamene ve svislém směru o více než 150 mm do 20 s po ukončení působení plamene. [4, 5, 24]

Třída F

V této třídě se nachází materiály, které nelze zařadit do žádné z předchozích tříd. Nejsou na ně kladena žádná kritéria chování. Tyto materiály nespĺňují požadavky zkoušky malým zdrojem plamene pro zařazení do třídy E. [4, 5, 24]

2.3.2 Zkušební metody pro stanovení reakce na oheň u stavebních materiálů a výrobků

Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb obsahuje pět částí. V části jedna je popsána klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň. Jsou celkem čtyři. Konkrétně se jedná o zkoušku nehořlavosti, stanovení spalného tepla, zkoušku jednotlivým hořícím předmětem a zkoušku zápalnosti. O jednotlivých zkouškách bude napsáno podrobněji dále v textu. Z výsledků těchto zkoušek je možné provést zatřídění do jednotlivých tříd reakce na oheň, které jsme si už popsali. V části dvě je popsána klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti, kromě vzduchotechnických zařízení. Část tři obsahuje klasifikaci podle výsledků zkoušek požární odolnosti výrobků a prvků běžných provozních instalací, požárně odolná potrubí a požární klapky. V části čtyři najdeme klasifikaci podle výsledků zkoušek požární odolnosti prvků systémů pro usměrňování pohybu kouře. Poslední část pět popisuje klasifikaci podle výsledků zkoušek střech vystavených vnějšímu požáru. Následně si popíšeme podrobněji jednotlivé zkoušky reakce na oheň. [24]

2.3.2.1 Zkouška nehořlavosti (ČSN EN ISO 1182)

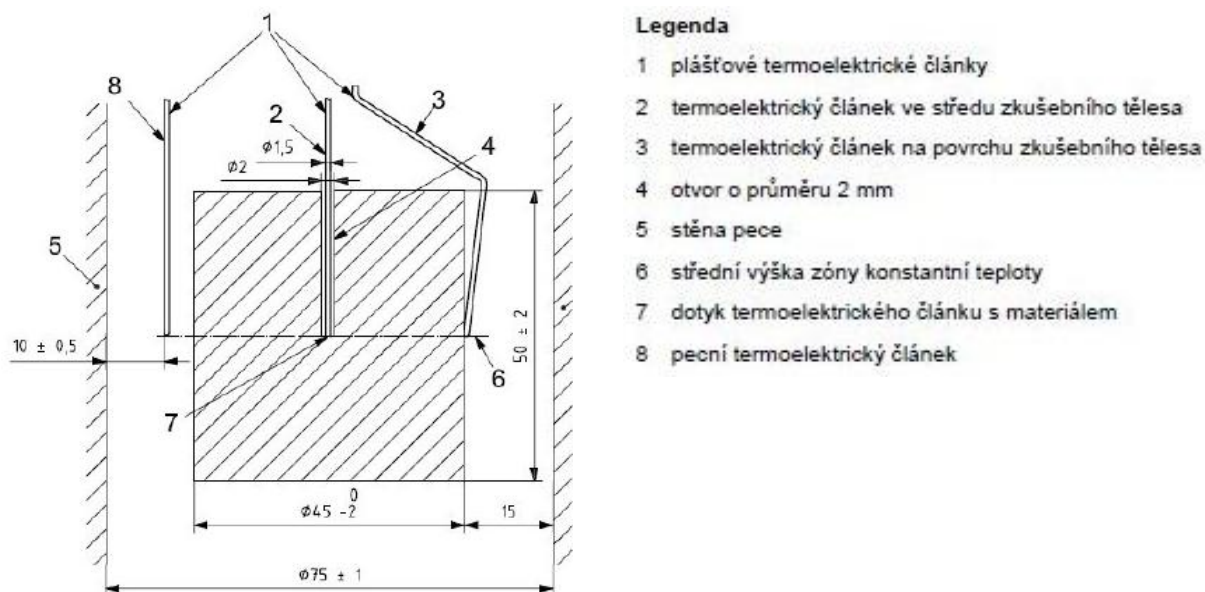
Pomocí této zkoušky zjistíme, zda bude nebo nebude daný výrobek přispívat nevýznamně k požáru. Zaznamenáme hmotnost zkušebního vzorku před a po zkoušce. Následně vypočítáme procentuální úbytek hmotnosti zkušebního vzorku z původní hmotnosti. Během zkoušky pozorujeme výskyt trvalého plamenného hoření a výskyt

stálé, modře zbarvené svítivé oblasti plynu. Dále měříme tři teploty. Počáteční teplotu T_i , která je průměrná teplota v posledních 10 minutách ustálení pece. Její hodnota by měla být 750 ± 5 °C. Během celé zkoušky měříme maximální teplotu T_{max} . Jako poslední měříme konečnou teplotu T_f . Jedná se o průměrnou teplotu v poslední minutě zkoušky.

Zkušební zařízení se skládá z pece, tvořené žáruvzdornou trubkou omotanou topnou spirálou, která je uzavřena v izolovaném obalu. Ve spodní části pece je umístěn kónický stabilizátor průtoku vzduchu. V horní části pece je pak umístěn kryt proti průvanu. Takto sestavená soustava je upevněna na pevném a vodorovném podstavci. Podstavec je navíc opatřen clonou proudění pro snížení proudění vzduchu okolo kónického stabilizátoru proudění vzduchu, který je připevněn ke spodní části pece. Dále je v peci umístěn držák pro zkušební vzorky a zařízení sloužící k připevnění tohoto držáku do trubky pece. Aby bylo možné změřit všechny teploty, jsou uvnitř pece instalovány termoelektrické články.

Zkušební tělesa musí být válcového tvaru. Výška zkušební tělesa musí být 50 ± 3 mm. Průměr tělesa musí být v rozmezí 44,8 - 45,0 mm. Celkový objem tělesa musí být 76 ± 8 mm.

Z pece vyjmeme držák pro zkušební vzorky a umístíme do něj zkušební vzorek. Provedeme ustálení pece, aby po dobu alespoň 10 minut byla teplota 750 ± 5 °C. Držák se zkušebním vzorkem se umístí zpět do pece, zapne se časomíra a zahájí se měření teplot pomocí termoelektrických článků. Měření teplot probíhá po celém průběhu zkoušky. Zaznamenávají se teploty v místě poloviny výšky trubky pece, dále v úrovni 30 mm nad a 30 mm pod polovinou výšky. Zkouška se provádí 30 minut. Pokud v tomto čase dojde k teplotní rovnováze všech termoelektrických článků, zkouška je ukončena. Pokud ale teplotní rovnováha nenastane, zkouška pokračuje dále až k dosažení teplotní rovnováhy. Zkouška je ukončena v čase 60 minut, i když nedojde k dosažení teplotní rovnováhy. Po ochlazení vzorku se provede zvážení zkušebního tělesa. [25]



Obr. 8 Zkušební zařízení pro zkoušku nehořlavosti[25]

2.3.2.2 Stanovení spalného tepla (ČSN EN ISO 1716)

Pomocí této zkoušky stanovíme maximální množství uvolněného tepla při úplném shoření výrobku. Tuto hodnotu získáme výpočtem z naměřených hodnot během zkoušky. Nejprve se stanoví vodní hodnota E [MJ/K] kalorimetru, bomby a jejich příslušenství pomocí kalibračního postupu. Dále je potřeba stanovit počáteční a maximální teplotu, kterou získáme ze zkušebního postupu. Pro výpočet použijeme navíc opravný součinitel c [K], korekci b [MJ] a hmotnost zkušebního vzorku m [kg]. Výsledný vzorec vypadá následovně:

