



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT
A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND
COMPONENTS

VÝVOJ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH MATERIÁLŮ NA BÁZI PŘÍRODNÍCH VLÁKEN

DEVELOPMENT OF THERMAL ISULATION MATERIALS BASED ON NATURAL FIBERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. ANDREA SLÍPKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ ZACH, Ph.D.



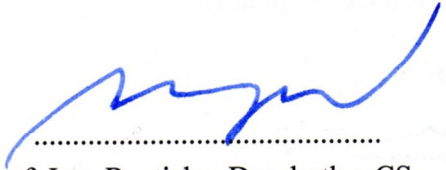
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

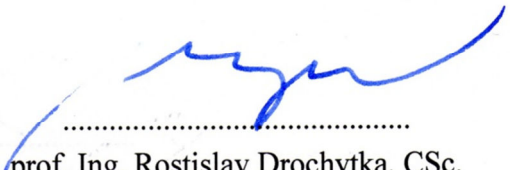
| | |
|--------------------------------|---|
| Studijní program | N3607 Stavební inženýrství |
| Typ studijního programu | Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia |
| Studijní obor | 3607T020 Stavebně materiálové inženýrství |
| Pracoviště | Ústav technologie stavebních hmot a dílců |

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

| | |
|--|--|
| Diplomant | Bc. Andrea Slípková |
| Název | Vývoj tepelně izolačních materiálů na bázi přírodních vláken |
| Vedoucí diplomové práce | Ing. Jiří Zach, Ph.D. |
| Datum zadání diplomové práce | 31. 3. 2012 |
| Datum odevzdání diplomové práce | 11. 1. 2013 |

V Brně dne 31. 3. 2012


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


.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
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] Pytlík, P, Vlastnosti a užití stavebních výrobků, VUTIUM, Brno 1998
- [3] Matoušek, M., Lehké stavební látky II, SNTL, Praha 1985
- [4] Šťastník, S., ZACH, J., Stavební akustika a zvukoizolační materiály, CERM, Brno 2002
- [5] Šťastník, S., Zach, J., Zkoušení izolačních materiálů, CERM, Brno 2002

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Diplomová práce se bude věnovat možnostem vývoje nových tepelně izolačních materiálů na bázi přírodních obnovitelných surovinových zdrojů – především se bude jednat o technické konopí (případně o len olejný). Cílem práce bude studium vlastností vytipovaných zástupců izolačních materiálů na přírodní bázi a provedení návrhu modifikace jejich vlastností v oblasti nasákavosti, navlhavosti a reakce na oheň. Konkrétně se bude jednat o návrh zlepšení citlivosti vůči vlhkosti z pohledu výsledných tepelně izolačních vlastností, snížení celkové nasákavosti materiálu a zlepšení reakce na oheň při použití dodatečných přísad. Z výsledků zkoušek budou vyvozeny závěry a bude provedeno srovnání vlastností nově modifikovaných materiálů s tepelně izolačními materiály běžně dostupnými na stavebním trhu v ČR.

Struktura bakalářské/diplomové 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 část VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



.....
Ing. Jiří Zach, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Tato práce se zabývá možnostmi vývoje nových tepelně izolačních materiálů na bázi přírodních obnovitelných surovinových zdrojů (především se jedná o technické konopí). Cílem práce je modifikace tepelně izolačních rohoží na bázi přírodních vláken pomocí různých chemických látek pro zlepšení vlhkostních, tepelně izolačních a požárních vlastností.

Abstract

The thesis discusses possibilities of use new thermal insulation materials based on natural renewable resources (primary technical hemp) in development of the new thermal insulation materials. The main task (in the work) is to find modifications of the thermal insulation mats based on natural fibres by chemicals substances to improve the moisture properties, thermal properties and fire resistance.

Klíčová slova

Tepelně izolační rohož, přírodní vlákno, technické konopí, protipožární úprava, hydrofobizační úprava, fyzikální vlastnosti, tepelně technické vlastnosti, vlhkostní vlastnosti, reakce na oheň.

Keywords

Thermal insulation mats, natural fibre, technical hemp, flame retardant, hydrophobic agent, physical properties, thermal performance, moisture properties, reaction to fire.

Bibliografická citace VŠKP

SLÍPKOVÁ, Andrea. *Vývoj tepelně izolačních materiálů na bázi přírodních vláken*. Brno, 2013. 86 s., 6 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Jiří Zach, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. ledna 2013

Podpis:.....

Poděkování

Ráda bych na tomto místě poděkovala vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Zachovi, Ph.D. a Ing. Jitce Hroudové za ochotu, cenné rady při vypracování této práce a odbornou pomoc při provádění laboratorních zkoušek.

Obsah

| | |
|---|-----------|
| Úvod | 9 |
| 1 TEORETICKÁ ČÁST | 11 |
| 1.1 Přírodní vlákna pro tepelné izolace..... | 11 |
| 1.1.1 Rozdělení přírodních vláken pro tepelné izolace..... | 11 |
| 1.1.2 Struktura lýkových vláken | 11 |
| 1.1.3 Vlastnosti lýkových vláken..... | 12 |
| 1.1.4 Vybrané druhy přírodních vláken pro tepelné izolace..... | 15 |
| 1.2 Výroba izolačních rohoží..... | 20 |
| 1.2.1 Příprava přírodních vláken..... | 20 |
| 1.2.2 Příprava vlákenných vrstev | 21 |
| 1.2.3 Zpevňování izolačních rohoží..... | 22 |
| 1.2.4 Příklady technologií výroby izolačních rohoží | 23 |
| 1.3 Vlastnosti tepelně izolačních desek..... | 26 |
| 1.4 Úprava přírodních vláken | 28 |
| 1.4.1 Hydrofobizační úprava..... | 29 |
| 1.4.2 Protipožární úprava (retardéry hoření)..... | 33 |
| 1.5 Požadavky na přírodní izolační materiály z pohledu jejich užití ve stavebních konstrukcích | 38 |
| 1.5.1 Tepelná ochrana budov | 39 |
| 1.5.2 Požární bezpečnost..... | 39 |
| 2 CÍL PRÁCE..... | 41 |
| 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST | 42 |
| 3.1 Metodika práce..... | 42 |
| 3.2 Metodika zkoušení vzorků | 45 |
| 3.2.1 Stanovení lineárních rozměrů | 45 |
| 3.2.2 Stanovení objemové hmotnosti..... | 46 |
| 3.2.3 Stanovení krátkodobé nasákavosti | 47 |
| 3.2.4 Stanovení rovnovážné sorpční vlhkosti | 48 |
| 3.2.5 Stanovení součinitele tepelné vodivosti..... | 49 |
| 3.2.6 Stanovení reakce na oheň pomocí zkoušky malým plamenem..... | 50 |
| 3.3 Použité materiály..... | 51 |
| 3.3.1 Konopné izolační rohože | 51 |
| 3.3.2 Hydrofobizační prostředky | 52 |
| 3.3.3 Protipožární prostředky..... | 53 |
| 3.4 Metodika přípravy zkušebních vzorků | 55 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 3.4.1 | Receptury roztoků..... | 55 |
| 3.4.2 | Aplikace roztoků na zkušební vzorky..... | 56 |
| 3.5 | Provádění a výsledky zkoušek | 59 |
| 3.5.1 | Stanovení lineárních rozměrů | 59 |
| 3.5.2 | Stanovení objemové hmotnosti..... | 59 |
| 3.5.3 | Stanovení krátkodobé nasákavosti..... | 61 |
| 3.5.4 | Stanovení rovnovážné sorpční vlhkosti | 62 |
| 3.5.5 | Stanovení součinitele tepelné vodivosti..... | 63 |
| 3.5.6 | Stanovení reakce na oheň pomocí zkoušky malým plamenem..... | 65 |
| 3.6 | Diskuze výsledků | 69 |
| 3.6.1 | Hydrofobizační úpravy | 69 |
| 3.6.2 | Protipožární úpravy..... | 73 |
| 3.6.3 | Cenové srovnání jednotlivých prostředků..... | 74 |
| ZÁVĚR..... | | 76 |
| Použité zdroje..... | | 78 |
| Seznam použitých zkratk a symbolů..... | | 84 |
| Seznam příloh..... | | 86 |
| Příloha 1: Charakteristické vlastnosti hydrofobizačních přípravků..... | | 87 |
| Příloha 2 : Charakteristické vlastnosti protipožárních přípravků | | 90 |

Úvod

Hodnota stavebního díla závisí nejen na vhodně navržené a provedené stavební konstrukci, ale také na návrhu a provedení přidružených prací. Zvláště náročné jsou práce spojené s ochranou stavby proti účinkům vody (atmosférické i podzemní), proti hluku a proti působením chladu, tepla a požáru.

Tato práce se zabývá materiály, které ochraňují stavební dílo proti působení chladu a tepla - tepelnými izolacemi. Obecně je tepelně izolační materiál definován podle ČSN EN ISO 9229 jako materiál, který omezuje prostup tepla a jehož izolační vlastnosti vyplývají z jeho chemického složení a fyzikální struktury. [1]

Tepelně izolační výrobek je izolační materiál v konečné podobě včetně opláštění nebo povrchových vrstev, který je určen k omezení přenosu tepla konstrukcí na kterou nebo do které je zabudován. [1] V některých případech je funkce tepelné izolace zajišťována materiálem nebo systémem navrženým za zcela jiným účelem. Např. nosná zeď v budově. V mnoha jiných případech systém sám není postačující a je nezbytné použít další izolační materiál za účelem snížení tepelných ztrát stavební konstrukce z ekonomických i ekologických důvodů.

V konstrukci se teplo může šířit třemi způsoby, vedením (kondukcí), prouděním (konvencí) a sáláním (radiací). Nejdůležitějším způsobem šíření tepla je vedení, což je postupné odevzdávání kinetické energie molekulám tělesa při jejich dotyku. Schopnost materiálu vést teplo charakterizuje součinitel tepelné vodivosti λ [W/(m·K)]. Hodnota tohoto součinitele závisí na mnoha faktorech, převážně na vlhkosti, teplotě nebo objemové hmotnosti materiálu. Šíření tepla prouděním má význam u látek s vyšší pórovitostí, protože prouděním se teplo šíří jen v plynných a kapalných látkách tak, že se částice látek pohybují a přitom přenášejí teplo. Při šíření tepla sáláním nastává přenos elektromagnetických vln s vlnovou délkou 0,75 – 400 μm , které se šíří v prostoru rychlostí světla. Sálavá schopnost je závislá na teplotě a vlastnostech povrchu materiálu. [2]

Ve stavebnictví se využívá mnoho různých druhů tepelných izolací. V současné době se v ČR převážně využívají syntetické materiály, jako je například minerální vlna nebo polystyren. Tato práce se zabývá tepelnými izolacemi na bázi přírodních vláken získávaných ze zemědělských rostlin.

Vlákna rostlinného původu se v minulosti hojně využívala v roubených stavbách. Koudel lnu nebo konopí se tradičně využívala pro izolační pásy mezi trámy. V uplynulém desetiletí se vyvinulo mnoho dalších typů rohoží vyráběných v různých tloušťkách, které jsou dnes využívány i v moderních stavbách a i přes svůj historický původ jsou dnes brány jako

nové materiály na poli tepelných izolací. Izolace na bázi přírodních vláken se hojně využívá pro izolaci podlah, vnitřních či vnějších stěn staveb, nebo jako výplňová izolace mezi stropy či krokve staveb. Tato izolace je vhodná nejen pro dřevostavby, ale i pro zděné konstrukce. Musí se ovšem dodržovat doporučené skladby konstrukcí, aby byla izolace účinná.

Velkou výhodou izolací na bázi přírodních vláken je nízká hodnota součinitele tepelné vodivosti, ale i přírodní charakter vstupních vláken. Další výhodou je, že se jedná o obnovitelný materiál, který zároveň příliš nezatěžuje životní prostředí. Při srovnání vlastností například s minerální vlnou mají izolace na bázi přírodních vláken srovnatelné, mnohdy i lepší tepelně technické vlastnosti (např. tepelná kapacita nebo již zmíněný součinitel tepelné vodivosti). Izolace na bázi přírodních vláken mají bohužel i slabé stránky. Vykazují většinou vzhledem k vysoké otevřené pórovitosti vysokou nasákavost. Musí se chránit proti biologickému napadení (převážně proti působení plísní) a velkou nevýhodou je jejich hořlavost. Bez úpravy vykazují většinou třídu reakce na oheň F.

Tato práce má za úkol modifikovat tepelně izolační materiály na bázi přírodních vláken pomocí různých úprav za účelem snížení nasákavosti, navlhavosti a hořlavosti.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Přírodní vlákna pro tepelné izolace

Materiály na bázi přírodních vláken z obnovitelných surovinových zdrojů jsou v dnešní době stále oblíbenější. Díky své nízké objemové hmotnosti a buněčné struktuře vykazují velmi dobré zvukově a tepelně izolační vlastnosti, mnohdy lepší a výhodnější než vlákna syntetická. [3]

1.1.1 Rozdělení přírodních vláken pro tepelné izolace

Přírodní vlákna dělíme na vlákna **živočišná** (např. ovčí vlna) a **rostlinná** (např. konopné nebo lněné vlákno). Tato práce se zabývá tepelnými izolacemi na bázi přírodních vláken, které se získávají ze zemědělských rostlin. Rozlišujeme rostlinná vlákna z různých částí rostlin:

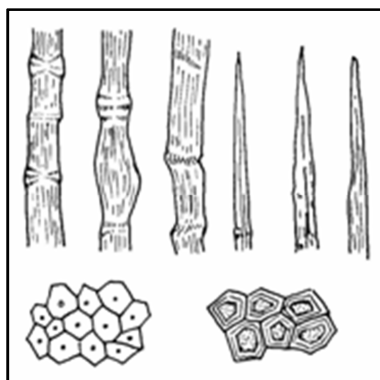
- lýková (len, konopí, juta, kenaf, ramie...),
- ze semen (bavlna, kapok...),
- z listů rostlin (sisal, abaka...),
- z plodů rostlin (kokos...).

Další část textu bude věnována lýkovým vláknům, která jsou z pohledu uplatnění při výrobě izolačních materiálů používané ve stavebnictví v ČR nejčastěji.

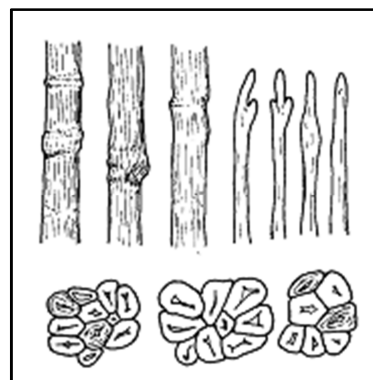
1.1.2 Struktura lýkových vláken

Lýková vlákna (lnu a konopí) se skládají ze svazků vláken, kde každý svazek obsahuje 10 – 40 jednotlivých buněk nebo elementárních vláken spojených pektinem. Jeden stonek obsahuje 20 – 50 svazků vláken. Elementární vlákna se dále skládají z několika vrstev. Uvnitř buňky se nachází, pro lýková vlákna typický, lumen, který prostupuje celou délkou vlákna. Délka takového vlákna je závislá na výšce rostliny. [4]

Elementární vlákna lnu, jejichž tvar odpovídá až šestibokému hranolu a oba konce jsou zakončeny špičkami (Obr. 1). Elementární vlákna konopí jsou buňky vřetenovitého tvaru s tupými, případně rozvidlenými konci, v průřezu u mladého stonku téměř kulatá, později mnohoúhelníkového tvaru (Obr. 2). [5]



Obr. 1 Lněné vlákno, vrcholy, příčný řez, zvětšení 200 x [5]



Obr. 2 Konopné vlákno, vrcholy, příčný řez, zvětšení 200 x [5]

Tab. 1 Parametry lýkových vláken vybraných rostlin [4]

| Parametry vlákna | Konopí | Len |
|-------------------------------|-------------------------|--|
| Délka technického vlákna | 100 – 200 cm | 20 – 140 cm |
| Tloušťka technického vlákna | 250 – 400 μm | 200 – 300 μm |
| Délka elementárního vlákna | 15 – 25 mm | 15 – 40 mm (\varnothing 32 mm) |
| Tloušťka elementárního vlákna | 15 – 50 μm | 10 – 30 μm (23) |
| Příčný řez | Zaoblené špičky | Pětiboký, výjimečně sedmiboký hranol, ostré špičky |

1.1.3 Vlastnosti lýkových vláken

Souhrnně lze říct, že všechny mechanické, fyzikální i tepelně technické vlastnosti ve velké míře závisí na kvalitě vláken, kterou ovlivňuje mnoho faktorů. Může to být v důsledku střídání atmosférických podmínek při růstu rostlin, rosení, podmínek při zpracování vláken a uskladnění vláken, atd.

Pro definování kvality lýkových vláken pro tepelné izolace existují základní ukazatele kvality, které stanovují např. čistotu vláken nebo mikrobiologickou kvalitu. Nejhlídanějším faktorem při zpracování přírodních vláken je obsah vlhkosti, odolnost proti mikrobům nebo ohni. To vede k nutnosti použití různých doplňkových látek, protože lýková vlákna sama o sobě proti těmto faktorům odolná nejsou.

Fyzikální a mechanické vlastnosti přírodních vláken jsou převážně závislé na jednotlivém chemickém složení vláken (celulózy, hemicelulózy, ligninu, pektinu, vosku, obsahu vody a dalších doprovodných složek), (Tab. 2), toto je spojeno s klimatickými podmínkami při růstu rostliny (půdní vlastnosti, stárnutí). Fyzikální a mechanické vlastnosti také závisí na technologii získávání a zpracování vlákna (Tab. 3). [3]

Tab. 2 Chemické složení vybraných přírodních vláken [3]

| Složení vlákna | Juta | Len | Konopí | Kenaf | Sisal | Bavlna |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|--------|
| Celulóza | 61 – 71 | 71 – 75 | 70,2 – 74,4 | 53 – 57 | 67 – 78 | 82,7 |
| Hemicelulóza | 13,6 – 20,4 | 18,6 – 20,6 | 17,9 – 22,4 | 15 – 19 | 10 – 14,2 | 5,7 |
| Lignin | 12 – 13 | 2,2 | 3,7 – 5,7 | 5,9 – 9,3 | 8 – 11 | - |
| Pektin | 0,2 | 2,2 | 0,9 | - | 10 | - |
| Další složky | - | 3,8 | 6,1 | 7,9 | 1 | - |
| Vosky | 0,5 | 1,7 | 0,8 | - | 2,0 | 0,6 |
| Voda | 12,6 | 10,0 | 10,8 | - | 11,0 | - |

Tab. 3 Vlastnosti vybraných rostlinných vláken [3]

| Rostlina | Pevnost v tahu [N/mm ²] | Youngův modul [GPa] | Měrný modul [GPa] | Protažení při lomu [%] | Délka <i>l</i> [mm] | Průměr <i>d</i> [μm] | Poměr <i>l/d</i> | Úhel mikrofibril [°] | Objemová hmotnost [kg/m ³] | Obsah vlhkosti [%] |
|----------|-------------------------------------|---------------------|-------------------|------------------------|---------------------|----------------------|------------------|----------------------|--|--------------------|
| Bavlna | 300 – 700 | 6 – 10 | 4 – 6,5 | 6 – 8 | 20 – 64 | 11,5 – 17 | 2752 | 20 – 30 | 1550 | 8,5 |
| Kapok | 93,3 | 4 | 12,9 | 1,2 | 8 – 32 | 15 – 35 | 724 | - | 311 – 384 | 10,9 |
| Bambus | 575 | 27 | 18 | - | 2,7 | 10 – 40 | 9259 | - | 1500 | - |
| Len | 500 – 900 | 50 – 70 | 34 – 48 | 1,3 – 3,3 | 27 – 36 | 17,8 – 21,6 | 1258 | 5 | 1400 – 1500 | 12 |
| Konopí | 310 – 750 | 30 – 60 | 20 – 41 | 2 – 4 | 8,3 – 14 | 17 – 23 | 549 | 6,2 | 1400 – 1500 | 12 |
| Juta | 200 – 450 | 20 – 55 | 14 – 39 | 2 – 3 | 1,9 – 3,2 | 15,9 – 20,7 | 157 | 8,1 | 1300 – 1500 | 12 |
| Kenaf | 295 – 1191 | 22 – 60 | - | - | 2 – 61 | 17,7 – 21,9 | 119 | - | 1220 – 1400 | 17 |
| Ramie | 915 | 23 | 15 | 3,7 | 60 – 250 | 28,1 – 35 | 4639 | - | 1550 | 8,5 |
| Abaca | 12 | 41 | - | 3,4 | 4,6 – 5,2 | 17 – 21,4 | 257 | - | 1500 | 14 |
| Banán | 529 – 914 | 27 – 32 | 20 – 24 | 1 – 3 | 2 – 3,8 | - | - | 11 – 12 | 1300 – 1350 | - |
| Ananas | 413 – 1627 | 60 – 82 | 42 – 57 | 0 – 1,6 | - | 20 – 80 | - | 6 – 14 | 1440 – 1560 | - |
| Sisal | 80 – 840 | 9 – 22 | 6 – 15 | 2 – 14 | 1,8 – 3,1 | 18,3 – 23,7 | 115 | 10 – 22 | 1300 – 1500 | 11 |
| Kokos | 106 – 175 | 6 | 5,2 | 15 – 40 | 0,9 – 1,2 | 16,2 – 19,5 | 64 | 39 – 49 | 1150 – 1250 | 13 |

Tepelně technické vlastnosti, respektive vedení tepla, závisí na mnoha parametrech. Ovšem nejdůležitějšími parametry je pórovitost, objemová hmotnost, vlhkost, teplota materiálu nebo směr tepelného toku. [6]

Lýková vlákna jsou tedy velice vhodná k vytvoření tepelné izolace. Díky své porézní struktuře vykazují nízkou objemovou hmotnost. Tyto materiály mají nízký součinitel tepelné vodivosti, protože v pórech materiálu se nachází vzduch, který má mnohem nižší hodnotu součinitele tepelné vodivosti než základní látka. Hodnota součinitele tepelné vodivosti také závisí na velikosti a tvaru pórů, jejich rozmístění a struktuře materiálu. U těchto organických materiálů je struktura velice složitá. Obecně platí, že látky s jednoduchou strukturou vedou teplo lépe než vlákna se strukturou složitější. [6]

Vlhkost materiálu má rozhodující vliv na tepelnou vodivost. Se zvyšující se vlhkostí materiálu stoupá i tepelná vodivost. Vlhkost, kterou látka přijme vlivem působení vlhkého vzduchu, nazýváme sorpční vlhkost látky. Fyzikálně lze sorpci vysvětlit tím, že když je částečný parciální tlak vodní páry v pórech látky nižší než částečný parciální tlak v okolním vzduchu, materiál začne pohlcovat vodní páru ze vzduchu (adsorpce). Proces pohlcování vodní páry ze vzduchu nastává až do rovnovážného stavu sorpční vlhkosti, kdy se částečný parciální tlak vodní páry v látce a v okolním prostředí dostane do rovnováhy. Pokud bude vlhkost ve vzduchu klesat a částečný parciální tlak vodní páry v materiálu je vyšší, nastane opačný jev, který se nazývá desorpce. [6]

Vzhledem k faktu, že lýková vlákna jsou tvořena převážně z celulózy, přijímání vlhkosti u těchto vláken ovlivňují hydrofilní skupiny v makromolekule vlákna a jejich přístupnost pro molekuly vody. Celulóza obsahuje tři hydrofilní hydroxylové skupiny ve své strukturní jednotce, přesto však nesorbuje vlhkost stejně (závisí na jejich přístupnosti). Molekuly vody se mohou vázat přímo na aktivní místa (hydrofilní skupiny nebo skupiny schopné s vodou vytvářet vodíkové můstky) nebo na molekuly vody již ve vláknech obsažené. [7]

Absorpce a desorpce vlhkosti vede ke změně nejenom tepelně technických, ale i mechanických vlastností vláken. U všech přírodních vláken dochází se zvyšujícím se obsahem vlhkosti ve vzduchu ke zvýšení pevnosti, naopak při nízkém obsahu vlhkosti (pod 20 %) se stávají přírodní vlákna křehká a lámavá, dochází k jejich vysušení. Vysoká relativní vlhkost okolí (nad 60%) urychluje možné chemické a biologické napadení materiálu. Obecně voda slouží v polymerech jako plastifikátor snižující teplotu skelného přechodu a zvyšující tažnost. Důsledkem absorpce a desorpce nastává změna rozměrů vláken – bobtnání nebo smršťování. Vlivem tvorby vodíkových můstků v amorfních oblastech vlákna dochází k výraznému příčnému bobtnání. Podélné bobtnání je výrazně nižší. Lýková vlákna díky vyššímu obsahu ligninu bobtnají méně. [7]

Lýková vlákna mají také dobré akustické vlastnosti a mohou se tak stát plnohodnotnou alternativou ke klasickým materiálům. Co se týče oblasti vzduchové neprůzvučnosti, musí mít materiál příznivou hodnotu činitele zvukové pohltivosti α . Vzhledem k tomu, že lýkové vlákna mají porézní a vláknitou strukturu, vykazují tak příznivé hodnoty tohoto činitele zvukové pohltivosti. Vzhledem k tomu, že lýková vlákna mají velice dobré mechanické vlastnosti a pružnost, mohou se využít k tlumení dynamických kmitů v oblasti kročejové neprůzvučnosti vodorovných konstrukcí. Charakteristickými vlastnostmi pro kročejovou neprůzvučnost je dynamická tuhost s' [$\text{MPa}\cdot\text{m}^{-1}$] a napětí při 10 % deformaci. [8]

Jednou z negativních vlastností lýkových vláken je jejich vysoká hořlavost. Při teplotách do 100 °C u těchto vláken nenastávají větší změny. Všechna přírodní vlákna při teplotách nad 100 °C prodělávají nevratné změny, které mají podstatný vliv na jejich vlastnosti. Při působení suchého vzduchu o teplotě 110 °C dochází k depolymeraci vláken (jejich žloutnutí až hnědnutí), při 150 °C se tvoří pyrocelulóza a při 240 °C vlákna zplyňují a uhelnatí. Důsledkem je pokles pevnosti i všech ostatních jakostních parametrů. [7]

Dalším problémem u lýkových vláken je nízká odolnost vůči mikrobiologickým činitelům. Pokud nastanou vhodné podmínky (zvýšená vlhkost, přítomnost kyslíku a příhodné hodnoty pH) pro rozmnožování plísní a bakterií, získávají tyto organismy své živiny enzymatickým štěpením ze substrátu. Při látkové výměně plísně produkují kyseliny šťavelovou, mléčnou, vinnou, které zabarvují substrát a mohou být zdrojem dalších poškození. V mnoha případech lze přítomnost plísní odhalit ultrafialovým světlem, které vyvolává u napadených míst intenzivně žlutou fluorescenci. Všechna převážně celulózová vlákna jsou štěpena enzymem celulózou, který je schopen hydrolyzovat celulózu až na jednoduché cukry. Biologický rozklad vláken začíná v jejich amorfní oblasti a rozšiřuje se do krystalické oblasti. Vyšší obsah ligninu ve vlákně mikrobiologické poškození zpomaluje. [7]

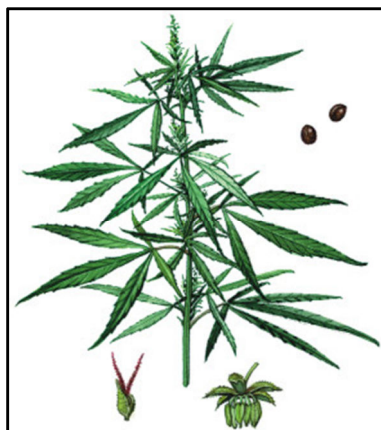
1.1.4 Vybrané druhy přírodních vláken pro tepelné izolace

Pro výrobu tepelné izolace můžeme využít různé druhy rostlinných vláken nebo různých „zelených odpadních surovin“. Pro stavební účely se nejvíce využívá již zmíněné lýkové vlákno (konopné, lněné, kenafové, jutové a další).

▪ Konopí

První zmínky o konopí pochází z doby před 7000 lety v Babylónii. Zbytky konopného vlákna staré 6000 let se našly v Číně. První písemné zmínky o terapeutickém použití konopí pocházejí již z období 2737 – 2697 př. n. l. Konopí se z Asie brzy rozšířilo do Afriky, kde se již po staletí tato rostlina využívá k léčbě malárie, úplavice, sněti a horečky. V Evropě se využívalo k léčbě astmatu, kožních problémů, proti bolestem nebo při poruše spánku. Ve 20. století je konopí poněkud demonizováno a v současné době je předmětem vědeckého

zkoumání po celém světě. Na území ČR se konopí asi 40 let vůbec nepěstovalo, pěstování se obnovilo až v roce 1996. [9]



Obr. 3 Konopí seté [11]

Rod konopí zahrnuje dva samostatné druhy. Konopí indické, které se pěstuje pro omamné látky obsažené především v pryskyřici, a konopí seté, které se využívá v různých odvětvích průmyslu. Existuje mnoho druhů konopí setého, a to konopí plané, kulturní, severní, jižní nebo středoruské. Pro průmysl je nejpříznivější štíhlý nevětvený stoněk s téměř nulovým obsahem psychoaktivní látky THC (max. 0,2% podle norem EU).

Konopí seté (*Cannabis sativa*), dále jen technické konopí (Obr. 3 3), je teplomilná jednoletá rostlina z řádu konopovitých (*Cannabaceae*). Dorůstá do výšky 3 – 4 m, listy se rozebíhají do 3 – 9 úzkých výběžků o délce 7 – 15 cm. Stonky jsou pevné, vnitřní kůra je vláknitá. [10]



Obr. 4 Konopné vlákno [13]

Technické konopí je všestranně využitelná plodina (Tab. 4). Všechny části této rostliny se dají využít a nevzniká žádný odpad. Nejvíce se využívá stonků, ze kterých se vyrábí vlákno a pazdeří – dřevitá hmota (Obr. 4) pro stavební účely, papírenský nebo

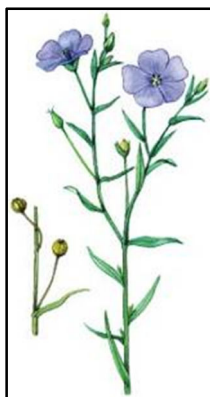
automobilní průmysl. Nejvíce se těchto vláken využívá v průmyslu textilním. Konopná vlákna jsou ze všech přírodních rostlinných vláken nejodolnější vůči působení tepla, světla, vody a povětrnostních vlivů. Používají se na různé technické textilie vyžadující trvanlivost a odolnost. Rostliny pěstované pro vlákno (textilní rostliny) mají mít co největší výšku a co nejméně kolínek. Vlákno je v rostlině asi 25 %, zbytek je pazdeří. Dále se využívá květů a semen, zejména v kosmetickém průmyslu, potravinářství nebo lékařství. [12]

Tab. 4 Využití jednotlivých konopných produktů [12]

| Stonek | |
|--|--|
| Vlákna | Textilní průmysl Výroba lan, provazů Automobilní průmysl (výplně dveří...) Izolace tepelná i zvuková Papírenský průmysl – bankovky, filtry, cigaretový papír... |
| Pazdeří | Papírenský průmysl – dřevitý papír, noviny Stavebnictví – pazderodesky, stavební příčky Automobilní průmysl – výplně dveří, oken Zemědělství – stelivo Energetické účely – výroba briket a pelet |
| Semena | |
| Potravinářský průmysl – konzumace Kosmetický průmysl – pleťové krémy, vlasová kosmetika Chemický průmysl – laky, fermeže, mýdla Lékařství | |
| Květy | |
| Potravinářský průmysl Kosmetický průmysl | |

▪ Len

Len setý (*Linum usitatissimum*), (Obr. 5), je jednoletá rostlina z čeledi Inovité (Linaceae). Pochází z regionu mezi východním středomořím a Indií a ve velkém se pěstoval již ve starověkém Egyptě. Dorůstá výšky asi 1,2 m, listy jsou kopinaté, střídavé. Kvete světle modře, květ má pět kališních a korunních lístků a plodem je pětipouzdrá tobolka. Rozlišujeme len jarní, len přadný (dlouhý stonek, len olejný (nižší, rozvětvený) a len olejo-přadný. [14]



Obr. 5 Len setý [15]

Len setý se pěstuje pro lněné vlákno a pro olejnatá semena. Len je hned po bavlně jeden z nejrozšířenějších typů rostlinných vláken používaných v textilním průmyslu pro výrobu mnoha produktů, jako jsou tkaniny, nitě apod.

Po tírenském zpracování lnu získáme oloupané dlouhé vlákno – třený len (technické vlákno), dále odpady – krátká vlákna s pazdeřím (koudel). Česaný len se používá k výrobě nejtenčí příze pro spodní prádlo a oděvy. Lněná koudel se používá k výrobě hrubé příze na hrubé tkaniny, motouzy, pytloviny. Krátká lněná vlákna se také používají při výrobě speciálních druhů papíru. Hrubý odpad se používá k čalounění interiéru vozidel a z netkaných materiálů se vyrábějí izolace pro stavební účely nebo geotextilie k ochraně půdy proti erozi. [16]

▪ Další rostlinná vlákna

Pro tepelné izolace se nemusí používat jen konopná či jiná lýková vlákna jako je juta, len, nebo kenaf. Existuje celá řada studií, které se zabývají využitím dalších přírodních rostlinných zdrojů pro tepelně izolační účely.

Jednou z vhodných surovin využívaných pro tepelné izolace může být i kokos, resp. **kokosové slupky**. Vlákna s kokosových slupek se získávají tak, že se slupky ponechají ve vodě tak dlouho, až zetlí nebo shnijí. Jen nejsilnější vlákna odolají, ty se dále zpracovávají na izolační hmoty nebo na podlahové krytiny. Tento spíše exotický způsob se používá hlavně v Indii a Indonésii. Izolační materiál vyrobený z kokosových slupek dosahuje hodnot součinitele tepelné vodivosti v rozmezí od 0,045 do 0,050 W/(m·K). Vykazuje také nízký součinitel odporu difúze vodních par a je velmi dobrý izolant proti hluku. Nevýhodou je však vysoká hořlavost jako skoro u všech přírodních vláken a také vysoká cena. [20]

Satta Panyakanew ve své studii popisuje výrobu izolačních desek s nízkou objemovou hmotností z kokosových slupek (vlákna a dřevě) a bagasy (vedlejší produkt při výrobě cukru) bez použití chemických přísad. Desky byly vyráběny lisováním za tepla při tlaku 14,7 N/mm². Během lisování byla kontrolována doba a teplota lisování. Izolační desky z bagasy o objemové hmotnosti 350 kg/m³ lisované při teplotě 200 °C po dobu 13 minut získaly nejlepší mechanické vlastnosti a dobrou stabilitu vůči vodě. Izolační desky vyrobené z kokosových slupek a desky vyrobené z bagasy o objemových hmotnostech 250 – 350 kg/m³ vykazovaly hodnoty součinitele tepelné vodivosti od 0,046 – 0,068 W/(m·K), což jsou srovnatelné hodnoty s konvenčními izolačními materiály. [18]

Obilná **sláma** (pšeničná, žitná) se používala tradičně jako tepelná izolace do konstrukcí domů na našem území. Ikeman G. ve své práci využíval pro výrobu lehkého tepelně izolačního panelu slámu ošetřenou vodním roztokem sody jako retardérem hoření.

Stonky slámy byly nepravidelně orientovány a vzduchové mezery mezi stébly měly celkový objem rovnající se alespoň 50 % z celkového objemu panelu. [18]

Jedním z netradičních druhů slámy je **rýžová sláma**, které je například v Indii přebytek. Na indických polích se každý rok urodí nemálo obilnin a značná část úrody přichází nazmar. Rýžová sláma je poté pálena, ale většinou bez jakéhokoliv jímání tepla. Tento přírodní materiál by byl také velice vhodný pro výrobu tepelné izolace. Jak vyplývá ze studie Guha S. R. D., kde v laboratorních podmínkách vyráběli z rýžových slupek tepelně izolační desky s velice uspokojivými tepelnými vlastnostmi. [18]

Podobně jako sláma se i **rákos** používá ve stavebnictví od nepaměti. U nás dostupné rákosové desky vázané drátem tloušťky 2 – 5 cm se dají využít jak na vnější, tak na vnitřní zateplení budov. Rákos se také používá ve formě tenké rohože plnící funkci nosiče omítek například při omítání dřevěné konstrukce nebo OSB desek jílovou omítkou. [21]

Podle Ambroziaka L. se rákosová vlákna dají využít i pro výrobu takových tepelně izolačních desek, kde je rákosová rohož umístěná mezi dvě vrstvy pěnového polystyrenu. To celé se uzavře do formy, která se umístí do autoklávu. Při teplotě 100 – 109 °C polystyren expanduje a naváže se k rákosu. Rákos byl předem impregnován rozpustnými chemickými látkami, které mu poskytly odolnost proti požáru, plísním a bakteriím. [18]

Bavlna se stává velmi oblíbenou tepelnou izolací. Surovina pro tepelnou izolaci se získává ze semenných vláken bavlníkových keřů. Z bavlny se vyrábějí ucpávky a izolační pletence pro mimořádně obtížné zbytkové plochy k zateplení. [20]

Spencer A. M., Jacobson A. popisují ve své studii výrobu izolačních desek ze stonků bavlny. Stonky se nasekaly na krátké délky, poté se vařily v 0,1 – 0,5% roztoku NaOH při 137,9 kPa a 80 °C – 100 °C po dobu 1,5 hodiny. Následně ze z takto připravených vláken lisovaly desky, které vykazovaly velice dobré tepelné vlastnosti. [18]

Dalším přírodním materiálem jsou **dřevěná vlákna**, která vznikají jako odpad při zpracování převážně jehličnatého dřeva. Materiál je rozřezán na drobno, rozvlákněn, změkčen vodní párou a společně s přidanými látkami je lisován a sušen. Takto vzniklé dřevovláknité desky se nejčastěji používají v kombinaci s jinými izolanty. Tvrdé dřevovláknité desky se mohou použít jako podklady pro podlahovou krytinu a bednění, měkké desky pro tepelnou a zvukovou izolaci stěn, stropů a střech. [20]

Gabir K., Khristova P., Yossifov N. použili jako základní surovinu pro kompozitní tepelně izolační desky stonky **cukrové řepy a čiroku**, jako pojivo byl použit cement. Poměr plniva a pojiva byl 1: 1,5 i 1:2. Takto vzniklé ligninocelulózoové desky o objemové hmotnosti 530 až 730 kg/m³ vykazovaly velice dobré tepelně izolační vlastnosti. [18]

Kompozitní desky s nízkou tepelnou vodivostí mohou být také vyrobeny ze směsi pevných odpadů při výrobě hedvábného papíru a kukuřičných slupek (odpad ze zemědělství). Oba materiály byly propojeny pomocí močovinoformaldehydové pryskyřice. Při poměru pevných odpadů/ kukuřičných slupek 75:25 při objemové hmotnosti $980 \pm 16 \text{ kg/m}^3$ dosahovaly desky hodnoty součinitele tepelné vodivosti $0,1936 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, při poměru 25:75 a objemové hmotnosti $726 \pm 11 \text{ kg/m}^3$ se hodnota snížila na $0,1398 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Výsledky ukazují, že takto vyrobené desky mají potenciál stát se deskami s dobrou tepelnou vodivostí. Tepelná vodivost velice závisí na poměru textilní odpad/kukuřičné slupky. Desky z vyšší objemovou hmotností měly ale lepší mechanické vlastnosti, ale vykazovaly vyšší hodnoty součinitele tepelné vodivosti. Tento problém byl vyřešen potažením povrchu desek recyklovaným polystyrenem, který navíc snižoval nasákavost desek. [22]

1.2 Výroba izolačních rohoží

Izolační rohože, resp. netkané textilie se mohou vyrábět pomocí nejrůznějších technologií. Můžeme tak získat rohože s rozličnou strukturou, která dále souvisí s objemovou hmotností nebo tloušťkou výrobku. Obecně je postup výroby netkaných textilií z přírodních vláken následující:

- příprava přírodních vláken v tírnách nebo úprava vláken přímo na poli,
- příprava vlákenných surovin, otevírání balíků, dávkování, mísení,
- příprava vlákenných vrstev,
- zpevňování vlákenných vrstev.

1.2.1 Příprava přírodních vláken

Příprava vláken se provádí v tzv. tírnách nebo se může provádět částečně již při sklizni na poli. Pro snadnější uvolnění technického vlákna od dřevnatých částí stonku se využívá buď máčení stonků, rosení stonků (nejlépe přímo na poli), enzymatické zpracování a parní exploze. Rosení na poli je méně nákladné než máčení v nádržích, ale je časově náročnější a více závislé na počasí. Enzymatickým zpracováním nebo parní explozí, získáme velice kvalitní vlákna. Ale ani jedna z těchto metod se zatím z důvodu finanční náročnosti neprosadila. [23]

▪ Tírenské zpracování

Pro sklizeň vysokých pevných stonků, zejména konopných, je zapotřebí speciálních sklízecích strojů, které pomocí dlouhých žacích lišt nakrájí stonky na kratší délku. Dříve se stonky po sklizni rovnou odvážely do tírenských závodů, kde se provádělo máčení celých

stonků. V současné době se využívá rosení přímo na poli a vyrosené a proschlé stonky se dále lisují do balíků a předávají k tírenskému zpracování. Standartní vlhkost, například balíkováného konopí je 12 – 16 %. [12]

V tírnách dochází k mechanickému oddělení vlákna od dřevité části. Postupné zpracování se uskutečňuje lámáním (potěráním) a vyčesáváním (vochlováním) pazdeří. Získáváme tak vlákna technická a kratší vlákna – koudel. V současnosti v Evropě pracuje asi osm velkých tírenských závodů (ve Francii, Německu, Holandsku a Velké Británii). [23]

Hrsti technických vláken se dále trhají na kratší úseky a mohou se předkládat potěracím strojům, které je mechanicky čistí, paralelizují a připravují pro další zpracování v přásty a příze. Kotonizací (rozkladem technického vlákna) vzniká vlákno elementární, které se využívá pro zpracování bavlnářským nebo vlnářským technologickým způsobem. Spřádání probíhá suchým nebo mokrým způsobem podle požadované kvality příze (příze předená za sucha je hrubší, za sucha hladší a stejnoměrnější). [24]

▪ Příprava vláken přímo na poli

Předúprava vláken může probíhat přímo na poli. Pro snadnější uvolnění vláken se využívá již zmíněné rosení. Tato moderní technologie využívá lámání a mačkání stonků již částečně při sklizni, dále se vytrásáním odděleného pazdeří získá směs neuspořádaných dlouhých i krátkých vláken. V současné době se v EU vyrábí tato jednotná vlákna, která nacházejí uplatnění při výrobě celulózy, kvalitních papírů, netkaných textilií, tepelných a zvukových izolací, vnitřních výplní pro karoserie automobilů a v menším rozsahu i pro použití v textilním průmyslu (po úpravě tzv. kotonizací). [12]

1.2.2 Příprava vlákenných vrstev

Abychom mohli vyrábět izolační rohože, musíme získaná vlákna připravit pro proces zpevňování. Vlákenné vrstvy můžeme připravovat mechanicky, což spočívá ve vytvoření vlákenné pavučiny (využívá se mykacích strojů) a jejím následným vrstvením (podélné, příčné či kolmé). Dále se využívá aerodynamické výroby vlákenné vrstvy (airlaid) a to tak, že se surovina rozvolní rychle se otáčejícím šhubacím válcem opatřeným pracovním povlakem. Vlákna jsou z tohoto válce snímána kombinovaným účinkem odstředivé síly a přiváděného proudu vzduchu. Tímto proudem jsou unášena a ukládána na pohybujícím se síťovém dopravníku. Při tomto zpracování vláken jsou na rozdíl od mechanického způsobu orientována nahodile a umožňuje široký rozsah plošných hmotností a výrobu objemných vrstev. Existují ještě mechanicko-aerodynamické postupy výroby rouna nebo hydrodynamická příprava vlákenné vrstvy, což je mokrý způsob přípravy vrstev z vláken. [25]

1.2.3 Zpevňování izolačních rohoží

Existuje celá řada technologií netkaného spojování technických vláken. Rozeznáváme spojení mechanické (vpichování, zpevňování paprskem vody, proplétání, plstění a valchování), chemické a termické. [25]

▪ Mechanické způsoby zpevňování

Nejrozšířenější technologie mechanického zpevňování vláken je **vpichování**. Podstatou této technologie je provazování vlákenné vrstvy svazky vláken vzniklými pře-orientací části vláken účinkem průniku jehel s ostny. V průběhu vpichování dochází také k podstatné redukci tloušťky vlákenné vrstvy, k výrazné pře-orientaci vláken a ke změnám délky a šířky útvaru. [25]

Technologie **zpevňování paprskem vody** je proces výroby netkaných textilií, kde je využito proudu vody k provazování jednotlivých vláken rouna. Proces zahrnuje výrobu vlákenné vrstvy, proviřování (zpevňování vodními paprsky) a následné odvodnění a sušení. Tato technologie nevyužívá ke zpevnění žádných chemických látek v podobě pojiv, soudržnost textilie zajišťují třecí síly mezi vlákny. [25]

Technologie **proplétání** spočívá v mechanickém provazování vlákenné vrstvy (nejčastěji rouna, soustavou vazných nití). Plošné textilie vyrobené proplétáním označujeme jako proplety, strojní zařízení k výrobě propletů, proplétací stroje. Proplet je v podstatě výplňová osnovní pletenina, kde výplněk je rouno nebo jiná vlákenná vrstva. Pro osnovy se nejčastěji používají bavlněných, vlněných, viskózových nebo směsových přízí. [25]

▪ Chemické způsoby zpevňování

Základními operacemi při výrobě chemicky pojených textilií je příprava vlákenné vrstvy, nanášení pojiva na vlákennou vrstvu, zpevnění pojiva, odstranění disperzního prostředí nebo rozpouštědla a ztužení pojiva (sítování). Pro nanášení disperzí pojiva se využívá impregnace, stříkání pojiva na vlákennou vrstvu nebo nanášení tiskem. Následuje koagulace, poté sušení a po dokončení procesu sušení proběhne sítování, kdy je možno zvýšit teplotu na 120 – 160 °C, vznikají tak trojrozměrné struktury pojiva, což vede ke zvýšení odolnosti pojiva a výrobků vůči chemikáliím, vodě, procesům údržby atd. [25]

▪ Termické způsoby zpevňování

Principem tohoto zpevňování je nanesení či smíchání pojivové složky ve formě pevných polymerů nebo kopolymerů, následné tavení pojiva za zvýšené teploty, formování pojivových míst a vytvrzení spojeného výrobku ochlazením. Pojivové polymery se využívají v různých formách, buď ve formě prášků, fólií, mřížek nebo bikomponentních pojivových vláken. Z chemického hlediska se využívá pojiv typu nízkotavitelných homopolymerů

(polypropylen, polyamid) nebo kopolymerů (kopolyestery, kopolyamidy apod). Bikomponenty jsou zpravidla tvořeny jádrem z výše tavitelného polymeru (nejčastěji polyester) a níže tavitelným pláštěm (obvykle kopolyester či levnější polypropylen). Bodové spoje se tvoří v místech křížení vláken. Větší část vláken tvoří poměrně pohyblivé úseky mezi spoji. Bikomponentní vlákna musí mít vhodnou teplotu tavení vzhledem k základním vláknům, nízkou srážlivostí za tepla a dobrou adhezí k základním vláknům. Pojení může probíhat kalandrováním, teplovzdušným pojením, ultrazvukem nebo infračerveným zářením. [25]

1.2.4 Příklady technologií výroby izolačních rohoží

Jako příklad technologie výroby izolačních rohoží na bázi přírodních vláken zde uvádím technologii firmy Canabest a technologii postupu přípravy vláken a následných produktů dle francouzské firmy LAROSCHE.