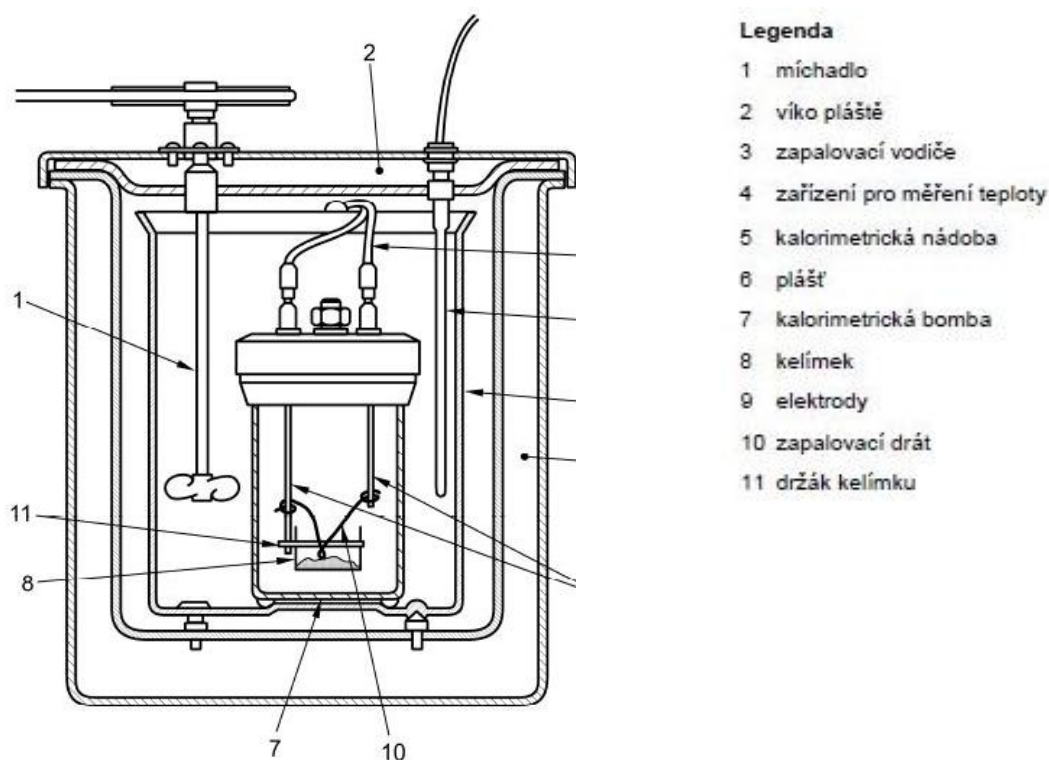
$$Q_{PCS} = \frac{E(T_m - T_1 + c) - b}{m}$$

Zkušební zařízení tvoří kalorimetrické bomba, ve které je v držáku umístěn kelímeček se zkušebním vzorkem. Dále je zde umístěn zapalovací drát, který se dotýká zkušebního vzorku. Tato bomba je v kalorimetrické nádobě, která je naplněna destilovanou vodou. Navíc je ještě celá soustava umístěna ve vodním plášti. Jedná se o nádobu se dvojitými stěnami, která je naplněna vodou.

Zkušební vzorek se používá v podobě volně sypaného materiálu. V případě zkoušení vzorků v kapalném stavu je nutné materiál vytvrdit nebo vysušit podle návodu výrobce.

Zkouška začíná kalibračním postupem, kdy se nejprve stanoví vodní hodnota E [MJ/K]. Jedná se o stejný postup zkoušky, jako v případě zkoušení zkušebního vzorku. Jako vzorek se používá tableta kyseliny benzoové. Provede se pět měření a vypočítá

se průměrná hodnota, která se nesmí lišit od jednotlivých hodnot měření o více než 0,5 %. Následně se do kelímku nasype předem zvážením množství zkušební vzorku a kelímek se umístí do držáku. Poté se připojí zapalovací drát tak, aby se dotýkal zkušební vzorku. Následně se držák s kelímkem umístí do kalorimetrické bomby, která se uzavře víkem a naplní vzduchem na tlak 3,0 - 3,5 MPa. Dále se bomba vloží do kalorimetrické nádoby napuštěné destilovanou vodou. Tato celá soustava se vloží do dvoustěnné nádoby naplněné vodou (vodní plášť). Změří se počáteční teplota a pomocí zapalovacího drátu se vzorek zapálí. Měří se teplota v kalorimetrické nádobě a ve vodním plášti. Jakmile jsou obě teploty shodné po dobu nejméně 10 minut s odchylkou $\pm 0,1$ K, je měření ukončeno. Naměřené hodnoty se dosadí do vzorečku a vypočítá se množství spalného tepla. [26]



Obr. 9 Zkušební zařízení pro stanovení spalného tepla [26]

2.3.2.3 Zkouška jednotlivým hořícím předmětem (ČSN EN 13823)

Pomocí této zkoušky se hodnotí příspěvek zkušební tělesa k rozvoji požáru, pokud je vystaveno tepelnému účinku hoření tělesa umístěného v rohu místnosti. Během zkoušky měříme rychlost uvolňování tepla a rychlost produkce kouře během hoření. Toto měření provádí automaticky počítač pomocí speciálního softwaru a soustavy čidel umístěných v požární peci a v odsávacím zařízení spalin. Vizuálně pozorujeme, zda nedochází ke vzniku hořlavých kapek nebo částic během prvních 600 sekund zkoušky.

Dále sledujeme, zda nedochází k bočnímu šíření plamene po povrchu většího křídla ve výšce 500 - 1000 mm.

Zkušební zařízení tvoří požární pec. Jedná se o speciální místnost, která je čtvercového půdorysu a je uzavřená. Má dva vstupy. První slouží pro zavezení vozíku se zkušebními vzorky. Vozík je v průběhu celé zkoušky uvnitř požární pece. Druhý vstup slouží pro obsluhu zařízení, avšak během provádění zkoušky uvnitř místnosti nesmí být nikdo přítomen. Proto je na jedné stěně místnosti umístěno pozorovací okno. To bývá umístěno na straně velína, odkud obsluha řídí průběh zkoušky. Ve stropní části místnosti je zabudováno odsávací zařízení pro odvod spalin a odvětrání místnosti.

Zkušební vzorky mohou mít podobu desek. V případě volně sypaného materiálu se vzorky umístí do kovových klecí, které jsou následně pomocí držáků připevněny na vozík.

Zkušební vzorky jsou umístěny pomocí držáku na vozík, kterým se následně zajede do požární pece. Vzorky jsou na vozíku umístěny svisle ve tvaru písmene L, kde kratší strana má rozměry 0,5 x 1,5 m a delší strana o rozměrech 1,0 x 1,5 m. Po provedení kalibrace požární pece se nejprve zapálí pomocný (sekundární) hořák umístěný na protější straně rohu tvořeného zkušebními vzorky ve výšce 1,5 m. Následně dojde k zapálení hlavního hořáku, který se nachází ve spodní části rohu tvořeného vzorky. Zkouška trvá celkem 17 minut a vzorek je vystaven teplotě až 2000 ± 100 °C. [27]

2.3.2.4 Zkouška zápalnosti (ČSN EN ISO 11925 – 2)

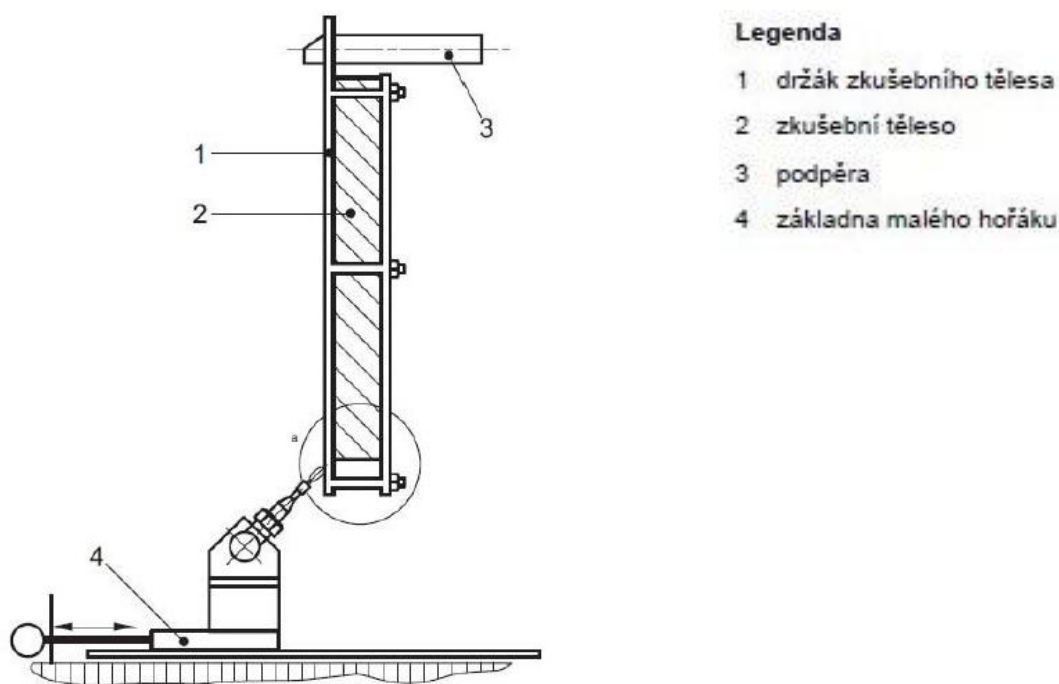
Pomocí této metody můžeme definovat vlastnosti výrobků reagujících na působení malým zdrojem plamene. Stanovuje se zde zapalitelnost nebo vznětlivost výrobku, kdy malý plamen působí přímo na zkušební těleso, které je k němu svisle umístěno. Plamen působí po dobu 15 s nebo 30 s na hranu nebo povrch vzorku.