▪ Technologie Canabest

Jako vstupní surovina (plnivo) slouží již zmíněná vlákna z technického konopí vyčištěná od pazdeří, nakráčené na délku 7 – 8 cm. Jako pojivo se používají tzv. bikomponenty na bázi polypropylenu. Množství přidaných pojivových vláken závisí na požadavcích na mechanické vlastnosti a odolnost výrobku. Pro účely výroby stavebních izolačních hmot se jedná o přídavek vláken v rozmezí 10 – 15 %. Podle technologie Canabest je poměr konopných vláken a bikomponentů cca 9:1. [26]

Pro přípravu směsi se nejprve provede rozvláknění balíků technického konopí. Poté se nástřikem upraví konopné vlákno pomocí různých chemických přísad, jako jsou přísady proti hoření, biologickým škůdcům, proti vlhkosti a jiné. Rozvlákní se také bikomponentní vlákna, pneumatickým míšením se smísí s vysušenými konopnými vlákny a celá směs se homogenizuje. [26]

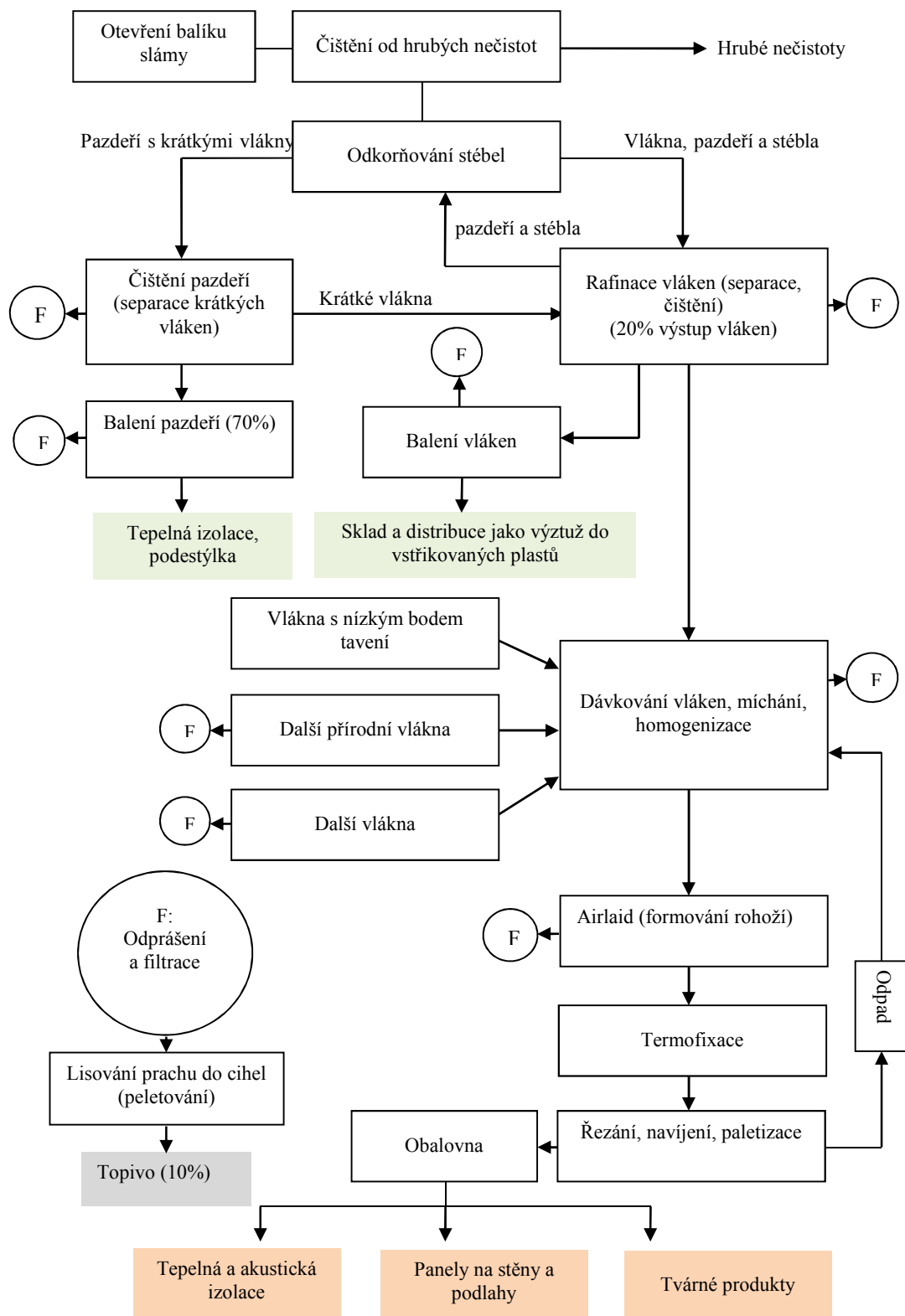
Připravená směs je metodou pneumatického rounotvoření nakladena na pracovní pás linky. Rouno pak prochází termofixační pecí, kde za zvýšeného tlaku a teploty cca 135 °C dochází k propojení bikomponentních a konopných vláken a spojení směsi do tvaru desky o požadované tloušťce a objemové hmotnosti. Po ochlazení rohože se desky posunují k řezací části linky, kde se nařežou do požadovaného formátu. Nakonec se rohože zabalí a uskladní. [26]

▪ Technologie LAROSCHE

Larosche je francouzská firma, která vyrábí a také recykluje všechny druhy přírodních textilních vláken. Tato firma vyvinula integrovaný flexibilní proces, který umožňuje vyrábět stavební izolace z blízkých surovinových zdrojů za velmi příznivou cenu (Obr. 6). [27]

Po otevření balíku slámy a vyčištění od hrubých nečistot probíhá odkorňování stébel a separace vláken a pazdeří. Krátká vlákna vyčištěná od pazdeří se podávají zpět do procesu. Pazdeří je využíváno pro výrobu tepelných izolací nebo jako podestýlka. Zcela vyčištěná vlákna se dále buď zabalí (tyto vlákna se využijí jako plnivo do vstříkovaných plastů) nebo se podávají dále, kde dochází k dávkování vláken a jejich mísení s bikomponenty. Směs vláken se homogenizuje a pomocí metody Airlaid se zformují rohože, které následně projdou termofixací. Takto vyrobené rohože se předávají řezacím linkám a obalovně. [27]

Technologií Larosche se dají vyrábět tepelné a akustické izolace, různé tvrdší panely nebo různé tvárné produkty z převážně konopných nebo lněných vláken. Tepelná izolace o objemové hmotnosti 30 kg/m^3 a tloušťky 100 mm vykazuje hodnotu součinitel tepelné vodivosti kolem $0,040 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. [27]



Obr. 6 Schéma výroby dle technologie Larosche [27]

1.3 Vlastnosti tepelně izolačních desek

Pro využití materiálů ve stavebnictví jsou nejdůležitější jejich mechanické, stavebně - fyzikální vlastnosti a zpracovatelnost. U tepelných izolací pochopitelně také jejich tepelně-technické vlastnosti. Vlastnosti tepelných izolací ovlivňuje mnoho faktorů, především záleží na kvalitě a vlastnostech vlákna, na způsobu výroby izolačních desek nebo také na tom, zda byla vlákna či izolační deska chemicky upravena či nikoliv.

U většiny tepelně izolačních materiálů se udávají mechanické vlastnosti jako je **pevnost v tahu kolmo nebo k rovině desky**, **pevnost v tlaku** a deformace při určeném zatížení tlakem, jedná se převážně o napětí při 10 % deformaci.

U tepelně izolačních materiálů se převážně posuzují tepelně technické vlastnosti jako je **součinitel tepelné vodivosti** λ [W/(m·K)] nebo **měrná tepelná kapacita** c [J/(kg·K)]. Dále se jedná o vlhkostní vlastnosti, kde je nejdůležitější **faktor difúzního odporu** μ [-], čím je tato hodnota vyšší, tím je materiál pro vodní páru propustnější a dále sorpční charakteristika materiálu (vyjádřena pomocí rovnovážné sorpční vlhkosti u [%] při daných okrajových podmínkách). Další vlhkostní vlastností, převážně u tepelně izolačních vlastností na bázi přírodních vláken, je redistribuce vlhkosti – tzv. vlhkostní vodivost, což je schopnost vyrovnávat a předávat vlhkost po celém svém objemu. Díky této vlastnosti nedochází k lokální koncentraci vlhkosti a umožňuje se tak snadnému odvětrávání. Pochopitelně se musí izolace chránit před výskytem nadměrné vlhkosti v konstrukci použitím parobrzdy a funkčního vnějšího odvětrání. Neméně důležitá vlastnost je i **krátkodobá** nebo **dlouhodobá nasákavost** W_p , která se u tepelných izolací udává v kg/m².

Další důležitou vlastností je hořlavost, která se u těchto výrobků posuzuje **reakcí na oheň** podle ČSN EN 13 501 - 1. Izolace na bázi přírodních vláken dosahují většinou třídy F, ošetřené rohože třídy E a D.

V následujících tabulkách jsou pro srovnání uvedeny vlastnosti vybraných tepelně izolačních desek na bázi přírodních vláken (Tab. 5), tepelně izolačních desek na bázi anorganických vláken (Tab. 6) a pěnoplastických tepelně izolačních desek (Tab. 7) dostupných na stavebním trhu v ČR.

Tab. 5 Vlastnosti vybraných tepelně izolačních desek na bázi přírodních vláken [28],[29],[30],[31],[32]

| Materiál | Konopí | Len | Korek | Dřevěné vlákno | Ovčí vlna |
|--|--|-------------------------------------|-------------------------------|---|--------------------------|
| Název | Canabest plus | Naturizol 039 | Likor tepelný | Hofatex systém NK | Valtex CZ, s.r.o. |
| Výrobce | Canabest | Naturizol | Likor | Insowool | A500 Naturwool |
| Použití | Mezi krokve, vnitřní, vnější stěny, trémové stropy | Mezi krokve, obvodové stěny, stropy | Střechy, půdy, podlahy, stěny | Mezi krokve a dřevěnou rámovou konstrukci | Šikmé i vodorovné plochy |
| Objemová hmotnost ρ_a [kg/m ³] | 36 | 35 | 130 | 210 | 10 |
| Tloušťka d [mm] | 50 | 50 | 50 | 60 | 50 |
| Součinitel tepelné vodivosti λ [W/(m·K)] | 0,400 | 0,039 | 0,040 | 0,044 | 0,042 |
| Faktor difúzní odporu μ [-] | 1,9 | 5,7 | 8 – 10 | 5 | - |
| Měrná tepelná kapacita c [J/(kg·K)] | 1600 | 1550 | 1880 | 2100 | - |
| Reakce na oheň (podle EN 13 501 -1) | E | E | E | E | E |
| Cena [Kč/m ²] bez DPH | 145 | 150 | 376 | 346 | 92 |

Tab. 6 Vlastnosti vybraných tepelně izolačních desek na bázi anorganických vláken [33], [34][35], [36], [37]

| Materiál | Kamenná vlna | Kamenná vlna | Skelná minerální plst' | Pěnové sklo (recyklované) | Pórobeton |
|--|------------------|------------------|------------------------|-----------------------------------|---|
| Název | Isover TF profí | Fronrock MAX E | Isover multimax 30 | Foamglass wall board T4+ | Ytong Multipor WAP |
| Výrobce | Isover | Rockwool | Isover | Foamglass | Xella |
| Použití | Vnější zateplení | Vnější zateplení | Fasády | Potrubí, fasády, podlahy, střechy | Vnější zateplení, větrané šikmé střechy |
| Objemová hmotnost ρ_a [kg/m ³] | 100 | 100 | 45 | 115 | 115 |
| Tloušťka d [mm] | 50 | 60 | 50 | 50 | 50 |
| Součinitel tepelné vodivosti λ [W/(m·K)] | 0,036 | 0,036 | 0,030 | 0,041 | 0,045 |
| Faktor difúzní odporu μ [-] | 1 | 1 | 1 | ∞ | 3 |
| Měrná tepelná kapacita c [J/(kg·K)] | 800 | 840 | 840 | 1000 | 1300 |
| Reakce na oheň (podle EN 13 501 -1) | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 |
| Cena [Kč/m ²] bez DPH | 141 | 198 | 195 | 650 | 215 |

Tab. 7 Vlastnosti vybraných pěnoplastických tepelně izolačních desek [38],[39],[40],[41],[42]

| Materiál | Pěnový polystyren EPS | Pěnový polystyren EPS grafitový | Extrudovaný polystyren XPS | Fenolická deska | PIR |
|--|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| Název | Isover EPS 100 F | Isover EPS Greywall plus | Synthos XPS 30 | Baumit XS 022 | Deska Puren MV-K |
| Výrobce | Isover | Isover | Isover | Baumit | Puren |
| Použití | Vnější zateplení | Vnější zateplení | Zdi, podlaha, sokly, základové pásy | Fasády | Sendvičové konstrukce, fasády |
| Objemová hmotnost ρ_a [kg/m ³] | 13,5 – 18 | 13,5 – 18 | 30 – 40 | >35 | <35 |
| Tloušťka d [mm] | 50 | 50 | 50 | 50 | 60 |
| Součinitel tepelné vodivosti λ [W/(m·K)] | 0,037 | 0,031 | 0,035 | 0,021 | 0,028 |
| Faktor difúzní odporu μ [-] | 30 – 70 | 20 – 40 | 100 | 35 | 4,5 |
| Měrná tepelná kapacita c [J/(kg·K)] | 1500 | 1500 | 2060 | 1500 | 1400 |
| Reakce na oheň (podle EN 13 501 -1) | E | E | E | C | E, s2, d0 |
| Cena [Kč/m ²] bez DPH | 102 | 110 | 225 | - | 260 |

1.4 Úprava přírodních vláken

Chemickou úpravou vlákna lze snížit či odstranit negativní vlastnosti materiálu s ohledem na jejich použití. Tato práce se zabývá protipožární a hydrofobní ochranou přírodních vláken. U takto upravených vláken, resp. tepelně izolačních desek dojde ke snížení nasákavosti a hořlavosti.

Přírodní vlákna můžeme upravovat přímo při výrobě vlákna, nebo pomocí povrchové ochrany na již zhotovených rohožích. Pro co nejlepší prosycení vláken chemikáliemi je nejvhodnější využít možnost úpravy vlákna ještě před výrobou rohoží. Chemická úprava vláken se může rozdělit na mineralizaci a impregnaci.

Mineralizace je nasycení vláken či povrchu materiálu přípravky, které zpevní a upraví povrch materiálu tím, že změní organické části na části anorganické, které jsou odolnější vůči povětrnostním vlivům (voda, UV záření) a organismům (plísně, houby, bakterie).

Impregnace je potažení vláken nebo povrchu výrobku určitou chemikálií, která se naváže na surový materiál, chrání jej před nepříznivými vlivy a zajišťuje mu různé vlastnosti podle typu impregnace. U konopných rohoží mohou impregnace snížit nasákavost nebo zlepšit protipožární odolnost.

Pro lepší fixaci jednotlivých impregnačních prostředků k přírodním vláknům se využívá **alkalizace**, neboli mercerace. Pro tento druh úpravy vláken se nejčastěji používá roztok hydroxidu sodného (NaOH). Schéma reakce je:

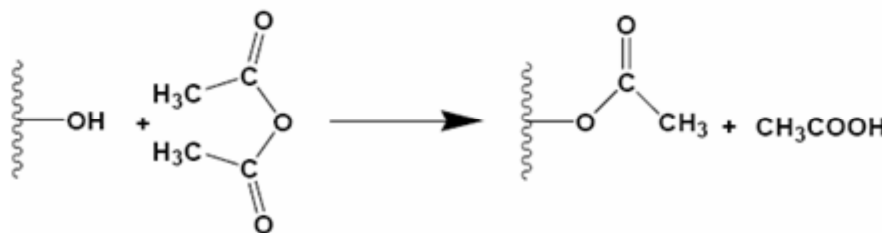


Alkalizace vede k fibrilaci, kdy se poškodí kompozitní svazek vláken a vytvoří se tak vlákna menšího průměru, čímž se zvyšuje poměr stran, který má za následek lepší přilnavost vláken a zvýšení mechanických vlastností (pevnost, tuhost). Mercerace dále zvyšuje počet reaktivních míst, umožňuje lepší smáčení vláken a ovlivňuje chemické složení vláken, odstraňují lignin a hemicelulózu, vosky a oleje z povrchu materiálu. Vysoké procento NaOH může ale nadměrně snížit obsah ligninu a hemicelulózy, což může vést k poškození buněčné stěny a snížení mechanických vlastností vlákna. [3]

1.4.1 Hydrofobizační úprava

Cílem hydrofobní úpravy je potlačit smáčivost materiálu, respektive omezit přitahování vody k polárním skupinám vláken (-OH, -COOH) pomocí hydrofobní (nepolární) látky. S tímto souvisí zvýšení trvanlivosti materiálu a možné snížení součinitele tepelné vodivosti za zvýšené vlhkosti.

Jednou z možností úpravy vláken pro snížení smáčivosti je **acetylace**, která byla původně aplikována na dřevo pro stabilizaci proti vlhkosti a pro zlepšení rozměrové stálosti. Acetylace je založena na reakci hydroxylových skupin (u ligninu a hemicelulózy) s octovým nebo propionovým anhydridem při zvýšené teplotě. Tyto prostředky upravují vlastnosti polymerů tak, že nahradí hydroxylové skupiny za skupiny acetylové, které modifikují vlastnosti polymeru tak, aby se staly hydrofobní (Obr. 7). [3]



Obr. 7 Schéma acetylace [3]

S těmito činidly reagují ovšem jen hydroxylové skupiny, které se nachází v hemicelulóze nebo ligninu (amorfní materiál), hydroxylové skupiny celulózy (krystalický materiál) zabraňují šíření činidla a to má za následek nižší rozsah reakce. [3]

Další možností ošetření je pomocí organických **peroxidů**, které inklinují k rozkladu na volné radikály, které dále reagují s vodíkovými skupinami celulóзовých vláken. Vlákna

mohou být pro snížení smáčivosti po alkalickém ošetření navíc ošetřena 6 % benzoyl peroxidem (funkční vzorec - $(C_6H_5CO)_2O_2$) v roztoku acetonu po dobu 30 minut a při teplotě 70 °C. [3]

Celulózová vlákna se dají také ošetřit **manganistanem**. Používají se různé koncentrace roztoku manganistanu draselného v acetonu. Materiál se namáčí do tohoto roztoku po dobu 1 – 3 minuty po alkalickém ošetření. Nasákavost materiálu klesá s nárůstem koncentrace manganistanu. Manganistan se převážně používá jako spojovací prostředek mezi vláknem a pryskyřicí. [3]

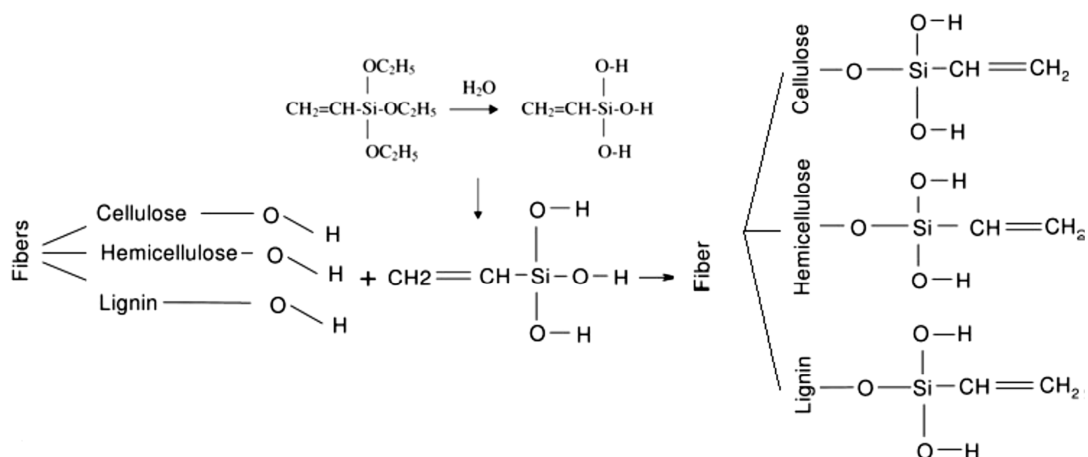
V dnešní době dokážeme na českém trhu nalézt mnoho různých již hotových přípravků, které se využívají pro hydrofobní úpravu přírodních vláken. Stavební i textilní průmysl nabízí širokou škálu různých přípravků založených na silikonové, polyuretanové či jiné bázi nebo na bázi nanotechnologie. Různé zahraniční studie také dokazují, že velice účinnými přípravky pro získání superhydrofobního povrchu přírodních surovin je impregnace vláken silany, popřípadě ještě s kombinací se sol-gel metodou.

▪ Ošetření silany

Silany jsou tvořeny skupinami křemíkových atomů vázaných kovalentně na vodíkové atomy. Obecný vzorec silanu je Si_nH_{2n+2} (je tedy analogický k nasyceným uhlovodíkům – alkanům). Silany jsou méně stabilní než jejich uhlovodíkové analogy, protože vazba Si-Si je poněkud slabší než vazba C-C. První dva silany jsou plynné, od trisilanu Si_3H_8 kapalné. Všechny jsou mimořádně reaktivní a na vzduchu samozápalné, reakcí s kyslíkem vzniká oxid křemičitý a voda. Ve vodě rychle hydrolyzují za uvolnění plynného vodíku a gelu kyseliny křemičité. [43]

Silany mohou působit jako spojovací prostředky mezi anorganickým substrátem a organickým materiálem. Silany obsahují reaktanty nesoucí takové skupiny, které na jednom konci reagují s matricí a na druhém konci nesou skupiny reagující s hydroxylovými skupinami přírodních vláken. Alkoxy, methoxy nebo ethoxy skupiny jsou koncové skupiny, které mohou tvořit stabilní kovalentní vazby s hydroxylovými skupinami vláken. Koncové skupiny, které mohou reagovat s matricí, se mění v závislosti na typu matrice. [3]

Silany snižují počet hydroxylových skupin přírodních vláken a minimalizují tak citlivost na vlhkost. Účinnost silanu podporuje alkalizace roztokem NaOH. Alkalizace usnadňuje reakci silanu s přírodními vlákny. Hydrolyzovaná alkoxy skupina vede ke tvorbě silanolu, který poté reaguje s hydroxylovými skupinami vláken a vytvoří stabilní kovalentní vazby na povrchu buněčné stěny, které jsou chemisorbovány na povrch vlákna (Obr. 8). Uhlovodíkové řetězce poté poskytují přírodním vláknům efektivní ochranu proti pronikání vlhkosti do struktury vláken. [3]



Obr. 8 Reakce silanu s OH skupinami přírodních vláken [3]

Pradeep K. Kushwaha a Rakesh Kumar využívali různé druhy silanů pro impregnaci alkalizovaných (v 5% roztoku NaOH) bambusových vláken k zvýšení jejich odolnosti vůči vodě. Používali tyto silany: Vinyl tris (2 metoxyethoxy) silan, Aminopropyltrimethoxy silan, Aminopropyltriethoxy silan, 3-trimethoxysilylpropyl metakrylát, Bis [3-triethoxysilylpropyl] tetrasulfid, (3-glycidyloxypropyl)trimethoxy silan a n-octyltrimethoxy silan. Nasákavost bambusových desek ošetřených pouze alkalizací se pohybovala od 35 % do 51 %. Po ošetření těchto desek silany se nasákavost snížila, hodnoty nasákavosti se pohybovaly od 19 % do 44 %, přičemž nejmenší absorpci vody vykazovaly vzorky ošetřené Aminopropyltriethoxy silanem. [44]

E. Erasmus a F. A. Barkhuysen vytvářeli superhydrofobní povrch na bavlněných tkaninách pomocí 1H,1H,2H,2H-fluorooctyl triethoxysilanu, který byl v množství 1 %, 5 %, 10 %, 20 % z váhy bavlny, přidán do směsi etanolu s vodou (v poměru 3:1), navíc s malým množstvím HCl. Směs byla zahřáta na teplotu 40 °C po 2 hodiny pro aktivaci silanu. Následně byly bavlněné tkaniny ponořeny do roztoku a poté zahřáty na teplotu 80 °C po dobu 3 hodin. Tkanina byla dále sušena mezi dvěma vrstvami teflonu při teplotě 110 °C po dobu 30 minut. Superhydrofobní povrch byl určen podle naměřeného kontaktního úhlu, který dosahoval hodnot větších než 150°. S přibývajícím množstvím silanu se kontaktní úhel zvyšoval. [45]

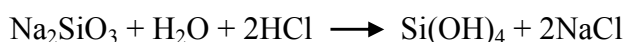
▪ Sol – gel proces

Obecně platí, že superhydrofobní povrch vznikne kombinací snížení povrchové energie a zvýšením drsnosti povrchu materiálu. Jednou z možností vytvoření takového povrchu je sol-gel metoda v kombinaci ošetřením silanem.

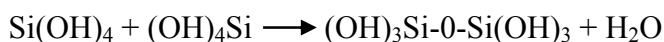
Sol-gel metoda je velice uznávanou metodou syntézy gelu a nanočástic. Sol gel metoda umožňuje výrobu vícevrstevných tenkých filmů, nanokrystalických materiálů, nanoprášek, zdrsňených povlaků, nanokompozitů a dalších. Sol-gel je koloidní

suspenze, která může být přeměněna na pevnou látku (gel). Získaný porézní gel je následně ještě chemicky ošetřen. Gel může být před transformací dopován různými látkami, což umožňuje připravovat materiály s velkou variabilitou vlastností.[46]

Jednou z možností vytvoření superhydrofobního povrchu je právě využití tohoto procesu, který byl také vyzkoušen při experimentální části této práce, a to je ošetření přírodních vláken křemičitým solem a hydrolyzovaným silanem. Zhengxiong Li, Yanjun Xing a Jinjin Dai ve své studii využívají vodní sklo, levný obyčejný průmyslový produkt, jako prekurzor pro vytvoření křemičitého solu za hydrolyzy katalyzované kyselinou a za kondenzace. Při sol-gel procesu nastává hydrolyza za přítomnosti HCl, produktem je kyselina křemičitá podle následujícího vzorce: [47]

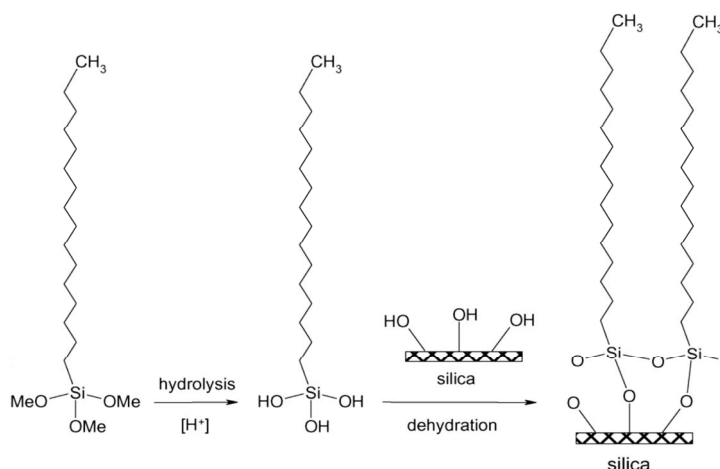


Kyselina křemičitá dále kondenzuje a vytvoří křemičitý sol, z něhož vznikne křemičitý gel:



Množství přidané HCl má velký vliv na velikost nanočástic. Čím je více HCl, tím se tvoří menší částice křemičitého gelu. Velikosti částic se v této studii pohybovaly od 19,5 nm (9,2 ml HCl) do 67,4 nm (13 ml HCl). [47]

Po ošetření křemičitým solem byl na jednotlivých vláknech vytvořen drsný povrch, který musel být ještě ošetřen hydrolyzovaným HDTMS pro snížení povrchové energie - získání hydrofobního povrchu. Obr. 9 znázorňuje vznik konečného povrchu. Mechanismus lze chápat jako hydrataci HDTMS pro zformování alkylsilanolu a následný vznik chemické vazby mezi alkylsilanolem a hydroxylovými skupinami křemičitého povrchu. [47]



Obr. 9 Schéma tvorby filmu HDTMS na povrchu silikagelu [47]

Hydrofobnost povrchu se zde také určovala měřením kontaktních úhlů. Pokud je kontaktní úhel větší než 90° , jsou vlastnosti povrchu nesmáčivé. Pokud je kontaktní úhel blízký nule, jedná se o povrchu superhydrofilní, je-li kontaktní úhel větší než 150° , jedná se o povrch superhydrofobní. Kontaktní úhly θ ošetřených vzorků pomocí sol-gelu procesu a HDTMS se pohybovaly okolo $145 - 151,2^\circ$. Po ošetření pouze hydrolyzovaným HDTMS, se kontaktní úhly povrchů pohybovaly okolo 123° . [47]

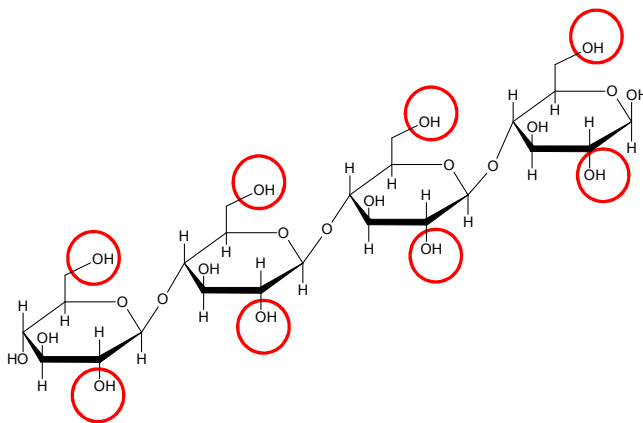
Song-Min Shang, Thengxiong Li, Yanjun Xing, John H. Xin a Xiao-Ming Tao popisovali ve své studii tvorbu superhydrofobního povrchu na celulóзовých deskách pomocí vodního skla a organosilanů, jako je n-octadecyltriethoxysilan (ODTES) s 3-glycidioxypropyltrimethoxysilanem (GPTMS) jako tzv. crosslinker při sol-gel procesu. Výsledky ukázaly, že přídavek GPTMS způsobí lepší fixaci křemičitého povlaku vodního skla k celulóзовým deskám pro vyšší trvanlivost povrchu. Výsledné hodnoty kontaktních úhlů byly vyšší než 150° . [48]

Jinyun Liu, Wenqi Huang, Yanjun Xing, Rong Li a Jinjin Dai využívali k vytvoření trvanlivého hydrofobního povrchu na bavlněných tkaninách sol-gel proces. Vlákna byla nejprve ošetřena křemičitým solem, připraveným z vodního skla, kyseliny citrónové a NaH_2PO_2 . Takto ošetřené tkaniny byly dále namáčeny v hydrolyzovaném hexadecyltrimethoxysilanu (3% HDTMS) pro snížení povrchové energie. Zde byly také naměřeny kontaktní úhly na ošetřeném povrchu, které se pohybovaly od 140 do 150° . Bylo také zjištěno, že vyšší koncentrace kyseliny citrónové a NaH_2PO_2 má vliv na trvanlivost hydrofobního povrchu. [49]

1.4.2 Protipožární úprava (retardéry hoření)

Vzhledem k tomu, že přírodní vlákna obsahují vysoký podíl celulózy (Obr. 10), dochází při zvýšených teplotách okolo 350°C k nevratným změnám - rozkladu. Při rozkladu celulózy vzniká:

- Uhlík, který následně oxiduje na CO_2 a vodu,
 - Levoglukóza, která se v oxidačním prostředí rozkládá na nestabilní oligomery.
- [50]



Obr. 10 Řetězec celulózy

Cílem zpomalovače hoření je zabránit vznícení materiálu a omezit šíření plamene. Retardéry snižují hořlavost materiálu, ale nedělají jej zcela nehořlavým. Fungují v různých fázích procesu a snižují čas vznícení, aby se získalo více únikového času. Snižují šíření kouře, množství toxických plynů a tepelný výkon. Existují tyto fyzikální mechanismy zabránění požáru:

- vznik ochranné vrstvy - chemikálie mohou zabránit přenosu tepla ze zdroje tepla nebo zabránit proudění kyslíku do materiálu. Dále zabraňují dodávce pyrolýzních plynů k povrchu materiálu. Používají se sloučeniny fosforu, křemíku, anorganické boritany,
- chladicí účinek - chemikálie vyvolají endotermický proces, který ochlazuje materiál, aby nedošlo k jeho zapálení,
- ředící efekt - přísady vyvíjí nehořlavé plyny a snižují tak koncentraci hořlavých plynů (aby byla pod hranicí zápalnosti). [51]

Podle trvanlivosti retardéru hoření dělíme ošetření celulóзовých vláken na:

- krátkodobé ošetření celulóзовých vláken,
- střednědobé ošetření celulóзовých vláken,
- dlouhodobé ošetření celulóзовých vláken. [51]

Retardéry pro krátkodobé ošetření vláken v sobě zahrnují vodorozpustné chemikálie, které mohou být z povrchu opláchnuty čistou vodou. Jsou to chemikálie aplikovány postřikem vodného roztoku (soda, systém borax-kyselina boritá, di- fosforečnan amonný apod.). Zpomalovače hoření pro střednědobé ošetření jsou sice odolné vůči vodě a měnícím teplotám, ale podléhají zkáze při častějším praní, jedná-li se o textilie, svou účinnost ztrácí v alkalickém prostředí (mycí prostředky, tvrdá voda...). Pro toto ošetření se

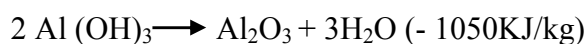
využívá například kyselina boritá nebo močovina. Naproti tomu, retardéry pro dlouhodobé ošetření jsou odolné vůči vodě i praní, jedná se převážně o sloučeniny na bázi fosforu. [51]

V literatuře se objevují odkazy na řadu přípravků, které působí jako retardéry hoření pro specifické typy vláken. Pro tyto přípravky jsou společné některé základní skupiny látek, které poskytují potřebnou ochranu vláken proti ohni, jedná se o:

▪ **Anorganické sloučeniny**

Nejběžněji užívané jsou hydroxidy kovů, zvláště pak hliníku a hořčíku. Tyto minerální retardéry uvolňují nehořlavé plyny H_2O , CO_2 , SO_2 nebo HCl , které hořlavé plyny rozředí. Také mohou podporovat tvorbu ochranné keramické nebo skelné vrstvy. [52]

Hydroxid hlinitý, zkráceně také ATH je anorganická sloučenina, která se rozkládá při teplotě $200\text{ }^\circ\text{C}$ za vzniku oxidu hlinitého a vody podle následující rovnice:



Při této reakci se spotřebovává teplo ze spalování (nastává endotermický efekt) a voda se stává bariérou pro plamen. Hydroxid hořečnatý, zkráceně MDH se používá pro vyšší teploty, kolem $300\text{ }^\circ\text{C}$. Funkce je stejná jako u ATH. [52]

▪ **Halogenové sloučeniny**

Dělí se do dvou skupin, na chlorované a bromované. Tyto látky jsou aktivní v plynné fázi, kdy tyto sloučeniny dokáží reagovat s reaktivními radikály H^+ a OH^- , uvolňované při hoření. Snižují tak jejich koncentraci a ukončují hoření. Při vysoké teplotě Cl nebo Br reagují s hořlavými plyny za vzniku HCl nebo HBr . HBr nebo HCl poté odstraňují reaktivní vodík a hydroxylové skupiny tak, že reagují s těmito radikály za vzniku vody. Problém je v tom, že tyto halogeny produkují agresivní plyn (HBr , HCl), které jsou považovány za ekologicky nebezpečné látky. [51],[52]

▪ **Sloučeniny fosforu**

Tyto látky mohou působit v pevné fázi při zvýšené teplotě nebo během spalování. Produkují kyselinu fosforečnou, z níž vzniká pyrofosforečnan za uvolnění vody. Během procesu může docházet ke vzniku dvojných vazeb, k síťování a vzniku zuhelnatělé vrstvy podobné sklu, která je stabilní i při vysokých teplotách a zabraňuje přístupu kyslíku. Tyto retardanty se mohou dále odpařovat do plynné fáze za vzniku aktivních radikálů PO_2 , PO , HPO , které reagují s radikály H^+ , OH^- . [52].

Nejzajímavější sloučeniny fosforu jsou fosfátové estery – používané ve strojírenství, fosfornany – používané pro automobilní a stavební aplikace (u pružných pěn PUR), červený fosfor, polyfosforečnan amonný – využívaný nejčastěji v textilním průmyslu. [51]

▪ Sloučeniny dusíku

Dusík má několik vlivů na plamen. V kondenzované fázi tvoří zesíťovanou strukturu pomocí melaminu, která zabraňuje tvorbě hořlavých plynů. V plynné fázi se uvolňuje dusík nebo amoniak, který ředí hořlavé plyny a snižují produkci plamene. Sloučeniny na bázi dusíku působí většinou společně s fosforem a mnoho z nich je založeno právě na sloučeninách melaminu. [51]

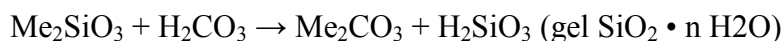
▪ Sloučeniny boru

Kyselina boritá (H_3BO_3) a borax ($Na_2B_4O_7$) jsou často používány jako krátkodobé (netrvanlivé) retardéry hoření pro materiály na bázi celulózových vláken, jako jsou například celulózové vláknité rohože a izolace na bázi rozvlákněného papíru. Boritany fungují v kondenzační fázi jako Lewisova kyselina (chemická sloučenina, jejíž atomy mají volný vazebný orbital a mohou přijmout elektronový pár), pokrývají a chrání vlákno na povrchu sklovitým polymerem.

▪ Sloučeniny křemíku

Tekuté vodní sklo použité na povrchu různých výrobků může také působit jako zpomalovač hoření. Aplikujeme-li tento vodný roztok na povrch substrátu, následné usušení umožní formaci hladkého povlaku. Za zvýšené teploty vytvoří křemičitan sodný pěnu, která slouží jako izolační bariéra mezi produktem a ohněm a tím zpomalí šíření ohně. [53]

Vytvrzování vodního skla je způsobeno tvorbou gelu kyseliny křemičité, nejčastěji v důsledku reakce alkalického křemičitanu s oxidem uhličitým, resp. kyselinou uhličitou, podle následující rovnice (pozn. Me – kov):



K. M. Slimak ve své studii používal pro povrchy dřeva, dřevotřískových desek či papíru, retardér hoření z vodního skla. Celulózové materiály byly ošetřovány sodným vodním sklem ($Na_2O \cdot SiO_2$) v koncentracích od 400 do 0,04 g vodního skla na 1 kg vody. Pro ochranu tohoto povrchu proti vodě a následnému znehodnocení byly vzorky dále ošetřeny silikonem monoxidem (aplikovaným v plynné formě) pro zvýšení odolnosti proti vodě a vlhkosti. [54]

▪ Intumescentní povlaky

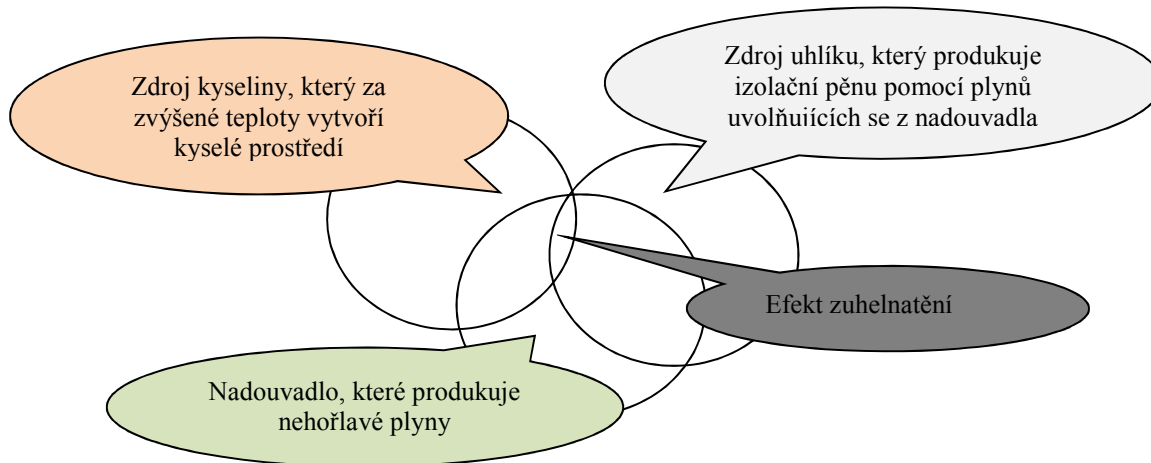
Jedná se o zpěňovací nátěry poskytující silnou protipožární vrstvu. Po rozkladném procesu za vysoké teploty vyvolají tyto nátěry nabobtnání aplikované vrstvy do tepelně

stabilní uhlíkové vrstvy. Dobrý nátěr dokáže zvětšit svou tloušťku 50 – 200 krát. Nátěry účinně omezují šíření plamene, snižují uvolněné teplo a také slouží k prevenci spalování. Izolační pěnová vrstva zabraňuje přenosu tepla do polymeru a přenosu hmoty z polymeru do plamene. Tyto zpěňovací povlaky obsahují:

- zdroj anorganické kyseliny, která se uvolní při zvýšené teplotě,
- zdroj uhlíku,
- nadouvadlo, které uvolňuje nehořlavý plyn. [51]

Tyto látky musí podstoupit řadu rozkladných mechanismů a fyzikálních procesů:

- uvolnění anorganických kyselin při 150 °C – 219 °C (z kyselého zdroje),
- esterifikace látek bohatých na uhlík za vyšších teplot (vyšších než při uvolnění kyseliny),
- tavení materiálů během esterifikace,
- naexpandování materiálu do pěny, díky uvolněným plynům,
- zpevňování pěny. [51]



Obr. 11 Efekt zuhelnatění

Pro tyto povlaky se jako zdroj kyseliny používá boritan zinku, fosforečnan amonný, fosfáty melaminu, organické estery. Jako nadouvadla se obecně používají sloučeniny dusíku (močovina), melamin, guanidin atd. Převážně je tento povlak složen z polyfosforečnanu amonného (zdroj kyseliny), melaminu a jeho derivátů (nadouvadlo) nebo pentaerythritolem derivátů (látky vytvářející, formující uhlíkovou vrstvu). [51]

1.5 Požadavky na přírodní izolační materiály z pohledu jejich užití ve stavebních konstrukcích

Ve vyhlášce 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, která je prováděcím předpisem zákona 183/2006 sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), jsou stanoveny technické požadavky na stavby, které náleží do působnosti obecních stavebních úřadů. Stavba musí být navržena a provedena tak, aby byla při respektování hospodárnosti vhodná pro určené využití a aby současně splnila šest základní požadavků. [55] Tyto požadavky jsou také uvedeny v nařízení vlády č. 163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky. Jedná se o tyto požadavky:

- mechanická odolnost a stabilita - pro zamezení zřícení stavby nebo její části, nepřipustnému přetvoření, poškození jiných částí stavby následkem deformace, poškození neúměrné příčině,
- požární bezpečnost - v případě požáru musí být zajištěna nosnost a stabilita po danou dobu, omezen vznik a šíření ohně či kouře, omezení šíření požáru na okolní objekty, možnost evakuace osob a zvířat a možnost zásahu požárních jednotek,
- hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí - nesmí dojít k ohrožení zdraví, zejména uvolňováním a přítomností toxických plynů, emisí záření, zamořením vody a půdy, nedostatečným zneškodněním odpadů všeho druhu, výskytem vlhkosti ve stavbě a površích,
- bezpečnost při udržování a užívání stavby - musí být zamezeno nepřijatelnému nebezpečí úrazu,
- ochrana proti hluku - hluk nesmí ohrozit zdraví uživatelů stavby a musí umožnit uspokojivé podmínky a požadavky uživatelů, musí být dodržena požadovaná vzduchová neprůzvučnost obvodových pláštů budov podle ČSN 73 0532, stěn a příček a také požadovaná kročejová neprůzvučnost stropních konstrukcí s podlahami,
- úspora energie a tepelná ochrana - spotřeba energie musí být co nejnižší s ohledem na klimatické podmínky a požadavky uživatelů. Musí být zajištěna tepelná pohoda uživatelů, požadované tepelně technické vlastnosti konstrukcí podle ČSN 73 0540, tepelně vlhkostní podmínky technologií podle různých účelů budovy a nízká energetická náročnost budovy. [56]

1.5.1 Tepelná ochrana budov

Z hlediska tepelné techniky je pro navrhování a posuzování konstrukcí nejdůležitější řada norem ČSN 73 0540 - Tepelná ochrana budov. Skládá se ze čtyř částí:

- ČSN 73 0540 – 1, Terminologie – vymezuje termíny užívané v oboru stavební tepelné techniky, definice veličin používaných v části 2, 3 a 4, [57]
- ČSN 73 0540 – 2, Požadavky – stanovuje tepelně technické požadavky pro navrhování budov pro splnění základního požadavku na úsporu energie a tepelnou ochranu budov, [58]
- ČSN 73 0540 – 3, Návrhové hodnoty veličin – stanovuje normové, charakteristické a návrhové hodnoty fyzikálních veličin pro navrhování a ověřování konstrukcí z hlediska šíření vlhkosti a z hlediska tepelné ochrany budov. Také stanovuje návrhové hodnoty pro výpočet tepelných ztrát podle ČSN EN ISO 13790, pro výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů podle ČSN 73 0548 a tepelných izolací chladíren a mrazíren podle ČSN 14 8102, [59]
- ČSN 73 0540 – 4, Výpočtové metody – stanovuje a upřesňuje výpočtové metody pro stanovení veličin z části 2. [60]

1.5.2 Požární bezpečnost

Všeobecné požadavky na požární bezpečnost staveb stanovuje norma ČSN 73 0810 – Požární bezpečnost staveb. Norma ČSN 73 0804 dále upřesňuje požadavky na výrobní budovy a norma ČSN 73 0802 na budovy nevýrobní. Upřesňující požadavky na budovy pro bydlení a ubytování nalezneme v normě ČSN 73 0833 a pro budovy zdravotního zařízení a sociální péče v normě ČSN 73 0835. Pokud využíváme tepelné izolace pro systém ETICS, musíme také dodržet požadavky, které jsou stanoveny normou ČSN 73 2901. Stavební materiály dále klasifikujeme do tříd hořlavosti podle ČSN EN 13 501 – 1+A1, 2010.

▪ Klasifikace materiálu do tříd reakce na oheň

Po zkoušce reakce na oheň se zkoušený materiál (tepelně izolační výrobky) klasifikuje do třídy hořlavosti podle ČSN EN 13 501 – 1+A1, 2010. Tato evropská norma určuje postup klasifikace podle reakce na oheň pro všechny stavební výrobky včetně výrobků zabudovaných v konstrukcích staveb. Výrobky se dle normy mohou zařadit sestupně do tříd A1, A2, B, C, D, E a F.

- třída A1 – výrobky třídy A1 nebudou přispívat k požáru v žádném jeho stádiu, z toho důvodu jsou automaticky vyhovující všem požadavkům nižší třídy,

- třída A2 – výrobky sice vyhovují všem kritériím EN 13823 jako pro třídu B, ale navíc nebudou za podmínek plně rozvinutého kouře významně přispívat k dalšímu růstu požáru,
- třída B – jako u třídy C, ale s přesnějšími požadavky,
- třída C – jako u třídy D, ale navíc při tepelném působení jednotlivého hořícího předmětu vykazují omezené šíření plamene,
- třída D – výrobky vyhovují kritériím pro třídu E, ale jsou schopny odolávat působení malého plamene pro delší časový interval bez jeho významného rozšíření.,
- třída E – výrobky schopné odolávat působení malého plamene po krátký časový interval bez významného rozšíření plamene,
- třída F – výrobky, které nelze zařadit do žádné z předchozích tříd. [61]

Tepelně izolační výrobky zařazené do třídy E se zkouší podle EN ISO 11925-2 při působení plamene po dobu 15 sekund. Výrobek, který má být klasifikován do tříd D, C nebo B, se musí zkoušet podle EN ISO 11925 - 2 při působení plamene po dobu 30 sekund. Výrobek, který vyhoví požadavkům pro třídy D, C nebo B se dále ještě zkouší podle EN 13823. Výrobek, který má být klasifikován do třídy A1, se musí zkoušet podle EN ISO 1182 a podle EN ISO 1716. Výrobek, který má být klasifikován do třídy A2, se musí zkoušet buď podle EN ISO 1182, nebo podle EN ISO 1716. Všechny výrobky, které mají být klasifikovány do třídy A2, se musí navíc zkoušet podle EN 13823. [61]

Dále v této normě existují doplňkové klasifikace s1,s2,s3 podle vývinu kouře, které se odvozují z dat naměřených při zkoušce podle EN 13823 a také doplňkové klasifikace d0, d1, d2 podle plamenně hořících kapek/částic, které se odvozují z pozorování plamenně hořících kapek nebo částic a to:

- pro třídu E podle EN ISO 11925 - 2 (d2),
- pro třídy B, C a D podle EN ISO 11925 - 2 a EN 13823 (d0, d1 nebo d2),
- pro třídu A2 podle EN 1382 (d0, d1 nebo d2).