K provedení této zkoušky je potřeba zajistit několik věcí. Zkušební místnost mírně zatemnělá pro lepší pozorování malých plamínek na povrchu zkušebního vzorku s teplotou prostředí 23 ± 5 °C a relativní vlhkostí 50 ± 20 %. Zkušební komora se skládá ze skříně ležící na základové mříži s podpěrami vyrobené z nerezové oceli. Skříň má z jedné strany tepelně odolné sklo pro možnost pozorování a přístupu do komory. Ta by měla být přirozeně odvětrávána přes základovou mříž. Dále musí být celá zkušební komora umístěna pod větranou digestoř. Pro zapálení zkušebního vzorku používáme malý propanový hořák umístěný pod úhlem 45° ke svislé ose vzorku, která je umístěna v držáku. Dále budeme potřebovat zařízení na měření času a zařízení pro měření výšky plamene.

Zkušební tělesa musí mít být 250 mm dlouhá, 90 mm široká a tlustá 60 mm. Pro zkoušku se používá nejméně šest zkušebních vzorků.

Nejprve upevníme zkušební vzorek do držáku. Hořák následně zapálíme a počkáme, než se plamen ustálí. Nastavíme výšku plamene 20 mm a úhel hořáku 45°. Ten následně vodorovně posuneme ke zkušebnímu tělesu. V okamžiku dotyku plamene se zkušebním vzorkem zapneme měření času. Po 15 s nebo 30 s hořák oddálíme od zkušebního vzorku.

Hodnotíme, zda dojde k zapálení vzorku. Jestli špička plamene dosáhne 150 mm nad místem působení plamene a kdy k tomu dojde. Zda dojde k zapálení filtračního papíru umístěného pod zkušebním vzorkem pomocí vzniklých hořících částic uvolněných ze zkušebního tělesa. Dále pozorujeme celkové chování zkoušeného zkušebního tělesa. [16]



Obr. 10 Zkušební zařízení pro zkoušku malým plamenem [16]

2.4 Retardéry hoření

Retardéry hoření jsou všechny látky, které zvyšují tepelnou odolnost materiálu. Jedná se o přísady z organických nebo anorganických sloučenin, které zpomalují nebo dokonce zabraňují hoření. Dále se u nich předpokládá, že kromě schopnosti zpomalení hoření umí i snížit produkci toxických plynů a kouře při hoření materiálu. Rozvoj a výzkum nových retardérů hoření odstartoval vývoj nových polymerních

materiálů na konci padesátých let 19. století. Polymery díky několika všestranným vlastnostem, jako je snadné zpracování, pružnost a dobrá pevnost, odolnost proti kyselinám a zásadám, nahradily řadu původně používaných materiálů. Díky tomu se zvýšila úroveň i kvalita životního stylu v dnešní době. Avšak polymery mají i svoji negativní stránku. Během jejich spalování nebo hoření dochází k rozkladným reakcím, při kterých vznikají toxické plyny. Ve snaze vyřešit tento problém, hlavně snížit riziko vzniku požáru, vědci vyvinuli látky snižující hořlavost materiálu, tedy již zmíněné retardéry hoření. [13, 14, 15]

Historie těchto látek snižující hořlavost materiálů sahá daleko do minulosti. Už Egypťané okolo roku 450 př. n. l. používali kamenec ke snížení hořlavosti dřevěných materiálů. Římané byly ještě vynalézavější a přidávali ke kamenci vinný ocet. O několik set let později roku 1735 byl zapsán první patent na složení směsi retardéru hoření. Jednalo se o směs kamence, boraxu a síranu železnatého pro snížení hořlavosti tkanin. Roku 1821 byl vydán první seznam nových sloučenin, které zlepšovaly odolnost proti vzplanutí různých materiálů. Do něj patřil i dnes stále známý a používaný borax, nebo fosforečnan amonný a chlorid amonný. V současnosti existuje více než 175 druhů retardačních látek. [17]

2.4.1 Anorganické (minerální) retardéry hoření

Skupina anorganických retardérů hoření je velmi široká. Patří sem např. hydroxidy kovů alkalických zemin, cíničitan, boritan zinečnatý nebo anorganické sloučeniny fosforu a grafit.

Nejčastějšími zástupci hydroxidů kovů alkalických zemin jsou hydroxid hořečnatý a hydroxid hlinitý. Principem retardace hoření je uvolnění inertních plynů a páry. Výsledkem je zředění hořlavých látek a kyslíku a tedy zamezení exotermní reakce. Navíc dochází i k exotermnímu rozkladu a tvorbě ochranné a nehořlavé vrstvy na povrchu materiálu. Mají nízké výrobní náklady a jsou proto levné. Nevýhodou je jejich nízká účinnost, proto se musí používat ve velkých dávkách nebo v kombinaci s jinými retardačními přísadami. I když se udává, že nejsou toxické, tak hliník má negativní vliv na růst kořenového systému rostlin. Při dlouhodobém vystavení lidskému tělu může dojít k poškození nervového systému, jelikož se hromadí v kostech a mozku.

Typický zástupce boritanů je zinek, který funguje na principu endotermní reakce. Zvyšuje tvorbu popela při hoření, naopak snižuje produkci dýmu. U boritanu zinečnatého byla prokázána nízká toxicita a žádné nežádoucí dopady na zdraví člověka i přírodu.

Do této skupiny anorganických retardérů hoření patří i zvolené přípravky pro praktickou část, konkrétně to jsou tetraboritan sodný (borax), uhličitan sodný a kyselina boritá. [13, 14, 15]

2.4.2 Halogenované retardéry hoření

Jedná se o jedny z nejúčinnějších a běžně používaných retardačních přísad. Principem zpomalení hoření těchto retardérů hoření je reakce v plynné fázi. Během hoření materiálu a retardérů vznikají volné radikály, které spolu reagují. Dochází tím ke zvýšení spékání polymeru a snižování produkce hořlavých látek čímž dochází ke zpomalení hoření. Ze skupiny halogenů se používají převážně bromové a chlorové halogenové sloučeniny. V minulosti se nejčastěji používaly polybromované difenylethery a bifenyly díky vysoké účinnosti a nízké ceně. Avšak už v 70. letech minulého století bylo v několika případech prokázáno, že tento typ retardačních látek je škodlivý pro člověka i životní prostředí. Řada experimentů prokázala vysokou toxicitu. Výrazně narušuje endokrinní systém, funkci jater, nervový systém a imunitní systém. V roce 1979 byla jejich výroba pozastavena. Další retardér hoření, který je aktuálně důkladně zkoumán je tetrabrombisfenol A. Přestože byla prokázána jistá míra toxicity, stále se hojně používá a není žádný předpis pro jeho omezené použití. Narušuje endokrinní systém, avšak nebyla prokázána karcinogenost tohoto retardéru hoření. V současnosti jsou nepoužívanější bromové retardéry hoření polyuretanové pěny a polyvinylchlorid. [13, 14, 15]

2.4.3 Retardéry na bázi fosforu

Skupina retardérů na bázi fosforu se používá už od roku 1820. Jejich zastoupení je poměrně veliké. Patří sem např. červený fosfor, organické fosfáty a halogenové fosfáty. Principem jejich účinku je reakce v plynné i pevné fázi. Mnohem častější je však reakce v pevné fázi, kdy se výrazně podílí na tvorbě popela. Ve srovnání s halogenovými retardéry hoření jsou účinnější a lze se dávkovat v nižších koncentracích. Během zkoumání retardérů na bázi fosfátů byla však prokázána potencionální hrozba v podobě karcinogenity.

Do této skupiny retardérů na bázi fosforu patří i zvolené přípravky pro praktickou část, konkrétně hydrogenfosforečnan diamonný a dihydrogenfosforečnan amonný. [13, 14,15]

2.4.4 Retardéry na bázi dusíku

Hlavní výhodou této skupiny retardérů je vysoká účinnost při nízké koncentraci. Nejznámějším zástupcem retardérů na bázi dusíku je melamin, dále pak polyfosforečnan amonný. Při působení vysoké teploty na melamin dochází k uvolnění amoniaku, který ředí kyslík a další hořlavé plyny. Dle chemických testů nebyla u melaminu potvrzena karcinogenost, ale při vysokých dávkách způsobuje tvorbu močových kamenů a následně selhání ledvin. [13, 14, 15]

2.4.5 Ostatní materiály

V současnosti probíhá výzkum dalším materiálů, které by mohli postupně nahrazovat retardéry na bázi fosforu, dusíku a halogenové retardéry kvůli jejich produkci toxických látek. Jedním z nich jsou materiály na bázi křemíku. Mají vysokou tepelnou odolnost a stabilitu. Během tepelného rozkladu uvolňují velmi malé množství toxických plynů. Další skupinou jsou nanomateriály na bázi uhlíku, zejména pak přírodní nanojíly. Principem je hromadění částic při tepelné degradaci na povrchu hořícího materiálu. Tím vytváří ochrannou vrstvu zpomalující šíření tepla a hořlavých plynů. [13, 14, 15]

2.5 Aplikace retardérů hoření

Látky používané jako retardéry hoření se vyskytují v kapalném stavu nebo jako sypká látka rozpustná ve vodě. Z toho vyplývá, že tyto látky můžeme aplikovat pomocí nástříku na vzorek nebo namáčením vzorku v nádobě.

Při volbě technologie aplikace namáčením bude aplikovaná látka nanášena po celém povrchu materiálu. Vlivem míry nasákavosti a vzlínivosti materiálu bude však ovlivněna nerovnoměrná aplikace stejného množství látky. Ta strana vzorku, která bude na dně nádoby, bude více nasycena, než protější strana vzorku. Aplikací touto technologií bude náročnější na materiál aplikovat požadované množství retardační látky o dané koncentraci. Vzorky je před provedením požárních zkoušek nutné vysušit. V případě aplikace namáčením bude sušení trvat déle. To bude mít za následek zvýšení nákladů při výrobě. Z hlediska technologie postupu se aplikovaná látka namíchá dle zadané koncentrace do nádoby. Musí se však namíchat v dostatečném množství, aby po vložení materiálu do nádoby byl materiál po celém svém objemu ponořený. Po vyjmutí z nádoby se materiál nechá odkapat. Pro urychlení procesu sušení se vloží do sušárny. Vysušené vzorky jsou následně připraveny ke zkoušení

V případě použití technologie aplikace nástřikem je možné nanést na materiál přesně stanovené množství retardační látky rovnoměrně po celém povrchu o požadované koncentraci. Aplikace je snadná a rychlá. Proces sušení je mnohem kratší než v případě aplikace namáčením. Z toho plynou i nižší náklady při výrobě. Z hlediska technologie postupu se namíchá přesné množství požadované látky o dané koncentraci. Ta se následně přelije do nádoby s tryskou. Pomocí této nádoby za současného promíchávání materiálu se postupně nanáší připravený roztok. Po aplikaci se materiál nechá vysušit v sušárně a následně je připraven ke zkoušení.

2.6 Mechanismus retardace hoření

Retardéry hoření můžeme rozdělit i podle způsobu působení retardace hoření. Jedná se o blokaci hoření fyzikálně nebo chemicky. Nejčastěji se však jedná o kombinaci těchto dvou způsobů.

Fyzikálních způsobů existuje několik. Jedním z nich je endotermní reakce, při které se spotřebovává teplo. Dochází tak ke snížení teploty plamene pod teplotu hoření. Dále vznikají při rozkladu retardérů inertní plyny a vodní pára. To způsobuje zředění hořlavých plynů a snižuje možnost zapálení. Další způsob je vytvoření ochranné vrstvy, která zabraňuje prostupu tepla a přísunu kyslíku. Při procesu zvaném pyrolýza dochází ke štěpení organických sloučenin materiálu, který je zahřátý na vyšší teplotu, než je jeho termická stabilita. Dochází ke vzniku organických sloučenin, které reagují s kyslíkem. Při hoření vzniká popel, který tvoří bariéru mezi ohniskem hoření a materiálem, ale i další hořlavé plyny. Po přidání retardéru hoření dochází při hoření k tvorbě sklovité vrstvy, která chrání materiál před prostupem tepla a přísunem kyslíku. Důsledkem toho vzniká více popela než hořlavých plynů podporující další hoření.

Při chemickém způsobu můžeme retardaci hoření rozdělit na reakci v plynné a pevné fázi. Reakce v plynné fázi je přerušení reakce v plamenu. Při hoření vznikají volné radikály, které podporují hoření. Principem reakce v plamenu je tvorba radikálů pomocí chemické reakce retardérů v plamenu. Při zahřátí retardéru hoření dochází k uvolnění volných radikálů, které reagují s volnými radikály hoření. Dochází při tom ke spékání polymerů namísto tvorby hořlavých látek a tím tedy ke zpomalení reakce hoření. Reakce v pevné fázi je v podstatě fyzikální způsob retardace a to pyrolýza. [13, 14, 15]

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Metodika práce

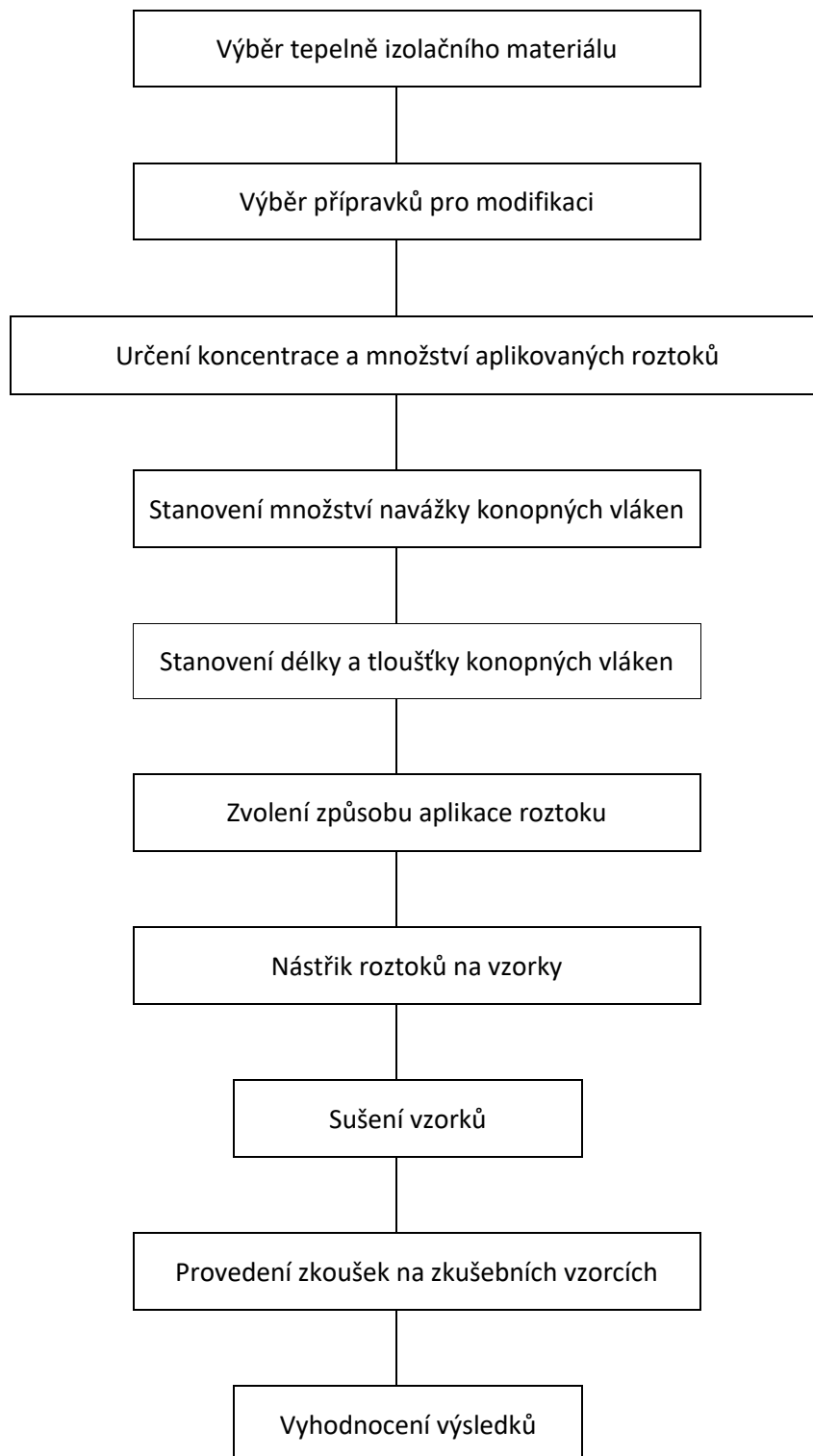
Na základě literární rešerše byl nejprve vybrán vhodný druh tepelně izolačního materiálu na bázi přírodních vláken. Pro experimentální část bylo zvoleno jemně rozvlákněné technické konopí od firmy CIUR. Dále byly vybrány různé přípravky pro modifikaci zvoleného druhu tepelně izolačního materiálu. Přípravky byly vybrány na základě průzkumu trhu a provedení literární rešerše (viz. výše).

Pro impregnaci vzorků byly vybrány následující látky:

1. Borax – Tetraboritan sodný
2. Dihydrogenfosforečnan amonný
3. Hydrogenfosforečnan dianmonný
4. Kyselina boritá
5. Uhličitan sodný (bezvodý)

Všechny výše uvedené látky byly v podobě bílého prášku, který je rozpustný ve vodě. Dále byly určeny koncentrace a množství aplikovaných roztoků na vzorky včetně množství navážky konopných vláken. Navíc bylo provedeno stanovení délky a tloušťky vláken pro úplný popis vzorků.