V našem případě nás zajímají pouze klasifikace výrobku do tříd E a F. Pokud výrobek vyhoví normě EN ISO 11925 - 2 při vystavení plamene po dobu 15 sekund špička plamene dosáhne maximálně 150 mm za dobu 20 sekund, řadí se tento výrobek do třídy E. Nevyhoví-li výrobek této normě, zařadí se automaticky do třídy F. Po zařazení do třídy E se výrobek zařadí do doplňkové klasifikace plamenně hořících kapek/částic. Jestliže plamenně hořící kapky/částice zapálí filtrační papír, nevyhoví výrobek doplňkové klasifikaci a bude zařazen do klasifikace d2, pokud vyhoví, nezařadí se do žádné klasifikace. [61]

2 CÍL PRÁCE

Cílem této práce je studium vlastností vytipovaných zástupců izolačních materiálů na přírodní bázi a provedení návrhu modifikace jejich vlastností v oblasti nasákavosti, navlhavosti a reakce na oheň.

Konkrétně se jedná o návrh zlepšení citlivosti vůči vlhkosti z pohledu výsledných tepelně izolačních vlastností, snížení celkové nasákavosti materiálu a zlepšení reakce na oheň při použití dodatečných přísad.

Z výsledků zkoušek budou vyvozeny závěry a bude provedeno srovnání vlastností nově modifikovaných materiálů s tepelně izolačními materiály běžně dostupnými na stavebním trhu v ČR.

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Metodika práce

Nejprve byl pro experiment vybrán vhodný druh tepelně izolačního materiálu na bázi přírodních vláken. Byly zvoleny konopné izolační rohože s nízkou objemovou hmotností, pro dosažení co nejúčinnějšího prosycení vláken chemikáliemi.

Poté byly vybírány různé přípravky pro přípravu impregnací, použitelné na konopné izolační rohože. Vhodné impregnační přípravky byly vybírány na základě provedeného průzkumu na trhu (stavebního i textilního trhu) a dále na základě provedené literární rešerše, jejíž výsledky jsou uvedeny v teoretické části práce výše.

Pro protipožární úpravu vzorků byly zvoleny tyto přípravky:

- borax – tetraboritan sodný,
- soda – uhličitan sodný, bezvodý,
- kyselina boritá,
- dihydrogenfosforečnan amonný,
- hydrogenfosforečnan diamonný.

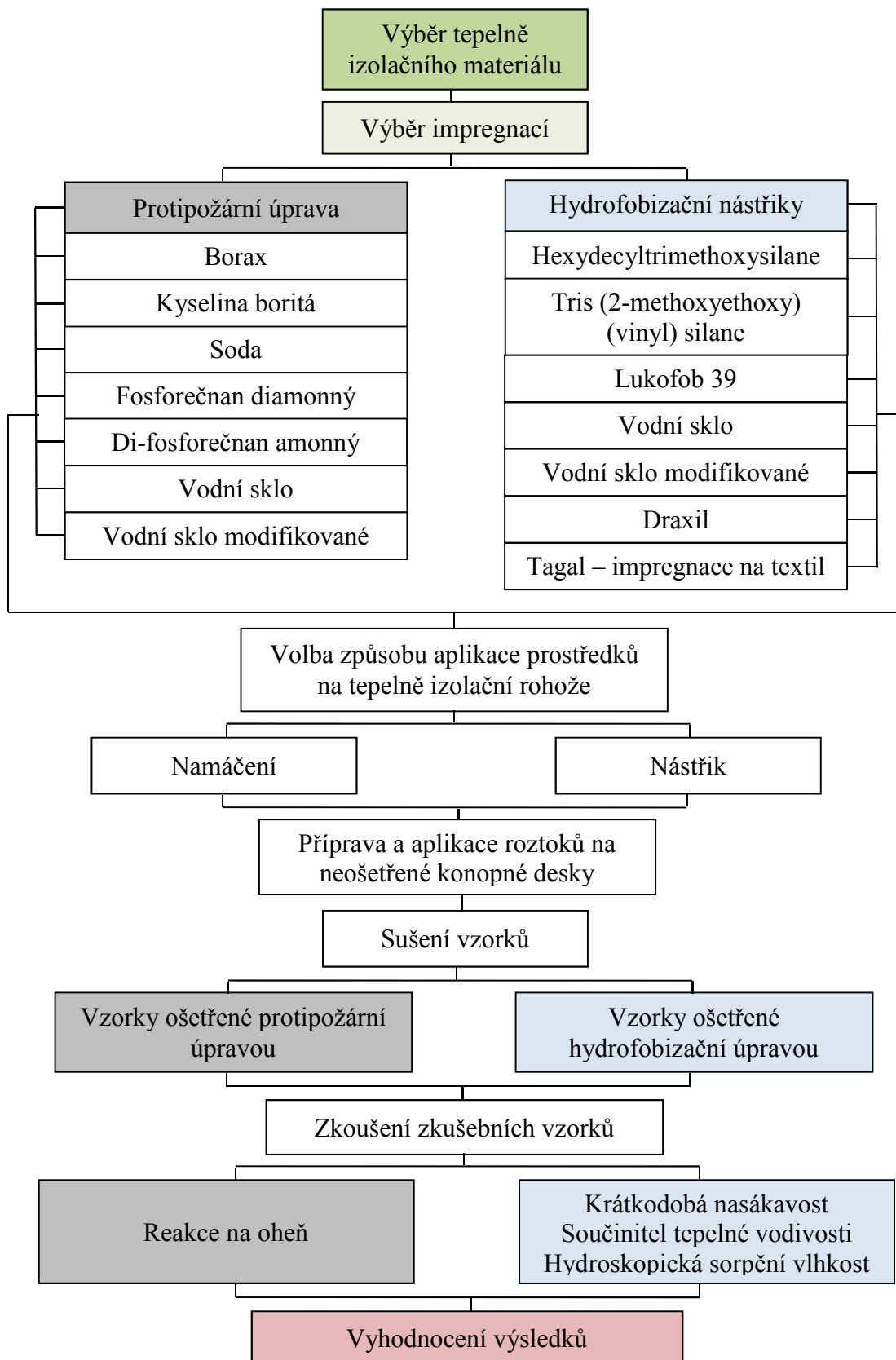
Pro hydrofobní úpravu vzorků byly zvoleny tyto přípravky:

- hexadecyltrimethoxysilan (HDTMS),
- tris (2-methoxyethoxy) (vinyl) silan (TMEVS),
- vodní sklo,
- Lukofob 39,
- Draxil 153,
- Tagal - impregnace na textil.

Podle informací z vědeckých článků nebo pokynů na obalu prostředků byly následně zvoleny koncentrace a množství aplikovaného roztoku, počítáno z váhy vzorku.

Následně byl zvolen způsob aplikace chemických přípravků na tepelně izolační rohože. Jako nejdokonalejší a nejefektivnější způsob se obecně jeví namáčení, v tomto případě se vlákna velice dobře chemikáliemi prosytí, ovšem pro tuto technologii je nutné velké množství roztoku, které nebylo možné u všech chemikálií namíchat. Vzhledem k tomuto byla zvolena aplikace nástřikem. Namáčení bylo s ohledem na dodržení pracovního postupu zvoleno jen u ošetření tepelně izolační rohože pomocí sol-gel procesu.

Ošetřené zkušební vzorky se nechaly vysušit nejprve v laboratorním prostředí a následně byly dosušeny podle potřeby v sušárně. Na takto připravených vzorcích byly následně prováděny laboratorní zkoušky. Na vzorcích ošetřených protipožárním nástřikem byla prováděna zkouška malým plamenem. Na vzorcích ošetřených hydrofobizačními prostředky byly provedeny zkoušky pro stanovení lineárních rozměrů a objemové hmotnosti, krátkodobé nasákavosti, hydroskopické rovnovážné sorpční vlhkosti a součinitele tepelné vodivosti u vzorků ve vysušeném a vlhkém stavu. Nakonec byly shrnuty výsledky zkoušek, bylo provedeno srovnání jednotlivých výsledků neošetřených a ošetřených vzorků a vyvozeny závěry. Metodika práce je schématicky zobrazena na následujícím obrázku (Obr. 12).



Obr. 12 Schéma metodiky práce

3.2 Metodika zkoušení vzorků

Byla provedena řada měření k určení základních fyzikálních, vlhkostních, tepelně technických a požárních vlastností ošetřených i neošetřených tepelně izolačních rohoží na bázi vláken z technického konopí. Tyto vlastnosti by měly určit, do jaké míry jednotlivé úpravy ovlivní výše uvedené vlastnosti. Byly provedeny tyto zkoušky:

- stanovení lineárních rozměrů,
 - stanovení délky a šířky (ČSN EN 822),
 - stanovení tloušťky (ČSN EN 823),
- stanovení objemové hmotnosti (ČSN EN 1602),
- stanovení krátkodobé nasákavosti (ČSN EN 1609),
- stanovení hydroskopické sorpční vlhkosti (ČSN EN ISO 12571),
- stanovení součinitele tepelné vodivosti (ČSN EN 12667, ČSN 72 7012 – 3, ISO 8301),
- stanovení reakce na oheň malým plamenem (ČSN EN ISO 11925 – 2).

3.2.1 Stanovení lineárních rozměrů

▪ Stanovení délky a šířky

Délka l je delší lineární rozměr hlavní plochy zkušebního tělesa a šířka b je kratší lineární rozměr hlavní plochy zkušebního tělesa, měřený kolmo k délce. Délka l a šířka b se stanovují podle ČSN EN 822, Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení délky a šířky. [62]

Zkušební zařízení - rovinný povrch, kovové pravítko nebo svinovací měřidlo s dělením v milimetrech a umožňující odečítání po 0,5 mm.

Zkušební postup

Zkušební vzorek se položí na rovinný povrch. Pro zkušební vzorky s oběma rozměry menšími nebo rovnými 1,5 m se provede jedno měření délky l a jedno měření šířky b . Délka a šířka zkušebního vzorku musí být vyjádřena v milimetrech, zaokrouhlená na nejbližší milimetr.

▪ Stanovení tloušťky

Tloušťka d je lineární rozměr, měřený kolmo k délce a šířce plochy. Tloušťka tepelně izolačních výrobků se stanovuje podle ČSN EN 823, Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení tloušťky. [63]

Zkušební zařízení - měřicí přístroj vybavený číselníkovým úchylkoměrem a pravouhlou přítlačnou deskou (Obr. 13), číselníkový úchylkoměr s přesností nejméně 0,5 mm, uchycený na tuhém rámu, spojeném s rovinnou, tuhou, základní deskou, která je alespoň tak velká jako zkušební vzorek a přítlačná čtvercová deska o straně 200 mm působící na zkušební vzorek celkovým tlakem ($50 \pm 1,5$) Pa.



Obr. 13 Přístroj pro měření tloušťky

Zkušební postup

Zkušební vzorek se opatrně uloží na rovinnou tuhou základní desku tak, aby měřená plocha byla v dotyku se základní deskou. Zkušební vzorky s povrchovou úpravou nebo povlakem proti základní desce. Přítlačná deska se umístí na zkušební vzorek při vyvinutí celkového tlaku ($50 \pm 1,5$) Pa při označení polohy centrálně umístěného číselníkového úchylkoměru. Tloušťka zkušebního vzorku se odečítá na nejbližších 0,05 mm, průměr měření se zokrouhlí na 0,1 mm.

3.2.2 Stanovení objemové hmotnosti

Objemová hmotnost ρ_a je hmotnost výrobku na jednotku objemu. Stanovuje se podle normy ČSN EN 1602, Tepelně izolační výrobky – Stanovení objemové hmotnosti. [64]

Zkušební zařízení - váhy s přesností 0,5 %, měřicí zařízení ke stanovení lineárních rozměrů.

Zkušební postup

Nejprve se stanoví lineární rozměry výrobků podle EN 822 a EN 823. Lineární rozměry zkušebních vzorků se měří podle EN 12085. U výrobků se skutečnými rozměry se délka, šířka a tloušťka zaokrouhlují na nejbližší milimetry, u zkušebních vzorků se měří rozměry s přesností 0,5 %. Z naměřených lineárních rozměrů se poté vypočítá objem zkušebních vzorků. Následně se vzorky zváží s přesností 0,5 % a hmotnost se uvede

v kilogramech. Nakonec se vypočítá objemová hmotnost podle vztahu (1) a hodnota objemové hmotnosti se uvede na tři platné číslice.

$$\rho_a = \frac{m}{V} \quad [\text{kg/m}^3], \quad (1)$$

kde m je hmotnost zkušební vzorku [kg] a V objem zkušební vzorku [m^3].

3.2.3 Stanovení krátkodobé nasákavosti

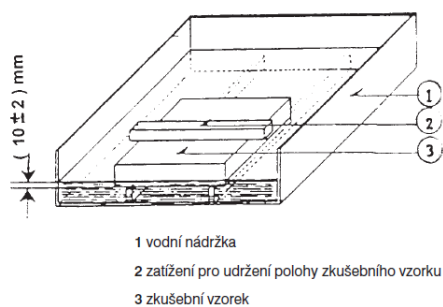
Nasákavost je schopnost látky přijímat vodu. Zkouška nasákavosti se provádí dle ČSN EN 1609, Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření. [65]

Zkušební pomůcky - váhy s přesností 0,1 g, vodní nádržka, zařízení pro odkapávání přebytečné vody.

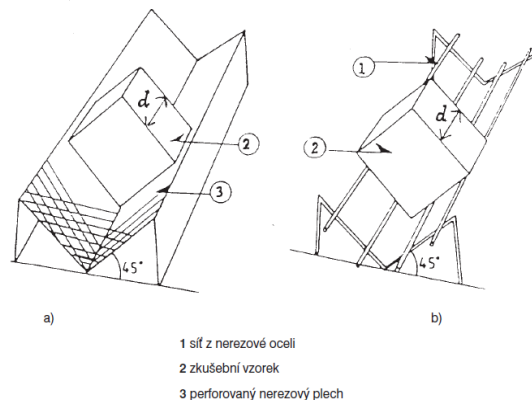
Zkušební postup

Zkušební vzorky s čtvercovým příčným řezem o straně (200 ± 1) mm se kondiciují po dobu nejméně 6 hodin při teplotě (23 ± 2) °C a relativní vlhkosti vzduchu (50 ± 5) %. Dále se vzorky zváží s přesností na 0,1 g a zaznamenává se počáteční hmotnost m_0 .

Zkouška se může provádět podle metody A – Okapávání přebytečné vody nebo podle metody B – Odpočet počátečního navlhčení. V tomto případě byla použita metoda A. Podle této metody se polovina vzorků umístí svou největší povrchovou plochou směrem nahoru, druhá polovina se umístí stejnou plochou směrem dolů. Zkušební vzorek se vloží do prázdné vodní nádržky a zatíží tak, aby po doplnění vodou zůstal částečně ponořen (Obr. 14). Opatrně se přileje voda do nádržky, až je spodní část vzorku ponořena (10 ± 2) mm pod hladinou vody. Zajistí se, aby vodní hladina zůstala v průběhu zkoušky stálá. Po 24 hodinách se zkušební vzorek vyjme a nechá se po dobu $(10 \pm 0,5)$ minut odkapat (Obr. 15). Nakonec se vzorek zváží, stanoví se hmotnost m_{24} a dle vzorce se vypočítá krátkodobá nasákavost vzorku.



Obr. 14 Příklad zařízení pro částečné ponoření [65]



Obr. 15 Příklad zařízení na odkapávání přebytečné vody [65]

Krátkodobá nasákavost W_p se poté vypočítá dle následujícího vztahu (2) a zaokrouhlí se na nejbližší $0,01 \text{ kg/m}^2$.

$$W_p = \frac{m_{24} - m_0}{A_p} \quad [\text{kg/m}^2], \quad (2)$$

kde m_{24} je hmotnost vzorku po 24 hodinách částečného ponoření ve vodě [kg], m_0 je počáteční hmotnost vzorku [kg] a A_p je plocha ponořené části zkušební vzorku.

3.2.4 Stanovení rovnovážné sorpční vlhkosti

Hydroskopická rovnovážná sorpční vlhkost porézních stavebních materiálů se stanovuje podle ČSN 12571, Tepelně vlhkostní vlastnosti stavebních materiálů a výrobků - Stanovení hydroskopických sorpčních vlastností. [66]

Zkušební pomůcky - klimatizační komora, váhy s přesností $\pm 0,01 \%$ hmotnosti zkušební vzorku.

Zkušební postup

Byla stanovena sorpční vlhkost při 80 % relativní vlhkosti vzduchu podle normy ČSN 12571, metody b - užití klimatizační komory. Vysušené a zvážené zkušební vzorky se uloží do prostředí zvolené relativní vlhkosti vzduchu. Zkušební vzorky se opakovaně váží, až se dosáhne rovnováhy s prostředím (konstantní hmotnosti). Hmotnostní vlhkost u [kg/kg] zkušební vzorku se vypočítá ze vztahu (3).

$$u = \frac{m_0 - m}{m_0} \quad [\text{kg/kg}], \quad (3)$$

kde m_0 je hmotnost vysušeného zkušební vzorku [kg] a m hmotnost vlhkého zkušební vzorku [kg].

ČSN EN ISO 12570 uvádí vzorce pro přepočet hodnot hmotností vlhkosti u [kg/kg] na objemovou vlhkost ψ [m³/m³] viz vztah (4) nebo na hmotnostní koncentraci w [kg/m³] viz vztah (5).

$$\psi = u \cdot \frac{\rho_0}{\rho_w} \quad [\text{m}^3/\text{m}^3], \quad (4)$$

kde u je hmotnostní vlhkost vzorku [kg/kg], ρ_0 je objemová hmotnost suchého vzorku [kg/m³] a ρ_w je hustota vody (997,6 kg/m³ při 23°C).

$$w = u \cdot \rho_0 \quad [\text{kg/m}^3] \quad (5)$$

3.2.5 Stanovení součinitele tepelné vodivosti

Stanovení součinitele tepelné vodivosti lze v praxi provádět několika základními způsoby, které se od sebe liší teplotním stavem zkušební vzorku během měření a dále způsobem stanovení a vyhodnocení součinitele tepelné vodivosti zkušební vzorku. V tomto případě byl součinitel tepelné vodivosti λ [W/(m·K)] stanoven v souladu s ČSN EN 12667 stacionární metodou podle ISO 8301 resp. ČSN EN 72 7012 – 3, Stanovení součinitele vodivosti materiálu v ustáleném tepelném stavu - Metoda desky, část 3: Metoda měřidla tepelného toku.

Podstatou této metody je navodit ve zkušebním vzorku ustálený teplotní stav a na základě průměrných hodnot výstupního napětí měřidla tepelného toku, kalibrační konstanty měřidla tepelného toku, teploty vztažné plochy teplého povrchu zkušební vzorku, teploty vztažné plochy chladného povrchu zkušební vzorku, tloušťky zkušební vzorku, stanovit součinitel tepelné vodivosti zkušební vzorku. [67]

Pro měření byl použit přístroj Lambda 2300 Holometrix Micromet Inc., USA (Obr. 16), který automaticky vyhodnotí hodnoty součinitele tepelné vodivosti zkušebních vzorků.



Obr. 16 Přístroj Lambda 2300 Holometrix Micromet Inc., USA

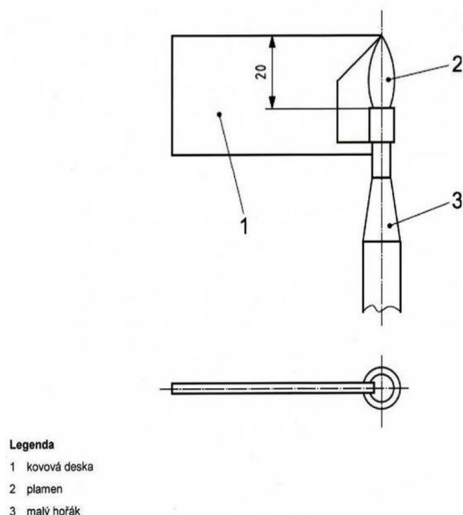
3.2.6 Stanovení reakce na oheň pomocí zkoušky malým plamenem

Zkouška se provádí dle ČSN EN ISO 11925 – 2: Zkoušení reakce na oheň – zápalnost stavebních výrobků vystavených přímému působení plamene – část 2: Zkouška malým zdrojem plamenem. [68]

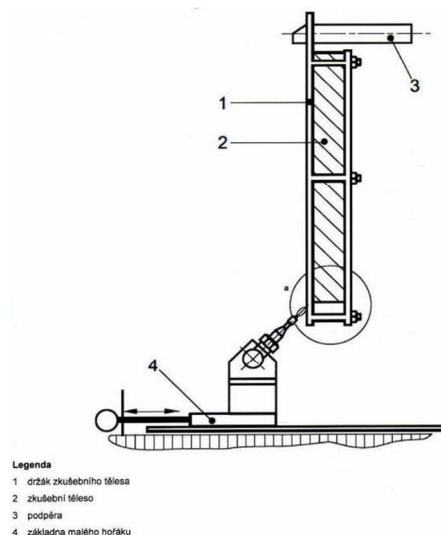
Zkušební pomůcky - klimatizační komora, držák zkušebního tělesa, časoměrné zařízení, zdroj plamene – malý hořák, pravítko.

Zkušební postup

Zkušební vzorek 250 x 250 mm se nejprve kondiciuje při teplotě ($23 \pm 2^\circ\text{C}$) a relativní vlhkosti vzduchu ($50 \pm 5\%$) po dobu nejméně 48 hodin za dosažení konstantní hmotnosti. Následně se zapálí malý hořák a nechá se ustálit plamen výšky 20 mm (Obr. 17). Vzorek se vloží do držáku, malý hořák se skloní pod úhlem 45° k jeho svislé ose a posouvá se vodorovně, až plamen dosáhne předem určený dotykový bod na zkušebním tělese, v tomto případě střed dolní hrany vzorku (Obr. 18). V okamžiku prvního dotyku zkušebního tělesa plamenem se zapne časoměrné zařízení a plamen se nechá působit 15 sekund. Poté se malý hořák oddálí hladkým plynulým pohybem. Následně se zaznamená, zda došlo k zapálení vzorku, zda špička plamene dosáhne 150 mm nad místem působení plamene, čas, ve kterém k tomu dojde, zda je přítomnost plamenně hořících částic a celkové chování zkoušeného zkušebního tělesa.



Obr. 17 Typické zařízení pro měření výšky plamene [68]



Obr. 18 Typická podpěra a ustálení malého hořáku (boční pohled)[68]

3.3 Použité materiály

V následující kapitole jsou popsány zkušební tepelně izolační rohože a jednotlivé hydrofobizačních a protipožárních prostředky. Charakteristické vlastnosti jednotlivých prostředků jsou také uvedeny v tabulkách (viz. Příloha 1, Příloha 2).

3.3.1 Konopné izolační rohože

Pro experimentální účely byly použity tepelně izolační konopné desky o rozměrech 300 x 300 mm a nízké objemové hmotnosti ($\approx 39 \text{ kg/m}^3$), dodané firmou Canabest. Konopné desky byly zcela bez ošetření, obsahovaly jen konopná vlákna smíchaná s pojivovým dvousložkovým vláknem BiCo v poměru 9:1. BiCo je zcela nezávadné inertní pojivo na bázi polypropylenu. Dále byly použity konopné desky z laboratoří Ústavu technologie stavebních hmot a dílců, Fakulty stavební, Vysokého učení technického v Brně. Jednalo se o konopné desky nízké objemové hmotnosti ($\approx 32 \text{ kg/m}^3$) o rozměrech 300 x 300 mm a 200 x 200 mm smíchané také pouze s bikomponentními vlákny bez dalšího ošetření (viz Obr. 19). Tyto zkušební vzorky byly vyrobeny prototypově na výrobní lince v Jihoafrické republice v roce 2008.