Následně se zvolil způsob aplikace přípravků na navážky konopných vláken. Jako nejlepší způsob byl zvolen nástřik pomocí nádoby s tryskou. Tímto způsobem se rovnoměrně po celém objemu aplikovalo přesně požadované množství přípravku. Navíc bylo aplikováno do vzorků nižší množství vlhkosti ve srovnání s máčením, proto došlo ke snadnějšímu a rychlejšímu vysušení před provedení samotných zkoušek. Takto upravená konopná vlákna se nejprve nechala vysušit v přirozených podmínkách. Poté byly naplněny tři zkušební formy (drátěné koše) pro ověření účinnosti každého přípravku. Na těchto vzorcích se provedla zkouška zápalnosti (zkouška působení malého plamene). Poté se provedla zkouška SBI test na receptuře, která nejlépe odolávala při zkoušce malého plamene. Na závěr došlo k porovnání výsledků všech vzorků a jejich následné vyhodnocení. Schéma metodiky práce je zobrazeno v následujícím obrázku (Obr. 11).



Obr. 11 Schéma metodiky postupu

3.2 Metodika zkoušek

V průběhu zkoušky se pozorovalo chování vzorku a zaznamenávaly se hodnoty pro následné vyhodnocení zkoušky. Pomocí těchto výsledků by mělo být zřejmé, jak jednotlivé druhy přípravků ovlivnili reakci na oheň u konopných vláken.

Byly provedeny následující zkoušky:

1. Stanovení tloušťky a délky vláken
2. Zkouška zápalnosti (ČSN EN ISO 11925 – 2)
3. Zkouška jednotlivým hořícím předmětem (ČSN EN 13823)

3.2.1 Stanovení délky a tloušťky vláken

Stanovením délky a tloušťky konopných vláken bylo provedeno pomocí mikroskopu. Důvodem bylo doplnění hodnot k popisu vzorku. U vláken se vždy uvádí druh vlákna, jeho délka a tloušťka. Jelikož jsou konopná vlákna velmi malých rozměrů, bylo zapotřebí použít pro měření světelný mikroskop.

Několik spletených kusů konopného vlákna se za pomoci pinzety pokud možno rozpletlo na menší části. Ty se následně umístili na podkladní sklíčko, zakáplli vodou a přeložili příložným sklíčkem. Po zaostření obrazu se provedl odečet dílků na okuláru, který se následně vynásobil poměrovým vztahem ke skutečné délce.

3.2.2 Zkouška zápalnosti

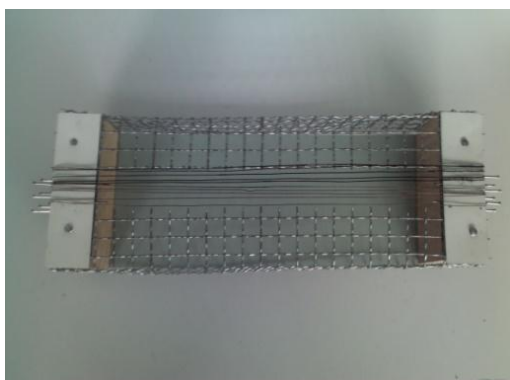
Pro zkoušku zápalnosti se někdy používá i termín zkouška malým zdrojem plamene. Přesný popis a požadavky, kterými je nutno se řídit během provádění této zkoušky, najdeme v normě ČSN EN ISO 11925 – 2: Zkoušení reakce na oheň – Zápalnost stavebních výrobků vystavených přímému působení plamene – Část 2: Zkouška malým zdrojem plamene. Jak už z názvu normy vyplívá, pomocí této zkoušky zjišťujeme chování materiálu při působení ohně.

Zkušební zařízení:

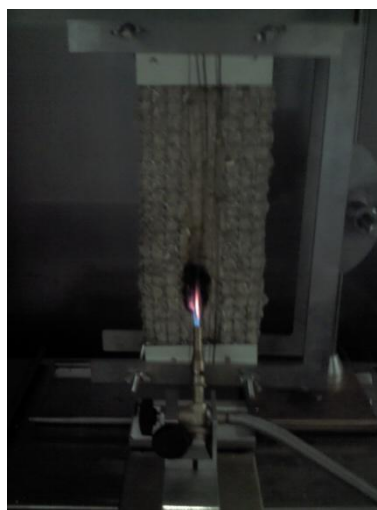
Váhy, držák na zkušební vzorky se stojanem, zdroj plamene (plynový hořák), klimatizační komora, stopky, pravítko, filtrační papír, kalibr pro výšku plamene.

Zkušební postup:

Nejprve byl naplněn drátěný košík zkušebním vzorkem (Obr. 12). Ten se následně připevnil k držáku se stojanem uvnitř klimatizační komory. Dále se zapálil kahan, nastavila se výška plamene pomocí kalibru (20 mm) a kahan se sklonil pod úhlem 45° k jeho svislé ose. Následně se zavřela dvířka od klimatizační komory a plamen se plynule posunul ke vzorku tak, aby se špička plamene dotýkala povrchu vzorku. V momentě dotyku vzorku plamenem se zapnuly stopky. Plamen se nechal působit po dobu 30 sekund (Obr. 13.), aby vzorky mohly být zařazeny do třídy reakce na oheň D. Po uplynutí této doby se kahan plynulým pohybem oddálil od zkušebního vzorku. Následně hodnotilo, zda došlo k zapálení vzorku. Dále zda špička plamene dosáhla výšky 150 mm nad místem působení plamene a ve kterém čase k tomu došlo. Navíc sledujeme, zda došlo k zapálení filtračního papíru vlivem vzniklých hořících částic uvolněných ze zkušebního vzorku.



Obr. 12 Drátěný koš



Obr. 13 Zkouška malým plamenem

3.2.3 Zkouška jednotlivým hořícím předmětem

Tato zkouška se může nazývat i SBI test z anglického pojmenování této zkoušky (Single Burning Items test). Přesný popis a požadavky, kterými je nutno se řídit během provádění této zkoušky, najdeme v normě ČSN EN 13823: Zkoušení reakce stavebních výrobků na oheň – Stavební výrobky kromě podlahových krytin vystavené tepelnému účinku jednotlivého hořícího předmětu.

Zkušební zařízení:

Vozík s držákem na vzorky, uzavřená čtvercová místnost (komora), zařízení pro odtah spalin, hlavní a pomocný plynový hořák,

Zkušební postup:

Nejprve se zkušební vzorky připevnily pomocí držáku na vozík (Obr. 14), který se následně zavezl do místnosti se zařízením pro odtah spalin, komory (Obr. 15). Vzorky se umístili na vozík tak, aby byly ve tvaru písmene „L“. Kratší strana má rozměry 0,5 x 1,5 m a delší strana má rozměry 1,0 x 1,5 m. Následně se provedla se kalibrace, změřila se vlhkost, teplota a tlak uvnitř místnosti. Dále se zapálil sekundární a poté primární hořák. Zkouška probíhala 17 minut, během kterých se během časových intervalů zvyšovala teplota (Obr. 16). Během prvních dvou minut hořel pouze sekundární hořák, při kterém se stanovoval tepelný výkon. Následně proběhlo zapálení primárního hořáku a vypnutí sekundárního hořáku. Následujících šest minut působila na vzorek teplota $647 \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Dále se na další tři minuty zvedla teplota na $2\,000 \pm 100 \text{ }^\circ\text{C}$. Následně došlo k poklesu teploty zpět na $647 \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$, která působila na vzorek další tři minuty. V posledním kroku zkoušky, tj. zbylé tři minuty jsou vypnuty oba hořáky (Obr. 17). U této zkoušky se měřil tepelný výkon a vývin kouře. Dále se pozorovalo, zda nedošlo k bočnímu (horizontálnímu) šíření plamene, tj. trvalé plamenné hoření po dobu minimálně pěti sekund na povrchu zkušebního vzorku dlouhého křídla v rozmezí výšek 500 – 1 000 mm (prostřední třetina vzorku). I u této zkoušky se pozorovalo, zda nedošlo k odpadávání plamenných kapek a částic během prvních 600 sekund zkoušky.



Obr. 14 Upevnění vzorku na vozík



Obr. 15 Zavezení vozíku do komory



Obr. 16 Průběh zkoušky



Obr. 17 Vzorek po ukončení zkoušky

3.3 Metodika výroby zkušebních vzorků

Pro výrobu vzorků u zkoušky zápalnosti byla použita jemně rozvlákněná konopná vlákna. Zvolila se objemová hmotnost 100 kg/m^3 . Následně se vypočítal objem drátěného koše, do kterého se konopná vlákna naplnila. Jeho rozměry byly $90 \times 200 \times 40 \text{ mm}$ (Obr. 19). Při objemu 720 cm^3 bylo vypočteno, že pro naplnění jednoho koše bude potřeba 72 g konopného vlákna. Celková navážka včetně rezervy byla 400 g k naplnění tří drátěných košů pro aplikaci jednoho roztoku stejného dávkování. Celkem bylo vyrobeno 15 variant dávek (Obr. 18) a jeden referenční vzorek.