Obr. 19 Konopné desky pro experimentální účely, zleva: konopná rohož firmy Canabest, konopné rohože z laboratoří Ústavu technologie stavebních hmot a dílců

3.3.2 Hydrofobizační prostředky

Pro hydrofobizační úpravu byly zvoleny tyto přípravky:

- **Hexadecyltrimethoxysilane**

Jedná se o čirou bezbarvou kapalinu. Byl použit Hexadecyltrimethoxysilan (85%), dále jen HDTMS od firmy Sigma-Aldrich spol.s.r.o. Jako rozpouštědlo pro přípravu roztoku byla použita destilovaná voda nebo etanol. Charakteristiky silanu jsou uvedeny v Tab. 1, Příloha 1.

- **Tris (2-methoxyethoxy)(vinyl)silane**

Jedná se o čirou světlou kapalinu. Byl použit Tris (2methoxyethoxy)(vinyl)silan (98%), dále jen TMEVS od firmy Sigma-Aldrich spol.s.r.o. Jako rozpouštědlo pro přípravu roztoku byl použit etanol. Charakteristiky silanu jsou uvedeny Tab. 2, Příloha 1.

- **Draxil 153**

Tento přípravek byl dodán firmou Nanofuture. Draxil 153 je vysoce účinný ochranný systém na dřevo na bázi rozpouštědel. Na povrchu vytváří transparentní, ultratenkou vrstvu, která odpuzuje vodu a oleje. Přípravek je použitelný při pokojové teplotě. Jedná se o směs organických rozpouštědel se speciálními přísadami. Je vhodný na povrchy dřeva, papíru, textilu a některých minerálních látek. Aplikuje se přímo na suchý, čistý povrch při teplotě 5 až 25 °C. Formování ochranné vrstvy nastane při pokojové teplotě, při dostatečné ventilaci za cca 2 hodiny, po 24 hodinách je přípravek plně usazený. Charakteristiky Draxilu 153 jsou uvedeny v Tab. 3 Příloha 1.

- **Lukofob 39**

Tento přípravek byl vyroben firmou Druchema, družstvo pro chemickou výrobu a služby. Jedná se o hydrofobizační prostředek pro ochranu staveb ze silikátových stavebních materiálů. Směs je klasifikována jako nebezpečná směs – žíravá, pro životní prostředí neškodná. Přípravek obsahuje z více než 50 % hm. metylsilikonát draselný. Jako rozpouštědlo pro přípravu roztoku byla použita destilovaná voda. Charakteristiky Lukofobu 39 jsou uvedeny v Tab. 4, Přílohy 1.

- **Tagal – impregnace na textil**

Tento přípravek byl vyroben firmou Druchema, družstvo pro chemickou výrobu a služby. Tato směs je klasifikována jako nebezpečná – vysoce hořlavá, musí se tedy chránit před slunečním zářením a teplotám vyšším jak 50 °C, zdraví škodlivá při požití, nebezpečná pro životní prostředí, může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí. Tato směs obsahuje z 10 % hm. – 20 % hm. izopropylalkohol, z 50 % hm.– 90 % hm. benzínovou frakci (ropnou) a z 1 – 5 % hm. isopropylacetát. Charakteristiky přípravku Tagal jsou uvedeny v Tab. 5, Příloha 1.

3.3.3 Protipožární prostředky

Pro protipožární úpravu byly použity tyto přípravky:

- **Borax – Tetraboritan sodný dekahydrát**

Jedná se o anorganickou sloučeninu. V přírodě se vyskytuje jako minerál Borax. Borax se využívá jako zdroj boru v chemickém průmyslu, sklářském průmyslu, papírenství, v zemědělství jako hnojivo nebo v metalurgii [73].

Při experimentu byl použit borax vyrobený firmou Penta. Jako rozpouštědlo pro přípravu roztoku byla použita destilovaná voda. Charakteristiky Boraxu jsou uvedeny v Tab. 1, Příloha 2.

- **Kyselina boritá**

Čistá kyselina boritá je bílá krystalická látka, ve vodných roztocích se chová jako mimořádně slabá kyselina. Soli kyseliny borité s alkalickými kovy nacházejí uplatnění také při impregnacích dřeva proti plísním, houbám a hnilobám. [74]

Pro experimentální účely byla použita kyselina boritá od firmy Penta. Jako rozpouštědlo pro přípravu roztoku byla použita destilovaná voda. Charakteristiky kyseliny borité jsou uvedeny v Tab. 2, Příloha 2.

- **Soda – Uhličitan sodný, bezvodý**

Jedná se o anorganickou sloučeninu, sodnou sůl kyseliny uhličitě. V bezvodém stavu jde o bílý prášek, který se ve vodě snadno rozpouští za uvolnění hydratačního tepla. Krystalizací za laboratorní teploty lze získat hydrát, tzv. krystalovou sodu ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Vodné roztoky jsou silně zásadité. V dnešní době se často používá pro zvýšení požární odolnosti konopných i lněných rohoží. [75]

Při experimentu byl použit uhličitan sodný, bezvodý od firmy Penta. Jako rozpouštědlo pro přípravu roztoku byla použita destilovaná voda. Charakteristiky sody jsou uvedeny v Tab. 3, Příloha 2.

- **Hydrogenfosforečnan di-amonný**

Hydrogenfosforečnan di-amonný neboli fosforečnan amonný sekundární je nehořlavá, pevná, bílá, dráždivá krystalická látka. Pro experiment byl použit sekundární fosforečnan amonný od firmy Penta. Jako rozpouštědlo pro přípravu roztoku byla použita destilovaná voda. Charakteristiky sekundárního fosforečnanu amonného jsou uvedeny v Tab. 4, Příloha 2.

- **Dihydrogen-fosforečnan amonný**

Dihydrogenfosforečnan amonný neboli fosforečnan amonný primární je nehořlavá, pevná, bílá, dráždivá krystalická látka. Při experimentu byl použit primární fosforečnan amonný od firmy Penta. Jako rozpouštědlo pro přípravu roztoku byla použita destilovaná voda. Charakteristiky primárního fosforečnanu amonného jsou uvedeny v Tab. 5, Příloha 2.

- **Vodní sklo**

Jedná se o čirou až slabě zakalenou viskózní kapalinu alkalické reakce neomezeně mísitelnou s vodou. Vodní sklo je známé tím, že není toxické, tedy pro zdraví člověka bezpečné.

Pro experimentální účely bylo využito vodní sklo sodné od firmy KM plus, o obsahu 34 – 38 %. Jako rozpouštědlo pro přípravu roztoku byla použita destilovaná voda. Při modifikování sodného vodního skla byla využita čistá kyselina chlorovodíková - HCl. Charakteristiky sodného vodního skla jsou uvedeny v Tab. 6, Příloha 2.

3.4 Metodika přípravy zkušebních vzorků

V této kapitole jsou rozepsány jednotlivé receptury roztoků hydrofobizačních a protipožárních prostředků a postup přípravy těchto roztoků. Dále je zde také popsán způsob aplikace prostředků na tepelně izolační rohože.

3.4.1 Receptury roztoků

Jednotlivé roztoky hydrofobizačních prostředků byly připravovány dle následujících receptur (Tab. 8). Roztoky silanů HDTMS a TMEVS byly provedeny v koncentracích 6 % hm. Roztok prostředku Lukofobu 39 byl proveden v koncentraci 4,76 % hm. a roztok prostředku Draxil ve 100% koncentraci. Tyto čtyři roztoky byly na jednotlivé vzorky nanášeny v množství 25% k váze vzorku. Ošetření pomocí prostředku Tagal o 100% koncentraci roztoku bylo na vzorek nanášeno v množství 2,05 % z váhy vzorku.

Tab. 8 Receptury hydrofobizačních nástřiků

| Chemikálie | Koncentrace roztoku [%] | Podíl chemikálie | Podíl rozpouštědla | Druh rozpouštědla | Množství roztoku z váhy vzorku [%] | Způsob nanášení roztoků |
|--------------|-------------------------|------------------|--------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------------|
| Bez ošetření | - | - | - | - | - | - |
| HDTMS (85%) | 6 | 6 | 79 | Voda | 25 | Nástřik |
| TMEVS (98%) | 6 | 6 | 92 | Etanol | 25 | Nástřik |
| Lukofob 39 | 4,76 | 1 | 20 | Voda | 25 | Nástřik |
| Draxil 153 | 100 | - | - | - | 25 | Nástřik |
| Tagal | 100 | - | - | - | 2,05 | Nástřik |

Další ošetření bylo provedeno pomocí sol-gel metody (Tab. 9), vytvořením křemičitého solu z vodného roztoku sodného vodního skla s přísadkou HCl. Poměr sodné vodní sklo, destilovaná voda, HCl byl 1:8:1. Takto byly vytvořeny 2 vzorky, z nichž jeden byl navíc ošetřen hydrolyzovaným HDTMS (4 % hm.). Bylo také provedeno ošetření pouze roztokem sodného vodního skla v poměru sodného vodního skla k destilované vodě 1:8.

Tab. 9 Receptury ošetření pomocí sol-gel metody a silanem HDTMS

| Ošetření | Sol | | | Roztok HDTMS | | | Množství roztoku z váhy vzorku [%] | Způsob nanášení roztoků |
|--------------------------|------------------|------------|-----------|-----------------|------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------|
| | Vodní sklo [díl] | Voda [díl] | HCl [díl] | Koncentrace [%] | Podíl HDTM S [%] | Podíl etanolu [%] | | |
| Vodní sklo | 1 | 8 | - | - | - | - | 256 | namáčení |
| Vodní sklo s HCl | 1 | 8 | 1 | - | - | - | 217 | namáčení |
| Vodní sklo s HCl + HDTMS | 1 | 8 | 1 | 4 | 4 | 81 | 226 | namáčení + nástřik HDTMS |

Protipožární ošetření (Tab. 10) bylo provedeno roztokem boraxu o koncentraci 1,25 %, roztokem kyseliny borité o koncentraci 1,25 %, roztokem sody o koncentraci 5,68 %. Všechny tyto roztoky byly nanášeny v množství 100 % z váhy vzorku. Vzorky ošetřené čistým vodním sklem a modifikovaným vodním sklem (Tab. 9) byly také zkoušeny na reakci na oheň.

Tab. 10 Receptury protipožárních nástřiků

| Chemikálie | Koncentrace roztoku [%] | Podíl chemikálie | Podíl vody | Množství roztoku z váhy vzorku [%] | Způsob nanášení roztoků |
|------------------------------|-------------------------|------------------|------------|------------------------------------|-------------------------|
| Bez ošetření | - | - | - | - | - |
| Borax | 1,25 | 1,25 | 98,75 | 100 | Nástřik |
| Kyselina boritá | 1,25 | 1,25 | 98,75 | 100 | Nástřik |
| Soda | 5,68 | 5,68 | 94,32 | 100 | Nástřik |
| Dihydrogenfosforečnan amonný | 10 | 10 | 90 | 100 | Nástřik |
| Hydrogenfosforečnan diamonný | 10 | 10 | 90 | 100 | Nástřik |

3.4.2 Aplikace roztoků na zkušební vzorky

Roztoky chemikálií byly aplikovány na povrch konopných desek o rozměrech 200 x 200 mm nebo 300 x 300 mm buď nástřikem, nebo namáčením. Jednalo-li se o **nástřik**, roztoky byly vždy namíchány na množství 500 ml. Nástřik byl prováděn pomocí stříčky ze vzdálenosti cca 5 - 10 cm na každou stranu vzorku (Obr. 20). Aby bylo na vzorek nastříkáno přesné množství roztoku, stříčka s 500 ml roztoku byla na začátku zvážena a během nanášení byl průběžně kontrolován úbytek hmotnosti stříčky (množství již nastříkaného roztoku). Po vysušení vzorků v sušárně při teplotě 60 °C po dobu 24 hodin byly vzorky připraveny k následnému zkoušení podle zkušebních norem. Nástřikem byly

aplikovány tyto roztoky: roztok sody, roztok boraxu, roztok kyseliny borité, roztoky silanu HDTMS i TMEVS, Draxil a Tagal – impregnace na textil.



Obr. 20 Aplikace roztoku nástřikem

Namáčením (Obr. 21 – Obr. 23) byl aplikován vodný roztok sodného vodního skla a také vodný roztok sodného vodního skla s HCl. V plastové nádobě s vodným roztokem sodného vodního skla a HCl byly vzorky konopných desek namáčeny po dobu 3 minut každou svou plochou (Obr. 21). Přebytný roztok byl poté vytlačen (Obr. 22) a takto připravené vzorky se ponechaly v laboratorních podmínkách (Obr. 23). Pro hydrofobní povrch byl na některých vzorcích nástřikán etanolový roztok HDTMS. Ošetřené vzorky byly vytvrzovány při teplotě 60°C po dobu 24 hodin. Takto upravené vzorky byly připraveny k následnému zkoušení dle norem. Značení jednotlivých zkušebních vzorků je uvedeno v Tab. 11.



Obr. 21 Namáčení vzorku bylo provedeno ze všech stran vzorku



Obr. 22 Nalítí roztoku na vzorek, pro dokonalejší prosycení vzorku a odstranění přebytečného roztoku



Obr. 23 Sušení vzorků v laboratorních podmínkách

Tab. 11 Značení jednotlivých zkušebních vzorků

| Hydrofobizační ošetření | | Protipožární ošetření | |
|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|
| Chemikálie | Označení vzorku | Chemikálie | Označení vzorku |
| Bez ošetření | REF | Bez ošetření | REF |
| HDTMS (85%) | H6 | Borax | B |
| TMEVS (98%) | T6 | Kyselina boritá | KB |
| Lukofob 39 | LUK | Soda | S |
| Draxil 153 | DR | Dihydrogenfosforečnan amonný | DF |
| Tagal | TG | Hydrogenfosforečnan diamonný | F |
| Vodní sklo | VS | | |
| Vodní sklo s HCl | VSH | | |
| Vodní sklo s HCl a HDTMS | VSHH | | |

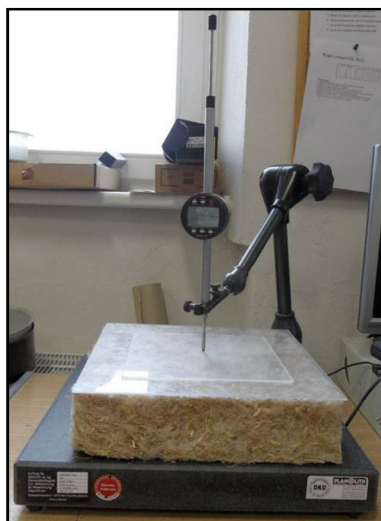
3.5 Provádění a výsledky zkoušek

3.5.1 Stanovení lineárních rozměrů

Lineární rozměry byly stanoveny v souladu ČSN EN 822 a ČSN EN 823 u tepelně izolačních rohoží o rozměrech 300 x 300 mm, které byly ponechány v prostředí s 80 % vlhkostí vzduchu a na stejných vzorcích ve vysušeném stavu. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v Tab. 12 a Tab. 13.

▪ Stanovení tloušťky

U zkušebních vzorků o rozměrech 300 x 300 mm byla stanovena tloušťka s přesností 0,1 mm. Pro měření byl využit přístroj vybavený číselníkovým úchylkoměrem a pravouhloú přítlačnou deskou (byl zvolen jmenovitý tlak 50 Pa), (Obr. 24.). Na každém vzorku se provedla 2 měření, z kterých se vypočítala průměrná hodnota tloušťky tepelně izolační rohože. Tyto průměrné hodnoty jsou uvedeny v Tab. 12 a Tab. 13.



Obr. 24 Měření tloušťky

▪ Stanovení šířky a délky

Šířka a délka zkušebních vzorků byla měřena pomocí kovového pravítka s přesností 0,5 mm. Šířka i délka byla měřena na třech místech. Z naměřených hodnot se dále vypočítaly průměrné hodnoty délek a šířek zkušebních vzorků. Výsledné hodnoty byly zaokrouhleny na nejbližší milimetry. Tyto hodnoty jsou uvedeny v Tab. 12 a Tab. 13.

3.5.2 Stanovení objemové hmotnosti

Objemová hmotnost byla stanovována v souladu s ČSN EN 1602 na vzorcích o rozměrech 300 x 300 mm. Byla stanovena u zkušebních vzorků uložených v prostředí s 80 % vlhkostí vzduchu, dále u vzorků vysušených. Pro tuto zkoušku byly využity hodnoty

zjištěné při měření lineárních rozměrů. Výsledné hodnoty objemových hmotností i lineárních rozměrů jsou uvedeny v Tab. 12 a Tab. 13.

Tab. 12 Naměřené hodnoty lineárních rozměrů a vypočtené hodnoty objemových hmotností zkušebních vzorků ve vysušeném stavu

| Označení vzorku | m [kg] | l [mm] | b [mm] | d [mm] | ρ_a [kg/m ³] |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|-------------------------------|
| REF | 292,72 | 290 | 299 | 87,8 | 38 |
| H6 | 311,28 | 294 | 303 | 89,1 | 39 |
| T6 | 317,35 | 305 | 301 | 91,5 | 38 |
| LUK | 308,67 | 300 | 302 | 86,1 | 40 |
| DR | 204,14 | 304 | 299 | 76,2 | 29 |
| TG | 201,06 | 305 | 300 | 76,0 | 29 |
| VS | 200,20 | 303 | 301 | 57,0 | 38 |
| VSH | 198,66 | 304 | 301 | 69,4 | 31 |
| VSHH | 208,75 | 303 | 303 | 74,1 | 31 |

Tab. 13 Naměřené hodnoty lineárních rozměrů a vypočtené hodnoty objemových hmotností zkušebních vzorků ve vlhkém stavu ($\varphi = 80\%$)

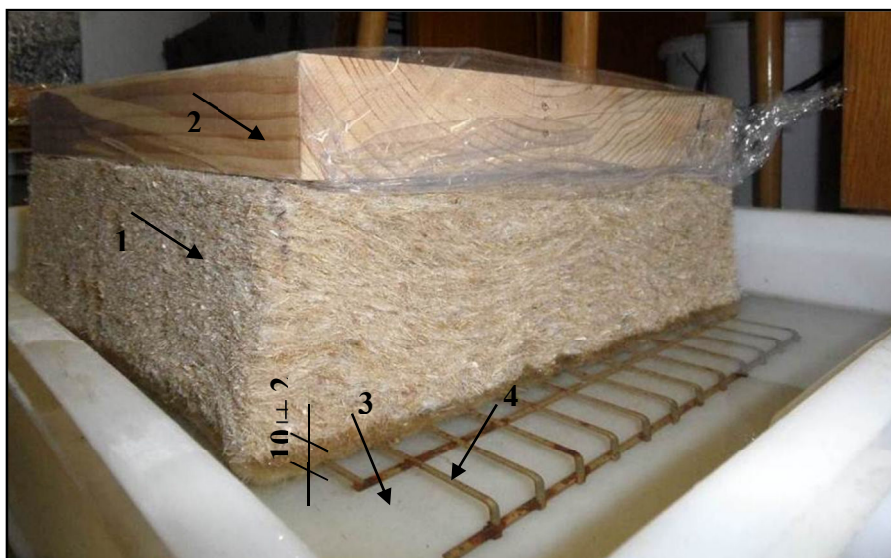
| Označení vzorku | m [kg] | l [mm] | b [mm] | d [mm] | ρ_a [kg/m ³] |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|-------------------------------|
| REF | 335,48 | 291 | 299 | 96,9 | 40 |
| H6 | 355,55 | 296 | 304 | 95,7 | 41 |
| T6 | 363,11 | 306 | 301 | 97,9 | 40 |
| LUK | 354,48 | 300 | 303 | 96,3 | 40 |
| DR | 228,19 | 303 | 302 | 78,3 | 32 |
| TG | 224,36 | 306 | 301 | 77,5 | 31 |
| VS | 236,01 | 305 | 302 | 67,9 | 38 |
| VSH | 239,72 | 305 | 303 | 70,6 | 37 |
| VSHH | 253,4 | 302 | 301 | 75,3 | 37 |

Dílčí závěr

Vzhledem k obsahu vlhkosti ve vzorcích a následném nabobtnání vzorků se nepatrně zvýšily objemové hmotnosti stanovené ve vlhkém stavu u všech vzorků (Tab. 13). Jak je také patrné z naměřených rozměrů vzorků (Tab. 12, Tab. 13), došlo vlivem vlhkosti také ke změně rozměrů vzorků.

3.5.3 Stanovení krátkodobé nasákavosti

Stanovení krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření bylo provedeno v souladu s ČSN EN 1609. Zkušební vzorek o rozměrech 300 x 300 mm byl nejprve zvážen za laboratorních podmínek. Dále se postupovalo podle Obr. 25. Nejprve byla připravena vodní lázeň (3), následně se na rošt (4) položil vzorek (1), který se zatížil (2). Hladina vody dosahovala 10 ± 2 mm nad spodním okrajem vzorku. Po 24 hodinách byl vzorek vyjmut a nechal se 10 minut odkapat (Obr. 26). Poté se vzorek zvážil a výpočtem podle normy ČSN EN 1609 se zjistila krátkodobá nasákavost vzorku W_p v kg/m^2 .



Obr. 25 Provedení zkoušky krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření



Obr. 26 Odkapávání přebytečné vody

V Tab. 14 jsou uvedeny výsledné hodnoty zkoušky krátkodobé nasákavosti jednotlivých zkušebních vzorků. Můžeme zde také pozorovat účinnost hydrofobizačních prostředků vzhledem k množství aplikovaného roztoku.

Tab. 14 Výsledné hodnoty zkoušky krátkodobé nasákavosti

| Označení vzorku | m_0 [g] | m_{24} [g] | A_p [m ²] | W_p [kg/m ²] | Množství roztoku z váhy vzorku [%] |
|-----------------|-----------|--------------|-------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| REF | 316,15 | 502,75 | 0,0858 | 2,17 | 0 |
| H6 | 336,24 | 385,75 | 0,0870 | 0,57 | 25 |
| T6 | 343,33 | 418,04 | 0,0903 | 0,83 | 25 |
| LUK | 334,62 | 512,29 | 0,1105 | 1,61 | 25 |
| DR | 219,51 | 284,47 | 0,0903 | 0,72 | 25 |
| TG | 215,66 | 247,98 | 0,0897 | 0,36 | 2 |
| VS | 223,35 | 380,92 | 0,0921 | 1,71 | 256 |
| VSH | 225,88 | 387,81 | 0,0909 | 1,78 | 217 |
| VSHH | 239,53 | 393,77 | 0,0915 | 1,69 | 226 |

Dílčí závěr

Dle zjištěných hodnot krátkodobé nasákavosti můžeme konstatovat, že všechny ošetřené vzorky vykazovaly nižší hodnotu krátkodobé nasákavosti než vzorek neošetřený (REF), u kterého byla hodnota krátkodobé nasákavosti W_p rovna 2,17 kg/m². Vzorek TG byl s hodnotou $W_p = 0,36$ kg/m² nejvíce odolný vůči vodě a zároveň bylo na něj aplikováno nejmenší množství hydrofobizačního prostředku.

3.5.4 Stanovení rovnovážné sorpční vlhkosti

Stanovení rovnovážné sorpční vlhkosti bylo provedeno v souladu s ČSN EN ISO 12571 u zkušebních vzorků o rozměrech 300 x 300 mm ošetřených hydrofobizačními prostředky. Vzorky byly vystaveny účinkům prostředí s teplotou +23 °C a 80% relativní vlhkosti vzduchu. Tyto hodnoty jsou klíčové pro stanovení charakteristických hodnoty součinitele tepelné vodivosti.

Zkušební vzorky byly nejprve vysušeny a byla stanovena jejich hmotnost, tloušťka a lineární rozměry (výsledky jsou uvedeny výše v Tab. 12). Dále byly zkušební vzorky vloženy do klimatizační komory s teplotou + 23 °C a 80% relativní vlhkosti vzduchu. Vzorky byly průběžně váženy až do ustálení hmotnosti. Po 7 dnech nastalo ustálení hmotnosti u všech vzorků a bylo provedeno finální stanovení hmotnosti, tloušťky a lineárních rozměrů (výsledky jsou uvedeny výše v Tab. 13). V Tab. 15 jsou uvedeny hodnoty hmotnostní vlhkosti $u_{23,80}$, přepočtené objemové hmotnosti $\psi_{23,80}$ a přepočtené hmotnostní koncentrace vlhkosti $w_{23,80}$ jednotlivých vzorků v rovnovážném stavu.

Tab. 15 Výsledné hodnoty při určování rovnovážné sorpční vlhkosti při teplotě + 23 °C a relativní vlhkosti vzduchu 80 %

| Označení vzorku | $u_{23,80}$ [kg/kg] | $u_{23,80}$ [%] | $w_{23,80}$ [kg/m ³] | $\psi_{23,80}$ [m ³ /m ³] |
|-----------------|---------------------|-----------------|----------------------------------|--|
| REF | 0,146 | 14,6 | 5,622 | 0,006 |
| H6 | 0,142 | 14,2 | 5,568 | 0,006 |
| T6 | 0,144 | 14,4 | 5,450 | 0,005 |
| LUK | 0,148 | 14,8 | 5,883 | 0,006 |
| DR | 0,118 | 11,8 | 3,444 | 0,003 |
| TG | 0,116 | 11,6 | 3,356 | 0,003 |
| VS | 0,179 | 17,9 | 6,841 | 0,007 |
| VSH | 0,207 | 20,7 | 6,509 | 0,007 |
| VSHH | 0,214 | 21,4 | 6,589 | 0,007 |

Dílčí závěr

Dle stanovených hmotnostních vlhkostí můžeme říct, že se tyto hodnoty u většiny vzorků výrazně neliší. U vzorků VS, VSH a VSHH došlo dokonce ke zvýšení rovnovážné sorpční vlhkosti oproti vzorku neošetřenému (REF). Nejmenší hmotností vlhkost vykazovaly vzorky TG a DR s 11,8 a 11,6 %.

3.5.5 Stanovení součinitele tepelné vodivosti

Součinitele tepelné vodivosti byly stanoveny v souladu s ČSN EN 12667, ČSN 72 7012 – 3, ISO 8301 pomocí přístroje Lambda 2300 Holometrix Micromet Inc., USA. Nejprve byly stanoveny součinitele tepelné vodivosti na vysušených zkušebních vzorcích a následně na vzorcích uložených v prostředí s teplotou 23 °C a 80% relativní vlhkostí vzduchu. Stanovení součinitele tepelné vodivosti bylo provedeno při střední teplotě + 10 °C a teplotním spádu 10 K. Stanovené hodnoty součinitele tepelné vodivosti jsou uvedeny v následujících tabulkách (viz Tab. 16 a Tab. 17).

Tab. 16 Výsledné hodnoty součinitele tepelné vodivosti zkušebních vzorků v suchém stavu

| Označení vzorku | λ_1 [W/(m·K)] | λ_2 [W/(m·K)] | λ_3 [W/(m·K)] | $\bar{\lambda}$ [W/(m·K)] |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|
| REF | 0,04230 | 0,04381 | 0,04476 | 0,04363 |
| H6 | 0,04271 | 0,04466 | 0,04554 | 0,04430 |
| T6 | 0,04395 | 0,04702 | 0,04800 | 0,04632 |
| LUK | 0,04519 | 0,04994 | 0,05107 | 0,04873 |
| DR | 0,04581 | 0,04826 | 0,04847 | 0,04751 |
| TG | 0,04675 | 0,05157 | 0,05327 | 0,05053 |
| VS | 0,04331 | 0,04578 | 0,04672 | 0,04527 |
| VSH | 0,04514 | 0,04861 | 0,05003 | 0,04793 |
| VSHH | 0,04593 | 0,05041 | 0,05219 | 0,04951 |

Tab. 17 Výsledné hodnoty součinitele tepelné vodivosti zkušebních vzorků ve vlhkém stavu ($\varphi = 80\%$)

| Označení vzorku | λ_1 [W/(m·K)] | λ_2 [W/(m·K)] | λ_3 [W/(m·K)] | $\bar{\lambda}$ [W/(m·K)] |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|
| REF | 0,06326 | 0,0627 | 0,06175 | 0,06257 |
| H6 | 0,05999 | 0,05892 | 0,05804 | 0,05898 |
| T6 | 0,06351 | 0,06143 | 0,06045 | 0,06179 |
| LUK | 0,0673 | 0,06367 | 0,06254 | 0,06450 |
| DR | 0,06375 | 0,06151 | 0,06131 | 0,06219 |
| TG | 0,0701 | 0,06699 | 0,06529 | 0,06746 |
| VS | 0,06948 | 0,06795 | 0,06701 | 0,06815 |
| VSH | 0,06921 | 0,06716 | 0,06574 | 0,06737 |
| VSHH | 0,07353 | 0,07083 | 0,06905 | 0,07114 |

Dílčí závěr

Ze stanovených hodnot, které jsou uvedeny výše v Tab. 16 a Tab. 17, vyplývá, že hodnoty součinitele tepelné vodivosti stanovené na vzorcích ve vlhkém stavu se u všech zkušebních vzorků (ošetřených i neošetřených) zvyšovaly. Vzhledem k rozdílnosti zkušebních vzorků (různá objemová hmotnost, tloušťka) je nutné vyhodnotit tyto výsledky podle poměrné změny hodnot součinitelů tepelné vodivosti ve stavu vlhkém (při rovnovážné sorpční vlhkosti $u_{23,80}$) oproti součinitelům tepelné vodivosti ve vysušeném stavu. Toto vyhodnocení je uvedeno v kapitole Diskuze výsledků, podkapitola Hydrofobizační úpravy (Obr. 43).

3.5.6 Stanovení reakce na oheň pomocí zkoušky malým plamenem

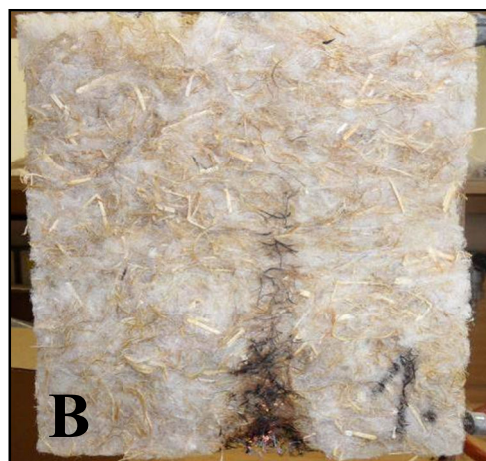
Reakce na oheň byla stanovována v souladu s ČSN EN ISO 11925 – 2. Po zkoušce malým plamenem bylo vyhodnocováno, zda došlo k zapálení vzorku, zda špička plamene dosáhla (za 15 sekund) 150 mm nad místem působení plamene, zda byla přítomnost plamenně hořících částic a také celkové chování zkoušeného zkušební tělesa po a během zkoušky. Všechny tyto údaje jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 18). Na Obr. 27 – Obr. 37 jsou zobrazeny jednotlivé zkušební vzorky po zkoušce malým plamenem.

Tab. 18 Výsledné hodnoty zkoušky reakce na oheň

| Označení vzorku | Špička plamene [mm] | Průměr [mm] | Třída reakce na oheň | Popis chování vzorků |
|-----------------|---------------------|-------------|----------------------|---|
| REF | 175 | 170 | F | K zapálení došlo ihned, po odchýlení plamene zůstalo pár hořících částic, které prohořovaly dovnitř vzorku |
| | 165 | | | |
| B | 130 | 120 | E | K zapálení došlo ihned, po odchýlení plamene zůstalo pár hořících, doutnajících částic, které po chvíli vyhasly, neprohořely dovnitř vzorku |
| | 110 | | | |
| KB | 130 | 135 | E | K zapálení došlo ihned, po odchýlení plamene zůstalo pár hořících, doutnajících částic, které po chvíli vyhasly, neprohořely dovnitř vzorku |
| | 140 | | | |
| S | 120 | 105 | E | K zapálení došlo ihned, po odchýlení plamene zůstalo pár hořících, doutnajících částic, které ihned vyhasly, neprohořely dovnitř vzorku |
| | 90 | | | |
| VSH | 115 | 103 | E | K zapálení došlo ihned, po odchýlení plamene se vzorek ihned uhasil, nezůstaly žádné doutnající částice, které by mohly prohořet dovnitř vzorku |
| | 90 | | | |
| VSHH | 110 | 108 | E | K zapálení došlo ihned, po odchýlení plamene se vzorek ihned uhasil, nezůstaly žádné doutnající částice, které by mohly prohořet dovnitř vzorku |
| | 105 | | | |
| VS | 105 | 95 | E | K zapálení došlo ihned, po odchýlení plamene se vzorek ihned uhasil, nezůstaly žádné doutnající částice, které by mohly prohořet dovnitř vzorku |
| | 85 | | | |
| F | 60 | 68 | E | K zapálení došlo ihned, po odchýlení plamene vzorek přestal hořet, nezůstaly žádné doutnající částice, pouze v jednom případě po odchýlení plamene zůstal jeden doutnající uhlík, který ale po chvíli vyhasl a nedošlo k prohoření dovnitř vzorku |
| | 75 | | | |
| DF | 60 | 53 | E | K zapálení došlo ihned, po odchýlení plamene vzorek přestal okamžitě hořet, nezůstaly tedy žádné doutnající částice, které by měly tendenci prohořovat dovnitř vzorku |
| | | | | |



Obr. 27 Referenční vzorek bez ošetření po zkoušce malým plamenem



Obr. 28 Vzorek ošetřený boraxem po zkoušce malým plamenem



Obr. 29 Vzorek ošetření kyselinou boritou po zkoušce malým plamenem



Obr. 30 Vzorek ošetřený sodou po zkoušce malým plamenem



Obr. 31 Vzorek ošetřený vodním sklem s HCl po zkoušce malým plamenem



Obr. 32 Vzorek ošetřený vodním sklem s HCl a silanem HDTMS po zkoušce malým plamenem



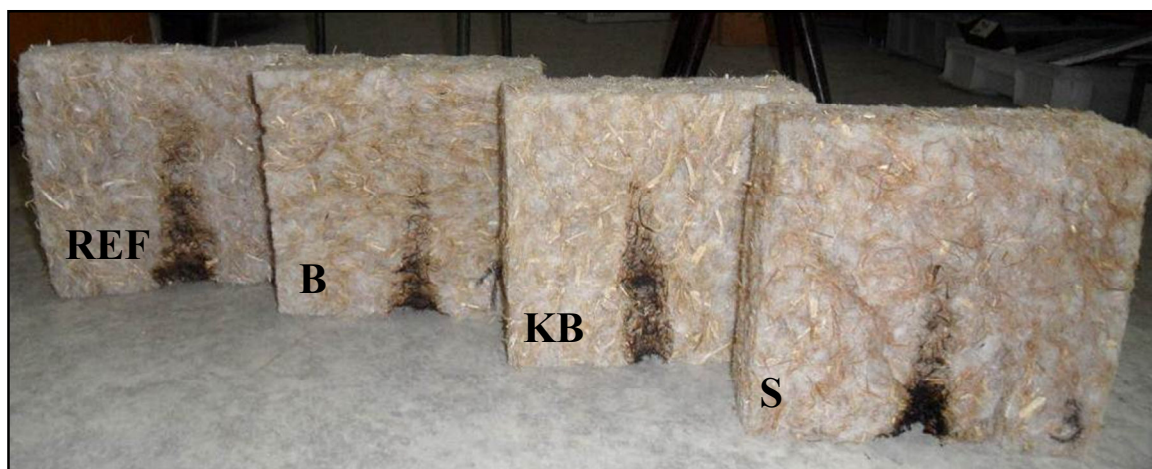
Obr. 33 Vzorek ošetřený vodním sklem po zkoušce malým plamenem



Obr. 34 Vzorek ošetřený
hydrogenfosforečnanem diamonným
po zkoušce malým plamenem



Obr. 35 Vzorek ošetřený
dihydrogenfosforečnanem amonným
po zkoušce malým plamenem



Obr. 36 Vzorky po zkoušce malým plamenem, zleva: vzorek referenční, vzorek ošetřený boraxem, vzorek ošetřený kyselinou boritou, vzorek ošetřený sodou



Obr. 37 Vzorky po zkoušce malým plamenem, zleva: vzorek ošetřený vodním sklem s HCl, vzorek ošetřený vodním sklem s HCl a silanem HDTMS, vzorek ošetřený vodním sklem, vzorek ošetřený hydrogenfosforečnanem diamonným a vzorek ošetřený dihydrogenfosforečnem amonným

Dílčí závěr

Podle výsledků zkoušky reakce na oheň malým plamenem (Tab. 18) můžeme konstatovat, že všechny ošetřené vzorky vykazovaly lepší reakci na oheň než vzorek referenční. Všechny ošetřené vzorky můžeme podle výsledků z Tab. 18 a ČSN EN 13 501-1+A1 zařadit do třídy reakce na oheň E, na rozdíl od vzorku referenčního, který třídě E nevyhověl a byl zařazen do třídy reakce na oheň F. Po odchýlení plamene se každý ošetřený vzorek ihned uhasil, nezůstaly žádné doutnající částice, které by mohly prohořet dovnitř vzorku. Největší odolnost vůči působení malého plamene vykazoval vzorek DF (Obr. 34) s hodnotou vzdálenosti od spodní hrany vzorku po špičku plamene 53 mm.

3.6 Diskuze výsledků

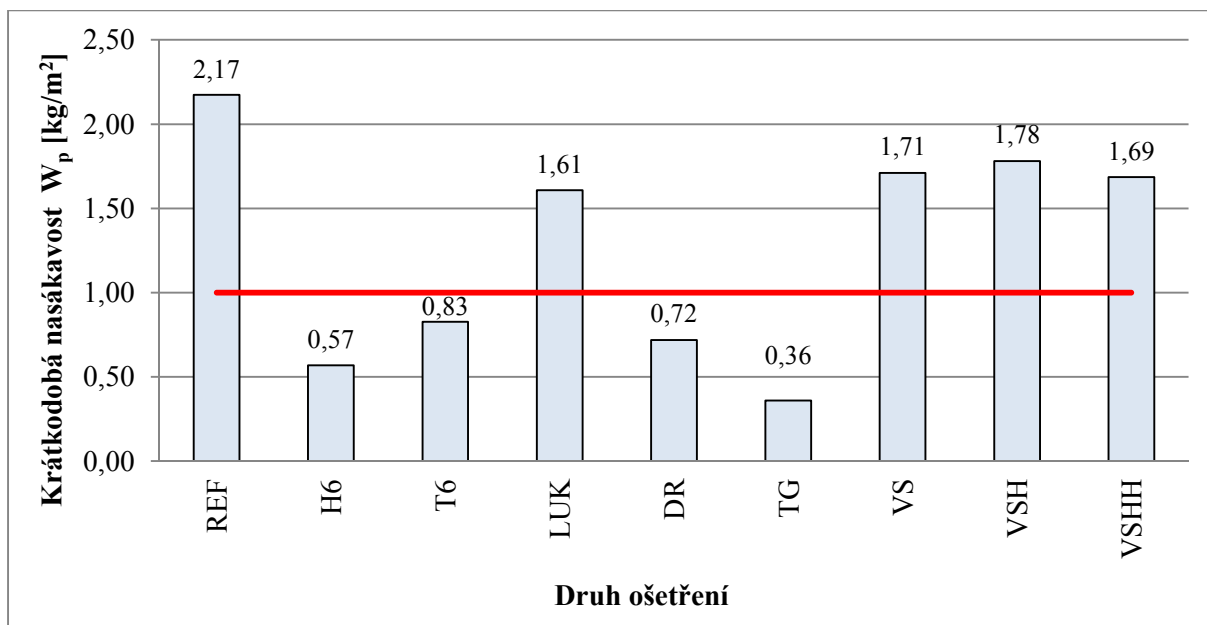
3.6.1 Hydrofobizační úpravy

Hydrofobizační úpravy výrazně ovlivnily nasákavost tepelně izolačních rohoží na bázi konopných vláken. Všechny ošetřené vzorky vykazovaly nižší hodnoty krátkodobých nasákavostí než vzorek neošetřený, REF. (Obr. 38).

Materiály, které jsou odolné vůči kapalné vodě (s nízkou nasákavostí) jsou výhodné pro použití na vnější zateplovací systém (ETICS). Ošetřením hydrofobizačních prostředků jsme se snažili dosáhnout hodnot krátkodobé nasákavosti menších než 1 kg/m^2 , jak tomu je např. u minerální vlny dle normy ČSN EN 13162. U vzorků VSH ($W_p = 1,78 \text{ kg/m}^2$), VS ($W_p = 1,71 \text{ kg/m}^2$), VSHH ($W_p = 1,69 \text{ kg/m}^2$) a u vzorku LUK ($W_p = 1,61 \text{ kg/m}^2$) se hodnoty 1 kg/m^2 dosáhnout nepodařilo, i když tyto hodnoty krátkodobé nasákavosti jsou výrazně nižší než hodnota krátkodobé nasákavosti u vzorku referenčního ($W_p = 2,17 \text{ kg/m}^2$).

U vzorku ošetřeného vodním sklem (vzorek VS) a vodním sklem s HCl (vzorek VSH) byl předpoklad nízké odolnosti proti pronikání vlhkosti, protože vodní sklo samo o sobě hydrofobizační vlastnosti nemá. Ovšem pomocí ošetření vzorků pomocí sol-gel metody modifikovaným vodním sklem a následným ošetřením pomocí HDTMS měl být vytvořen superhydrofobní povrch. Jak můžeme vidět na Obr. 38, tento předpoklad se nepotvrdil. V daném případě došlo pravděpodobně nevhodnou technologií nanášení k tvorbě příliš silné vrstvy gelu kyseliny křemičité na povrchu vláken. Aplikovaná sol-gel metoda bývá používána pro snížení nasákavosti textilních vláken. Pro její aplikaci na přírodní vlákna konopných izolací by bylo nutné tuto metodu dále doladit. Dalším problémem byla skutečnost, že úpravy byly prováděny na finálních rohožích, nikoli na jednotlivých vláknech, čímž došlo k nanesení vyššího množství přípravku, než by tomu bylo v případě aplikace na jednotlivá čistá vlákna.

Hodnoty krátkodobé nasákavosti 1 kg/m^2 se podařilo dosáhnout u vzorku T6 ($W_p = 0,83 \text{ kg/m}^2$), u vzorku DR ($W_p = 0,72 \text{ kg/m}^2$), dále u vzorku H6 ($W_p = 0,57 \text{ kg/m}^2$) a nejnižší hodnota krátkodobé nasákavosti byla zjištěna u vzorku TG ($W_p = 0,36 \text{ kg/m}^2$). Na vzorcích, které vykazovaly nejnižší krátkodobou nasákavost, jsme mohli po zkoušce krátkodobé nasákavosti pozorovat na povrchu vzorků kapičky vody díky vytvořenému nesmáčivému (hydrofobnímu) povrchu (Obr. 39).

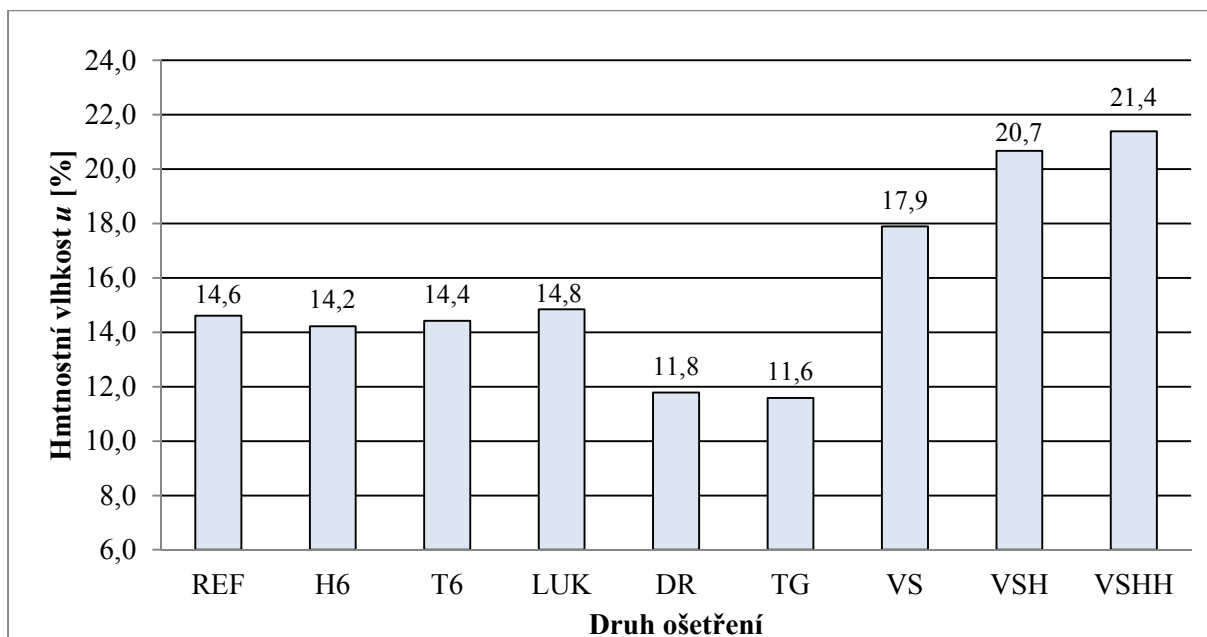


Obr. 38 Vliv jednotlivých ošetření na krátkodobou nasákavost při částečném ponoření



Obr. 39 Kapičky vody na povrchu vzorku ošetřeným prostředkem Tagal po zkoušce krátkodobé nasákavosti

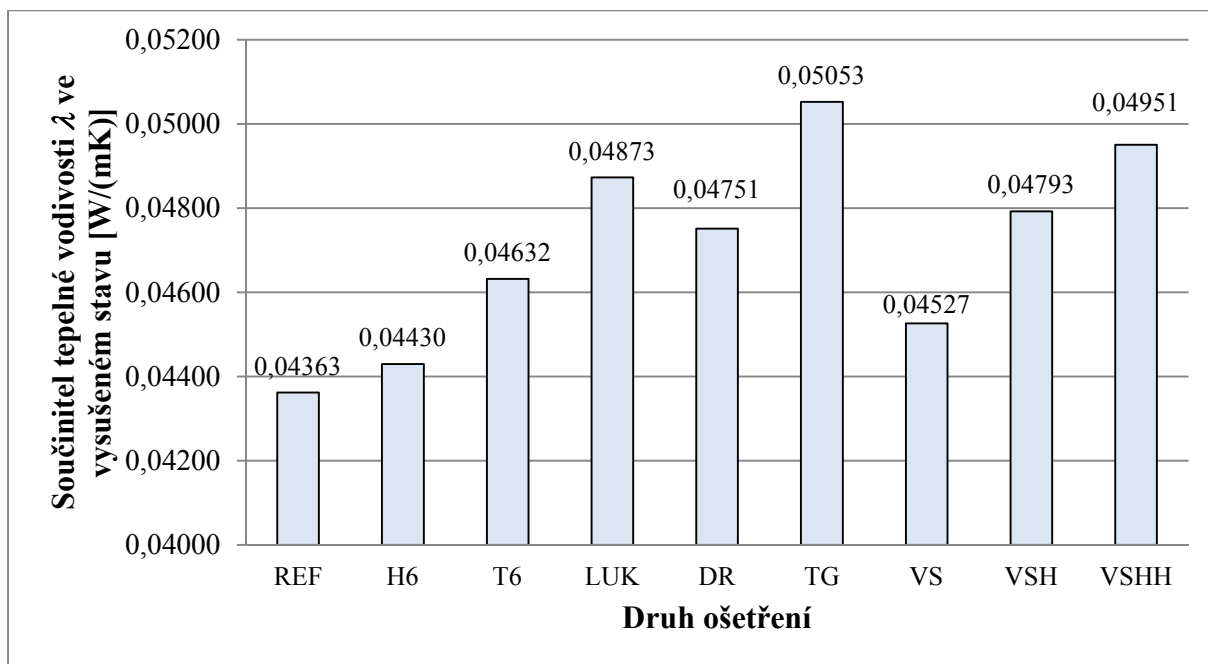
Podle naměřených hodnot rovnovážných sorpčních vlhkostí při teplotě + 23 °C a 80% relativní vlhkosti vzduchu lze konstatovat, že hydrofobizační úpravy výrazně nezlepšily navlhavost tepelně izolačních rohoží na bázi přírodních vláken. K mírnému snížení navlhavosti došlo pouze u vzorků TG (prostředek Tagal) a DR (prostředek Draxil 153). Hmotnostní obsah vlhkosti u těchto vzorků dosahoval k 11,8 % a 11,6 %. Naopak u vzorků VS, VSH a VSHH nastalo dokonce zvýšení rovnovážné vlhkosti oproti vzorku bez ošetření (REF).