Obr. 18 Namíchané dávky



Obr. 19 Připravený vzorek

Dále byly stanoveny koncentrace jednotlivých přípravků pro aplikaci na rozvlákněná konopná vlákna. U boraxu a dihydrogenfosforečnanu amonného byly použity doporučené hodnoty maximální rozpustnosti ve vodě výrobcem. U ostatních tří

látek byla zvolena 10% koncentrace roztoku. Jedním z důvodů je zachování stejné cenové hladiny u všech látek. Při volbě nižší hodnoty koncentrace by hrozilo riziko neúčinnosti látky.

Koncentrace jednotlivých roztoků:

Tetraboritan sodný dekahydrát (Borax)	... 2,5 g na 100 ml vody
Kyselina boritá	... 5,0 g na 100 ml vody
Uhličitan sodný	... 10,0 g na 100 ml vody
Hydrogenfosforečnan diamonný	... 10,0 g na 100 ml vody
Dihydrogenfosforečnan amonný	... 10,0 g na 100 ml vody

Pro každý roztok byly zvoleny tři hodnoty dávkování, a to 50 hm. %, 75 hm. % a 100 hm. % (Tab. 2).

Tab. 2 Dávkování roztoků

Dávkování	Hmotnost roztoku na 100 g materiálu [g]	Hmotnost materiálu [g]	Poměr roztoku a materiálu	Celkové množství roztoku [g]
50 hmot. %	50	400	1:0,50	200
75 hmot. %	75	400	1:0,75	300
100 hmot. %	100	400	1:1	400

Pro aplikaci každého druhu chemikálie se namíchalo celkové množství roztoku 950 g, kde 50 g tvořilo rezervu pro zajištění funkčnosti nádoby s tryskou (Tab. 3). Následně se roztok nastříkal na množství navážky konopného vlákna (400 g). Pro zajištění přesně nastříkaného množství dle určeného dávkování v tab. 2 se prováděl průběžně odečet hmotnosti nádoby s tryskou. Takto vytvořený vzorek se nechal týden vysušit, než proběhlo jeho zkoušení.

Tab. 3 Namíchané receptury

Chemikálie	Hmotnost chemikálie [g]	Hmotnost vody [g]	Celkové množství roztoku [g]
Borax	23,75	950	950
Dihydrogenfosforečnan amonný	47,50	950	950
Hydrogenfosforečnan diamonný	95,00	950	950
Kyselina boritá	95,00	950	950
Uličitan sodný	95,00	950	950
Bez ošetření	-	-	-

Pro přípravu vzorků u zkoušky jednotlivým hořícím předmětem byla použita jemně rozvlákněná konopná vlákna obsahující retardační příměs borax. Tato směs dosáhla nejlepších hodnot při zkoušce malého plamene, proto byla použita pro provedení SBI testu. Takto upravená směs se následně naplnila do drátěných klecí (Obr. 20) a připevnila pomocí držáku na vozík. Ten byl následně zavezen do místnosti (komory), kde proběhla zkouška.



Obr. 20 Připravený vzorek

V případě stanovení délky a tloušťky vláken byly použity stejné vzorky, jako při zkoušce zápalnosti (reakce na oheň). Pro změření hodnot byl použit světelný mikroskop. Spletence konopných vláken byly pomocí pinzety rozpleteny na menší kusy a následně umístěny na podkladní sklíčko, kde se zakáplí vodou a přeložili příložným sklíčkem.

3.4 Provedení a výsledky zkoušek

3.4.1 Stanovení délky a tloušťky vláken

Pomocí mikroskopu se stanovovala hodnota délky a tloušťky vláken. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 9. Pro přepočítání skutečného rozměru byla použita u tloušťky vláken hodnota 0,0757 mm, která byla rovna velikosti jednoho dílku na okuláru mikroskopu. Při měření délky vláken byla použita hodnota pro přepočítání skutečného rozměru 0,05 mm, která byla rovna velikosti jednoho dílku na okuláru mikroskopu. Po změření hodnot byl proveden výpočet průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (Tab. 10).

Tab. 9 Rozměry konopných vláken

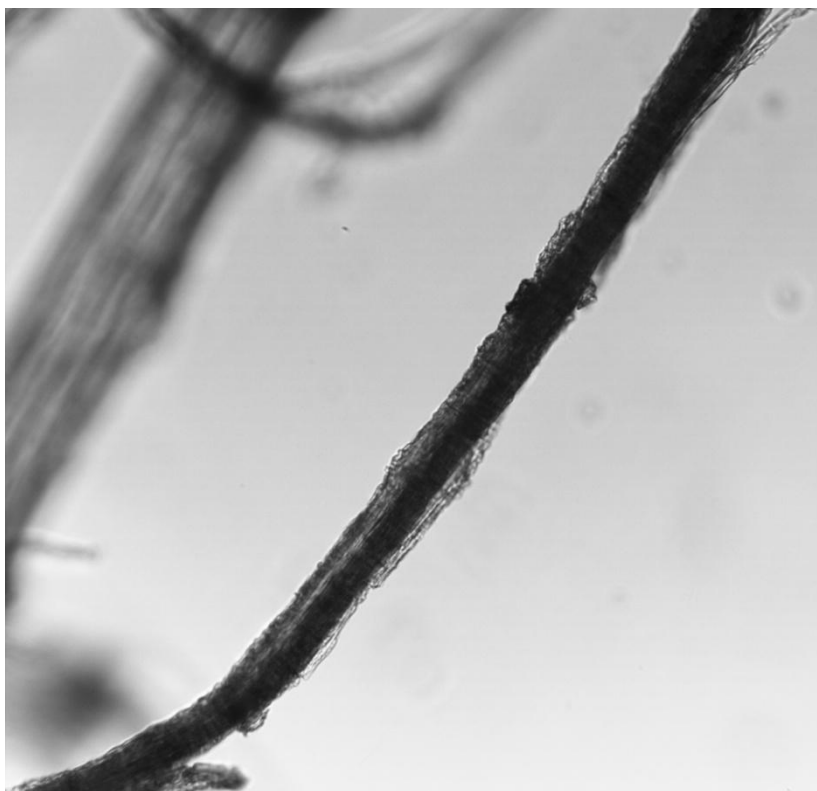
Č.v.	Tloušťka		Č.v.	Tloušťka		Č.v.	Délka		Č.v.	Délka	
	Počet dílků [-]	Skutečný rozměr [mm]		Počet dílků [-]	Skutečný rozměr [mm]		Počet dílků [-]	Skutečný rozměr [mm]		Počet dílků [-]	Skutečný rozměr [mm]
1	3,0	0,23	26	3,0	0,23	1	33,0	1,65	26	9,0	0,45
2	4,0	0,30	27	4,0	0,30	2	12,0	0,60	27	11,0	0,55
3	4,0	0,30	28	3,0	0,23	3	17,0	0,85	28	7,0	0,35
4	3,0	0,23	29	5,0	0,38	4	2,0	0,10	29	14,0	0,70
5	8,0	0,61	30	2,0	0,15	5	4,0	0,20	30	15,0	0,75
6	6,0	0,45	31	7,0	0,53	6	15,0	0,75	31	18,0	0,90
7	2,0	0,15	32	3,0	0,23	7	22,0	1,10	32	9,0	0,45
8	1,0	0,08	33	3,0	0,23	8	19,0	0,95	33	11,0	0,55
9	3,0	0,23	34	4,0	0,30	9	16,0	0,80	34	8,0	0,40
10	2,0	0,15	35	1,0	0,08	10	45,0	2,25	35	8,0	0,40
11	6,0	0,45	36	3,0	0,23	11	38,0	1,90	36	7,0	0,35
12	1,0	0,08	37	4,0	0,30	12	24,0	1,20	37	10,0	0,50
13	2,0	0,15	38	2,0	0,15	13	5,0	0,25	38	5,0	0,25
14	5,0	0,38	39	3,0	0,23	14	8,0	0,40	39	3,0	0,15
15	1,0	0,08	40	3,0	0,23	15	12,0	0,60	40	3,0	0,15
16	7,0	0,53	41	4,0	0,30	16	14,0	0,70	41	7,0	0,35
17	5,0	0,38	42	4,0	0,30	17	7,0	0,35	42	4,0	0,20
18	1,0	0,08	43	5,0	0,38	18	13,0	0,65	43	3,0	0,15
19	1,0	0,08	44	1,0	0,08	19	21,0	1,05	44	6,0	0,30
20	3,0	0,23	45	4,0	0,30	20	19,0	0,95	45	6,0	0,30
21	3,0	0,23	46	5,0	0,38	21	15,0	0,75	46	42,0	2,10
22	1,0	0,08	47	3,0	0,23	22	18,0	0,90	47	28,0	1,40
23	3,0	0,23	48	3,0	0,23	23	20,0	1,00	48	11,0	0,55
24	13,0	0,98	49	3,0	0,23	24	6,0	0,30	49	7,0	0,35
25	3,0	0,23	50	2,0	0,15	25	8,0	0,40	50	13,0	0,65

Tab. 10 Průměrná hodnota ($\bar{\varnothing d}$) a směrodatná odchylka (s)

	Tloušťka [mm]	Délka [mm]
$\bar{\varnothing d}$	0,26	0,68
s	0,16	0,49

Dílčí závěr

Na základě získaných hodnot (Tab. 9) byla vypočtena průměrná hodnota ($\bar{\varnothing d}$) a směrodatná odchylka (s); (Tab. 10). Průměrná hodnota tloušťky vláken byla 0,26 mm a směrodatná odchylka byla 0,16 mm. V případě délky byla průměrná hodnota 0,68 mm a směrodatná odchylka byla 0,49 mm. (Obr. 21).



Obr. 21 Konopné vlákno zvětšeno 80x

3.4.2 Zkouška zápalnosti

Pomocí zkoušky zápalnosti byla stanovena reakce na oheň konopných vláken. Zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 11925 – 2. Po ukončení zkoušky proběhlo vyhodnocení naměřených výsledků. Hodnotilo se, zda špička plamene hořáku dosáhla výšky 150 mm nad místem působení plamene během 30 sekund. Zaznamenané výsledky jsou uvedeny v následujících tabulkách (Tab. 4 a 5). Dále se pozorovalo, zda u vzorků došlo k plamennému hoření, zda vznikaly během pokusu hořící kapky nebo hořící částice, zda došlo k zapálení filtračního papíru. Pokud se tak nestalo, vzorky vyhověly požadavku pro zařazení do třídy reakce na oheň D.

Tab. 4 Naměřené hodnoty výšky špičky plamene upravených vzorků

Chemikálie	Výška špičky plamene [mm]								
	50 hmot. %			75 hmot. %			100 hmot. %		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Borax	40	40	40	35	40	45	40	40	45
Dihydrogenfosforečnan amonný	60	70	60	60	60	50	45	55	65
Hydrogenfosforečnan diamonný	50	55	70	55	65	60	70	70	70
Kyselina boritá	60	50	65	35	55	55	55	60	55
Uličitan sodný	45	40	45	45	60	40	50	45	40

Tab. 5 Naměřené hodnoty výšky špičky plamene neupravených vzorků

Referenční vzorek	Výška špičky plamene [mm]		
	1	2	3
	45	45	55

U žádného ze zkušebních vzorků nedošlo k plamennému hoření, nevznikaly hořící kapky ani hořící částice. Ve všech případech zůstal filtrační papír umístěný pod zkušebním vzorkem nepoškozen (nebyl zapálen).

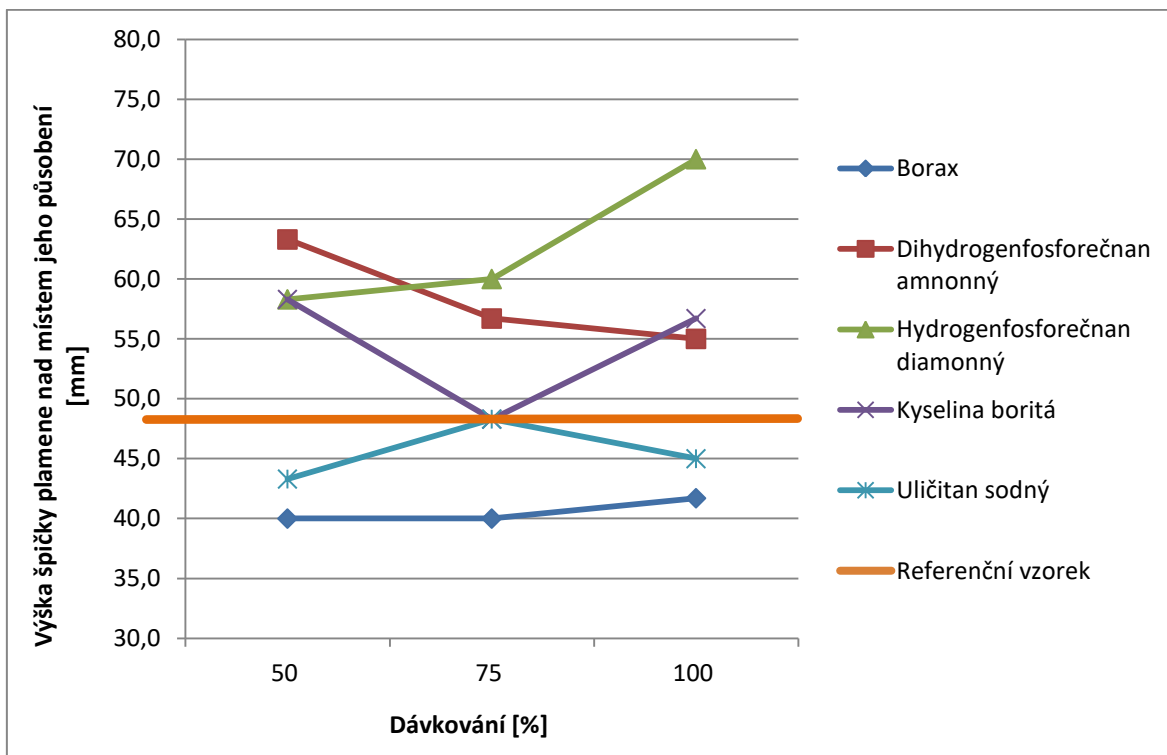
Tab. 6 Průměrné hodnoty z měření zkoušky reakce na oheň

Chemikálie	Ø Výška špičky plamene [mm]			Třída reakce na oheň
	50 hmot. %	75 hmot. %	100 hmot. %	
Borax	40,0	40,0	41,7	D
Dihydrogenfosforečnan amonný	63,3	56,7	55,0	D
Hydrogenfosforečnan diamonný	58,3	60,0	70,0	D
Kyselina boritá	58,3	48,3	56,7	D
Uličitan sodný	43,3	48,3	45,0	D
Referenční vzorek	48,3			D

Dílčí závěr

Na základě průměrných hodnot zkoušky reakce na oheň malým plamenem (Tab. 6) můžeme konstatovat, že pouze ve dvou případech došlo ke zlepšení účinku reakce na oheň (Obr. 22). Zlepšení výsledků vykazují pouze vzorky obsahující borax a uličitan sodný. Naopak ke zhoršení reakce na oheň došlo u ostatních vzorků. Dle normy

ČSN EN 13 501 – 1+A1 můžeme všechny vzorky dle zkoušky zápalnosti (malým plamenem) zařadit do třídy D.



Obr. 22 Zkouška zápalnosti znázorňující ovlivnění reakce na oheň

3.4.3 Zkouška jednotlivým hořícím předmětem

Touto zkouškou se zjišťovalo chování materiálu při působení jednotlivého hořícího předmětu dle normy ČSN EN 13823. Po ukončení zkoušky proběhlo vyhodnocení výsledků a hodnot naměřených během zkoušky. V průběhu zkoušky se měřil tepelný výkon a vývin kouřem, množství odpadnutých hořících kapek nebo částí. Dále se hodnotilo boční šíření plamene po povrchu vzorku. Naměřené hodnoty a výsledky pozorování zkoušky jsou zapsány v následující tabulce (Tab. 7).

Tab. 7 Výsledky zkoušky jednotlivým hořícím předmětem

Zkušební těleso:		Konopná vlákna + borax	
Datum zkoušky:		18. 5. 2017	
Sledované parametry	Naměřené hodnoty	Požadavky dle normy	Zatřídění
LFS > hrana	Ne	Ne	B
FIGRA _{0,2 MJ} [W/s]	98,22 W/s	≤ 120 W/s	B
FIGRA _{0,4 MJ} [W/s]	65,00 W/s		
THR _{600 s} [MJ]	3,8 MJ	≤ 75 MJ	B
SMOGRA [m ² /s ²]	0 m ² /s ²	< 30 m ² /s ²	s ₁
TSP _{600 s} [m ²]	22,39 m ²	< 50 m ²	s ₁
Odpadávající částice	Ne	Ne	d ₀
Doba hoření částic [s]	0 s	0 s	

LFS ... horizontální šíření plamene po povrchu vzorku dlouhého křídla ve výšce 500 – 1 000 mm (prostřední třetina vzorku)

FIGRA_{0,2 MJ} ... index rychlosti rozvoje požáru při dosažení THR hodnoty 0,2 MJ [W/s]

FIGRA_{0,4 MJ} ... index rychlosti rozvoje požáru při dosažení THR hodnoty 0,4 MJ [W/s]

THR_{600 s} ... celkové množství uvolněného tepla za 600 s [MJ]

SMOGRA ... rychlost vývinu kouře [m²/s²]

TSP_{600 s} ... celkové množství vyvinutého kouře za 600 s [m²]

Tab. 8 Klasifikace reakce na oheň

Chování při hoření	Vývin kouře		Odpadající hořící částice	
B	s	1	d	0

Dílčí závěr

Na základě získaných hodnot zkoušky jednotlivým hořícím předmětem (Tab. 7) můžeme zkušební vzorek zařadit dle klasifikace reakce na oheň do třídy B – s₁, d₀ (Tab. 8). Zkouška byla provedena dle normy ČSN EN 13823.

4 ZÁVĚR

Tato práce se zabývala studiem přírodních tepelně a akusticky izolačních materiálů. Cílem bylo provést jejich úpravu pomocí různých prostředků a docílit jejich vyšší odolnost při působení plamene. Na základě informací získaných z odborných článků byla pro provedení modifikace vybrána jemně rozvlákněná vlákna technického konopí. Pro zlepšení protipožárních účinků bylo vybráno pět různých chemických látek. Konkrétně se jednalo o tetraboritan sodný, někdy nazývaný jako borax, dále dihydrogenfosforečnan amonný, hydrogenfosforečnan diamonný, kyselina boritá a uhličitán sodný (bezvodý). Tyto chemické látky byly na konopná vlákna aplikovány nástřikem. Takto upravené vzorky se nechaly vysušit a byla na nich následně provedena zkouška reakce na oheň působením malého plamene. Ze získaných výsledků bylo provedeno vyhodnocení a zařazení jednotlivých vzorků do třídy reakce na oheň. U dvou přípravků byl prokázán pozitivní účinek snížení hořlavosti konopných vláken. Největší snížení hořlavosti dosáhli vzorky s přídatkem tetraboritanu sodného (boraxu). O něco nižší účinek snížení hořlavosti konopných vláken dosáhly vzorky obsahující uhličitán sodný (soda). Ostatní látky naopak účinek hořlavosti zvyšovaly oproti hodnotám referenčního (neupraveného) vzorku. Nejvyšší nárůst hořlavosti byl zaznamenán u vzorku obsahující hydrogenfosforečnan diamonný. I když u některých vzorků bylo zaznamenáno zhoršení reakce na oheň, všechny lze klasifikovat dle zkoušky malým plamenem do třídy reakce na oheň D.

Následně se provedla zkouška jednotlivým hořícím předmětem (SBI test). Pro tuto zkoušku byla připravena konopná vlákna s tetraboritanem sodným, tedy s přípravkem, který nejvíce snížil hořlavost vzorků použitých při zkoušce malého plamene. Během zkoušky nedošlo k horizontálnímu šíření plamene po povrchu vzorku. Zároveň během zkoušky nedošlo k odpadávání hořících částic. Z výsledků zkoušky můžeme tento vzorek klasifikovat dle zkoušky jednotlivým hořícím předmětem do třídy reakce na oheň B – s₁, d₀. Hodnoty pro zařazení do této třídy reakce na oheň splnil testovaný vzorek s rezervou, proto má jistě význam provést zkoušky pro zařazení do vyšší třídy reakce na oheň dle zkoušky jednotlivým hořícím předmětem.

Závěrem se provedli srovnávací měření klíčových parametrů a nebyl zjištěn významnější rozdíl ve vlastnostech surových a modifikovaných vláken.

5 POUŽITÉ ZDROJE

- [1] ČSN 73 0540 – 1, Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie, Praha: Český normalizační institut, 2005, 68 s.
- [2] Zach J., Speciální izolace – studijní opory M01. Brno: 2006
- [3] Šípková V., Korbelová Š., Labudek J., Kraus M., Stavební tepelné izolace pro svislé konstrukce, Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2014, 56 s., ISBN 978-80-248-3661-4
- [4] Beneš P., Požární bezpečnost staveb – Modul M01, Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2015, 202 s., ISBN 978-80-7204-943-1
- [5] Kupilík V., Konstrukce pozemních staveb – Požární bezpečnost staveb, Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2009, 195 s., ISBN 978-80-01-04291-5
- [6] Šípková V., Korbelová Š., Labudek J., Kraus M., Stavební tepelné izolace pro svislé konstrukce, Ostrava: AMOS repro, spol. s.r.o., 2014, 56 s., ISBN 978-80-248-3661-4
- [7] ČSN 73 0810, Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016, 64 s.
- [8] Zpracování konopných vláken. Konopa – občanské sdružení [online]. Dostupné z: <<http://www.konopa.cz/zpracovani/o-tirnach-aneb-dolovani-vlaken-z-konopi.html>>
- [9] BiCo vlákno. Přírodní stavba [online]. Cit. [2. 5. 2017]. Dostupné z: <<http://www.prirodnistavba.cz/wordbook/bico-vlakno-7.html>>
- [10] Struhařová V., Akustické vlastnosti polyuretanů a skelných tkanin v sendvičové struktuře, Diplomová práce, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín 2010, [online]. Cit. [3. 5. 2017]. Dostupné z: <<http://hdl.handle.net/10563/12334>>
- [11] Foukaná izolace, IZO TRADE s.r.o. [online]. Cit. [7. 5. 2017]. Dostupné z: <<http://www.izolace-izotrade.cz/historie/>>
- [12] Celulózové vlákno, IZO TRADE s.r.o. [online]. Cit. [7. 5. 2017]. Dostupné z: <<http://www.izolace-izotrade.cz/celulozove-vlakno/>>
- [13] Münster L., Modifikace hořlavosti polymerních materiálů a hodnocení efektivnosti těchto modifikací, Bakalářská práce, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín 2011, [online]. Cit. [7. 5. 2017]. Dostupné z: <<http://digilib.k.utb.cz/handle/10563/17124>>

- [14] Petrová Š., Soudek P., Vaněk T., Retardanty hoření, jejich použití a vliv na životní prostředí, Ústav experimentální botaniky Akademie věd České Republiky v.v.i., Praha 6 2015, [online]. Cit. [7. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2015_09_679-686.pdf>
- [15] Kuba P., Studium materiálů obsahujících retardéry hoření metodami termické analýzy, Diplomová práce, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín 2010, [online]. Cit. [7. 5. 2017]. Dostupné z: <<http://digilib.k.utb.cz/handle/10563/13666>>
- [16] 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, 32 s.
- [17] Chytil V., Retardéry hoření a jejich průnik do terestrického ekosystému, Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Brno 2014, [online]. Cit. [8. 5. 2017]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=81512>
- [18] Celulózová vlákna papír, [online]. Cit. [17. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.svettisku.cz/buxus/images/odpady_ST_5-6_2012_2.jpg>
- [19] Celulózové vlákno, [online]. Cit. [17. 5. 2017]. Dostupné z: <<https://media.novinky.cz/104/561043-original1-11ca4.jpg>>
- [20] Technické konopí koudel, [online]. Cit. [17. 5. 2017]. Dostupné z: <<http://ekooko.cz/wp-content/uploads/2015/07/konop%C3%AD-stonek-vyu%C5%BEit%C3%AD.jpg>>
- [21] Dřevní vlákno, [online]. Cit. [17. 5. 2017]. Dostupné z: <<http://webmium.blob.core.windows.net/users/114105/assets/b5920eca7266c77ada07d62828ddc36/vyroba2.jpg>>
- [22] Dřevní vlákno, [online]. Cit. [17. 5. 2017]. Dostupné z: <<http://shop.lamaisonecologique.be/3105/steico-zell-fibres-de-bois-a-insuffler-sacs-de-15kg.jpg>>
- [22] Denim recyklovaný, [online]. Cit. [17. 5. 2017]. Dostupné z: <<http://www.ecouterre.com/wp-content/uploads/2010/07/bonded-logic-recycled-denim-insulation.jpg>>
- [23] Trojúhelník hoření, [online]. Cit. [17. 5. 2017]. Dostupné z: <<http://docplayer.cz/docs-images/27/11876134/images/39-0.png>>

- [24] 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, 48 s.
- [25] ČSN EN ISO 1182, Zkoušení reakce výrobků na oheň – Zkouška nehořlavosti, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010, 36 s.
- [26] ČSN EN ISO 1716, Zkoušení reakce výrobků na oheň – Stanovení spalného tepla, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010, 28 s.
- [27] ČSN EN 13823+A1, Zkoušení 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, 102 s.
- [28] Janošová J., Aditiva užívaná pro snížení hořlavosti styrenových kopolymerů, Bakalářská práce, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín 2009, [online]. Cit. [7. 5. 2017]. Dostupné z: <<http://digilib.k.utb.cz/handle/10563/10034>>
- [29] Historie izolací v ČR. CIUR a.s. [online]. Dostupné z: <<http://www.ciur.cz>>
- [30] Nečesaný J., Papír z konopného vlákna, Bakalářská práce, Univerzita Pardubice, Pardubice, 2013, [online]. Cit. [17. 5. 2017]. Dostupné z: <https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/53242/Ne%20esan%FDJ_Pa;jsessionid=84212AC4C184911E9A8D96801CA4ED35?sequence=2>