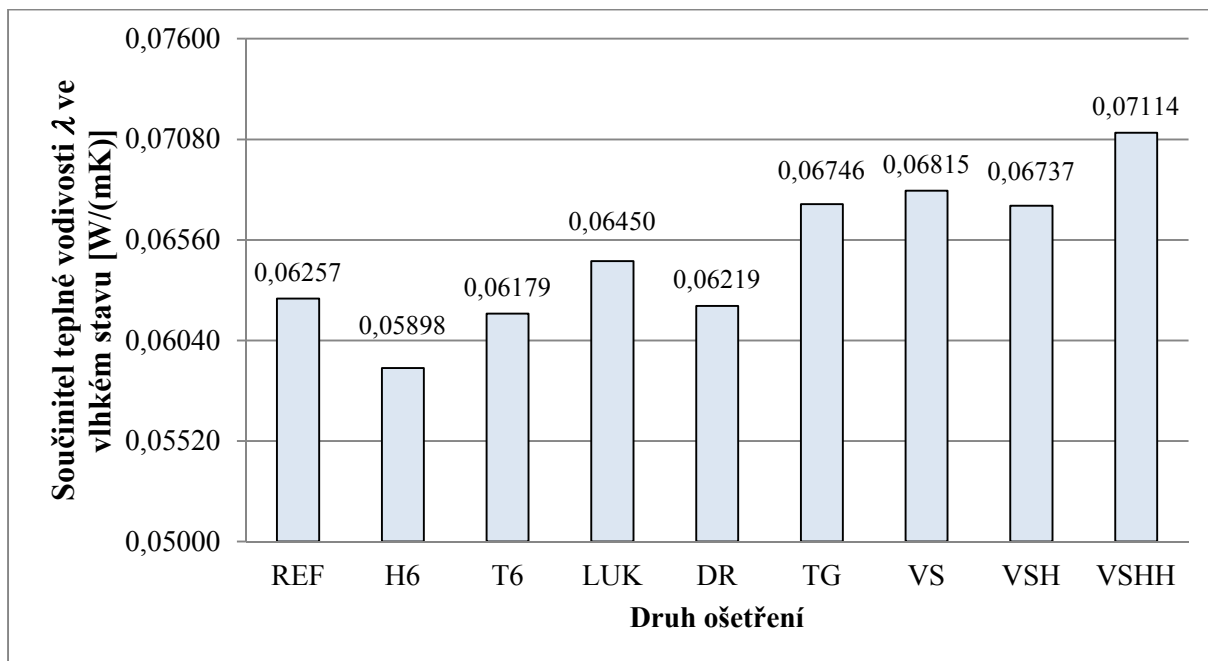
Obr. 40 Vliv jednotlivých ošetření na rovnovážnou sorpční vlhkost při teplotě + 25 °C a 80% relativní vlhkosti vzduchu

Z pohledu tepelně technických vlastností u ošetřených vzorků došlo ve všech případech k výraznému zvýšení součinitele tepelné vodivosti ve vlhkém stavu (při rovnovážné sorpční vlhkosti $u_{23,80}$). Pro přesné srovnání jednotlivých vzorků musíme porovnat hodnoty součinitelů tepelné vodivosti ve vysušeném stavu (Obr. 41) s hodnotami součinitelů tepelné vodivosti ve vlhkém stavu (při rovnovážné sorpční vlhkosti $u_{23,80}$), (Obr. 42). Míru vlivu jednotlivých hydrofobizačních prostředků na hodnotu součinitele tepelné vodivosti zde vyjadřujeme poměrnou změnou [%] součinitele tepelné vodivosti ve vysušeném stavu od součinitele tepelné vodivosti vzorku ve vlhkém stavu. Podle Obr. 43 skoro všechna hydrofobizační ošetření (kromě vodního skla - vzorek VS a VSHH) příznivě ovlivnila hodnoty součinitele tepelné vodivosti ve vlhkém stavu. Nejmenší rozdíly mezi součinitelem tepelné vodivosti ve vlhkém a v suchém stavu vykazoval vzorek DR, vzorek LUK, dále vzorek H6 a vzorek TG.

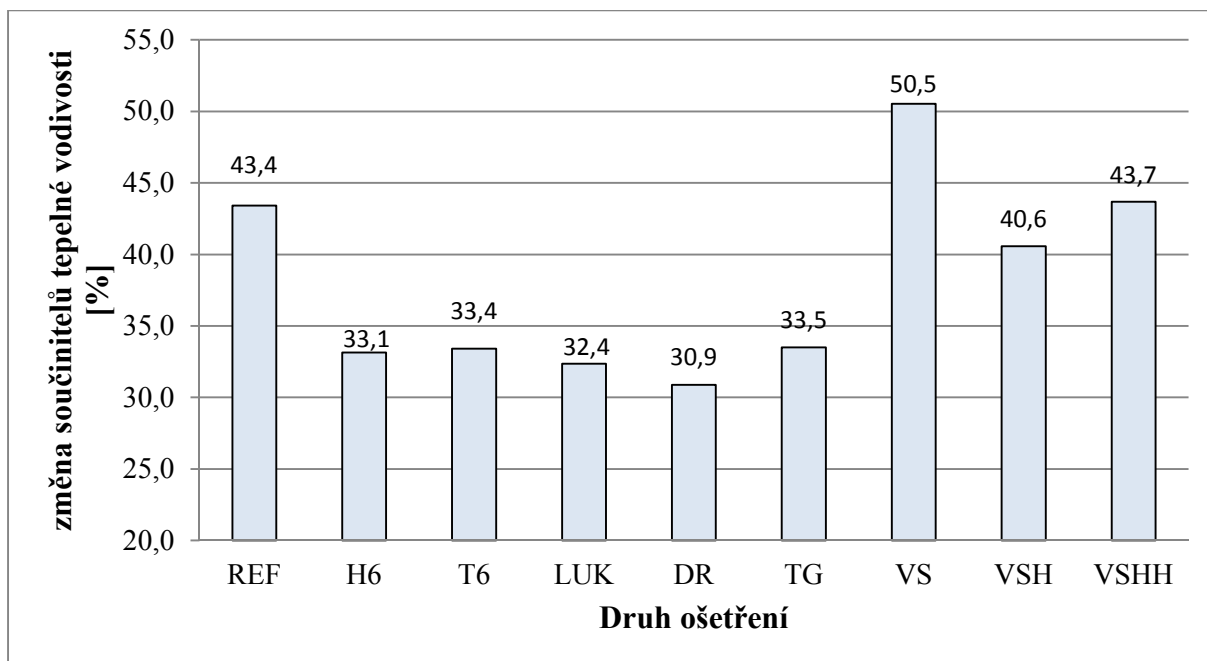
Podle zjištěných skutečností můžeme konstatovat, že vliv hydrofobizačních přípravků se na snížení součinitele tepelné vodivosti neprojevil výrazně. Je to způsobeno především nízkým snížením navlhavosti a dále zvýšením tepelné vodivosti materiálové kostry po aplikaci přísad (hlavně u vzorků VS, VSH, VSHH).



Obr. 41 Přehled naměřených hodnot součinitelů tepelné vodivosti λ u zkušebních vzorků ve vysušeném stavu



Obr. 42 Přehled naměřených hodnot součinitelů tepelné vodivosti λ u zkušebních vzorků ve vlhkém stavu (při rovnovážné sorpční hmotnosti $u_{23,80}$)

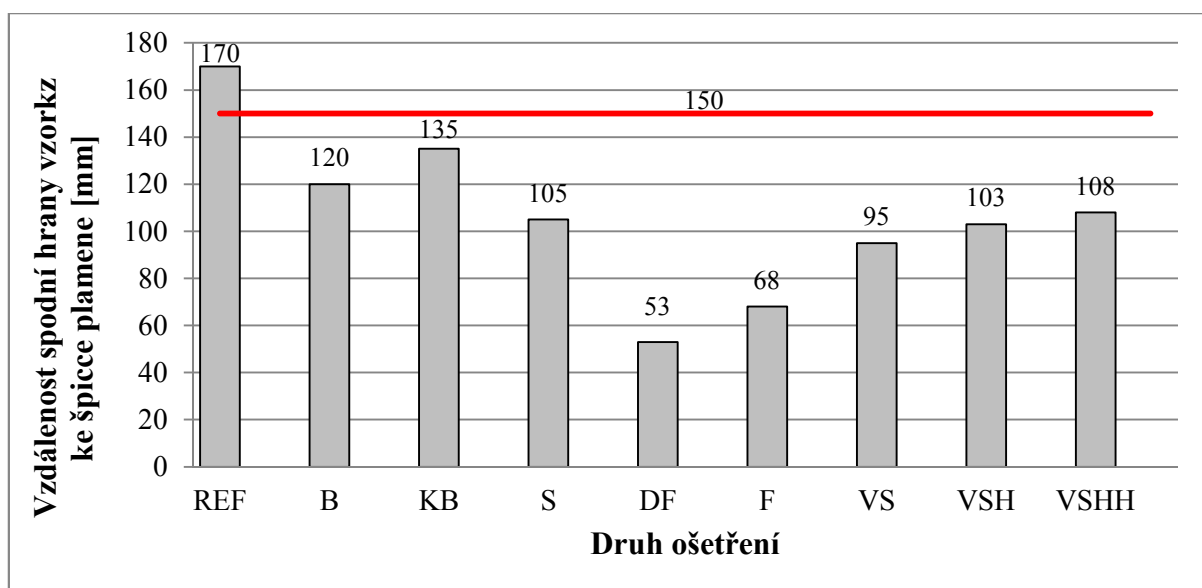


Obr. 43 Změna hodnot součinitelů tepelné vodivosti u zkušebních vzorků

3.6.2 Protipožární úpravy

Vzhledem k výsledkům zkoušky reakce na oheň, můžeme říct, že všechny protipožární prostředky pozitivně ovlivnily reakci na oheň. Všechny ošetřené vzorky jsme zařadili podle ČSN EN 13 501-1+A1 do třídy hořlavosti E. Na rozdíl od vzorku neošetřeného, který byl zařazen do třídy hořlavosti F.

Bylo provedeno srovnání jednotlivých vzorků podle naměřených hodnot vzdáleností spodní hrany vzorku ke špičce plamene po zkoušce malým plamenem. Z Obr. 44 vyplývá, že nejméně účinné se jeví ošetření pomocí kyseliny borité (s hodnotou 135 mm), naopak nejúčinnějším protipožárním ošetřením bylo dosaženo použitím fosforečnanů, kdy účinnějším se stal dihydrogenfosforečnan amonný s naměřenou hodnotou 53 mm. U hydrogenfosforečnanu di-amonného byla tato hodnota rovna 68 mm. Velice účinné ošetření bylo vytvořeno pomocí vodního skla (s hodnotou 95 mm) a sody (s hodnotou 105 mm).



Obr. 44 Vliv jednotlivých ošetření na reakci na oheň

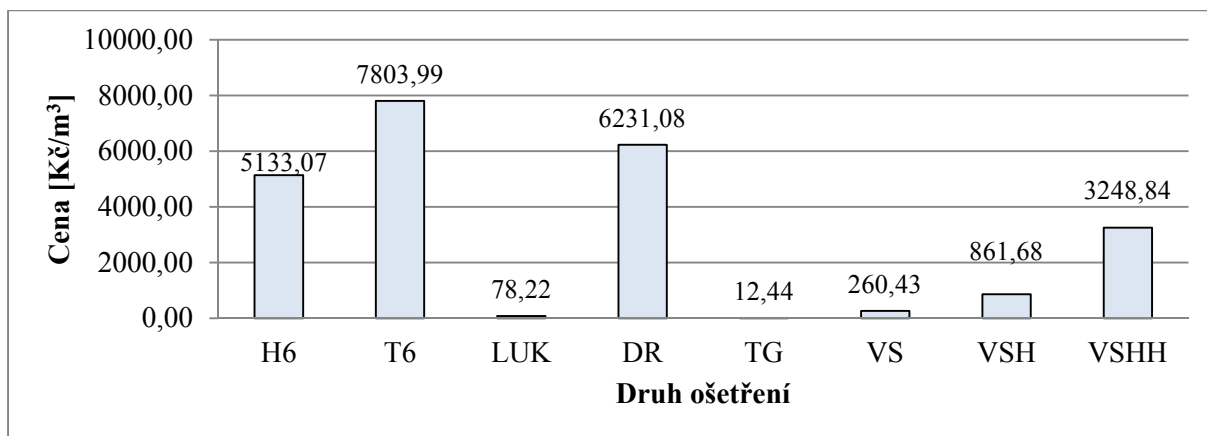
3.6.3 Cenové srovnání jednotlivých prostředků

Bylo provedeno cenové srovnání jednotlivých hydrofobizačních a protipožárních prostředků. V Tab. 19 jsou uvedeny ceny jednotlivých úprav vztažených na 1 m³ tepelné izolace. Tato cena nevyplývá pouze z množství aplikovaného množství úpravy, ale také z koncentrace jednotlivých roztoků. Pro výpočet této ceny byly k dispozici pouze maloobchodní jednotlivých prostředků. Pro velkoobjemovou výrobu můžeme tyto ceny brát pouze orientačně.

Nejlevnější hydrofobizační úprava byla vytvořena pomocí Lukofobu 39. Toto ošetření ale nebylo tolik účinné jako ošetření je pomocí Draxilu 153 a silanů TMEVS a HDTMS. Na druhou stranu prostředky Draxil 153 a silany HDTMS a TMEVS byly ze všech prostředků nejvíce nákladné. Jako nejvýhodnější prostředek ve srovnání cena/ účinnost byl prostředek Tagal, který vykazoval vynikající hydrofobizační účinky a zároveň nízkou cenu. Na Obr. 45 je znázorněno, jak velký byl rozptyl cen jednotlivých hydrofobizačních ošetření.

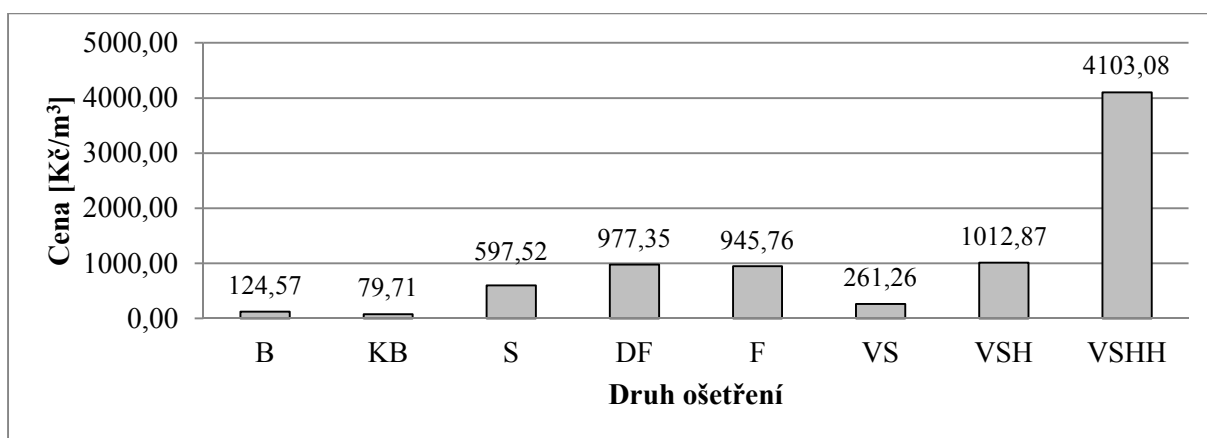
Tab. 19 Ceny hydrofobizačních a protipožárních ošetření

| Označení vzorku | Cena [Kč/m ³] bez DPH | Označení vzorku | Cena [Kč/m ³] bez DPH |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| H6 | 5133,07 | B | 124,57 |
| T6 | 7803,99 | KB | 79,71 |
| LUK | 78,22 | S | 597,52 |
| DR | 6231,08 | DF | 977,35 |
| TG | 12,44 | F | 945,76 |
| VS | 260,43 | VS | 261,26 |
| VSH | 861,68 | VSH | 1012,87 |
| VSHH | 3248,84 | VSHH | 4103,08 |



Obr. 45 Cenový rozptyl jednotlivých hydrofobizačních prostředků

Nejmenší náklady na protipožární úpravu vykazovalo ošetření pomocí kyseliny borité, ovšem toto ošetření bylo vzhledem k reakci na oheň ze všech prostředků nejméně účinné. Naopak nejnákladnější protipožární úprava byla vytvořena pomocí modifikovaného vodního skla s hydrofobizačním ošetřením (silanem HDTMS). Jako nejvýhodnější protipožární prostředek ve srovnání cena/účinnost byla soda, popřípadě vodní sklo. Tyto prostředky vykazovaly vynikající protipožární účinky za relativně nízkou cenu. Rozptyl cen jednotlivých protipožárních ošetření je znázorněn na Obr. 46.



Obr. 46 Cenový rozptyl jednotlivých protipožárních prostředků

ZÁVĚR

Tato práce se zabývala modifikováním konopných tepelně izolačních rohoží pomocí různých prostředků, které mají mít hydrofobizační nebo protipožární účinky. Bylo použito 6 různých hydrofobizačních přípravků a 6 různých protipožárních přípravků, které byly postupně aplikovány na konopné izolační rohože. Jako hydrofobizační prostředky byly zvoleny čisté silany HDTMS a TMEVS, vodní sklo, Lukofob 39, Draxil 153 a Tagal – impregnace na textil. Pro protipožární ochranu byl zvolen borax, kyselina boritá, soda, vodní sklo, dihydrogenfosforečnan amonný a hydrogenfosforečnan diamonný. Hydrofobizační i protipožární prostředky byly na konopné izolační rohože aplikovány nástřikem, popřípadě namáčením. Na těchto vzorcích byla provedena zkouška krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření, hydroskopická rovnovážná sorpční vlhkost a zkouška pro stanovení součinitele tepelné vodivosti na vzorcích ve vysušeném stavu a ve vlhkém stavu. Na vzorcích ošetřenými protipožárními úpravami byla prováděna zkouška reakce na oheň malým plamenem a následně byly tyto vzorky zařazeny do třídy reakce na oheň.

Provedenými zkouškami byl prokázán pozitivní vliv všech hydrofobizačních prostředků na krátkodobou nasákavost. Naopak nebyl prokázán výrazně pozitivní vliv na rovnovážnou sorpční vlhkost a na tepelně izolační vlastnosti, resp. na hodnotu součinitele tepelné vodivosti při zvýšené relativní vlhkosti vzduchu. Nejúčinnější hydrofobizační úprava byla vytvořena pomocí impregnace Tagal, Draxil 153, silanu HDTMS a silanu TMEVS. Vzorky ošetřené těmito prostředky vykazovaly nejnižší nasákavost a zároveň nejnižší navlhavost a hodnoty součinitele tepelné vodivosti ve vlhkém stavu (Tab. 20). Na základě provedeného vyhodnocení se jako nejvýhodnější ve srovnání cena/ účinnost jeví prostředek Tagal.

Tab. 20 Shrnutí výsledků zkoumaných vlastností tepelně izolačních rohoží ošetřených hydrofobizačními prostředky

| Označení vzorku | ρ_a [kg/m ³] vysušený stav | λ [W/(mK)] vysušený stav | ρ_a [kg/m ³] vlhký stav ($\phi=80\%$) | λ [W/(mK)] vlhký stav ($\phi=80\%$) | W_p [kg/m ³] | $u_{23,80}$ [%] |
|-----------------|---|----------------------------------|--|---|----------------------------|-----------------|
| REF | 38 | 0,04363 | 40 | 0,06257 | 2,17 | 14,6 |
| H6 | 39 | 0,04430 | 41 | 0,05898 | 0,57 | 14,2 |
| T6 | 38 | 0,04632 | 40 | 0,06179 | 0,83 | 14,4 |
| LUK | 40 | 0,04873 | 40 | 0,06450 | 1,61 | 14,8 |
| DR | 29 | 0,04751 | 32 | 0,06219 | 0,72 | 11,8 |
| TG | 29 | 0,05053 | 31 | 0,06746 | 0,36 | 11,6 |
| VS | 38 | 0,04527 | 38 | 0,06815 | 1,71 | 17,9 |
| VSH | 31 | 0,04793 | 37 | 0,06737 | 1,78 | 20,7 |
| VSHH | 31 | 0,04951 | 37 | 0,07114 | 1,69 | 21,4 |

Byl prokázán pozitivní vliv protipožárních prostředků na odolnost proti působení malého plamene u tepelně izolačních rohoží na bázi konopných vláken. Všechny ošetřené vzorky byly zařazeny do třídy reakce na oheň E (Tab. 21). Nejúčinnější protipožární prostředek byl dihydrogenfosforečnan amonný. Vzhledem k ekologickým dopadům se šetrnější k životnímu prostředí jeví použití sody a vodního skla, které vykazovaly jen nepatrně horší protipožární vlastnosti než fosforečnan. V případě použití vodního skla je nutná jeho modifikace (např. pomocí HCl) pro zvýšení trvanlivosti. Ošetření pomocí sody nebo vodního skla jsou navíc ekonomicky výhodnější než ošetření pomocí fosforečnanu.

Tab. 21 Shrnutí výsledků zkoumaných vlastností tepelně izolačních rohoží ošetřených protipožárními prostředky

| Označení vzorku | Třída reakce na oheň |
|-----------------|----------------------|
| REF | F |
| B | E |
| KB | E |
| S | E |
| VS | E |
| VSH | E |
| VSHH | E |
| F | E |
| DF | E |

Součástí práce bylo srovnávání vlastností tepelně izolačních desek dostupných na trhu ČR s modifikovanými tepelně izolačními deskami na bázi přírodních vláken (v tomto případě technického konopí). V Tab. 5 – Tab. 7 jsou uvedeny jednotlivé tepelně izolační desky a jejich charakteristické vlastnosti. Z výsledků prováděných zkoušek lze konstatovat, že upravené tepelně izolační rohože na bázi vláken z technického konopí mají srovnatelné hodnoty součinitelů tepelné vodivosti s tepelně izolačními deskami z polystyrenu, minerální vlny, pórobetonu nebo pěnového skla (recyklovaného). Modifikované tepelně izolační desky z technického konopí nevykazují takovou odolnost vůči vodě jako tepelně izolační desky z polystyrenu, ale svými hodnotami krátkodobé nasákavosti dosahují stejné odolnosti vůči vodě jako tepelně izolační desky z minerální vlny. Vzhledem ke svým protipožárním vlastnostem nemohou modifikované tepelně izolační desky z technického konopí konkurovat deskám z minerální vlny, pěnového skla, skelné minerální plsti nebo pórobetonu, které se zařazují do třídy reakce na oheň A1. Modifikované tepelně izolační desky z technického konopí se mohou, zařazením do třídy reakce na oheň E, stát konkurenčním materiálem skoro ke všem pěnoplastickým tepelně izolačním deskám (např. k deskám z polystyrenu nebo polyuretanu).

Použité zdroje

- [1] ČSN EN ISO 9229. Tepelné izolace – Terminologie. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008
- [2] ŠŤASTNÍK S., ZACH J., *Zkoušení izolačních materiálů*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o, 2002, 95 s., ISBN 80-214-2253-X
- [3] CRISTALDI G., LATTERI A., RECCA G., CICALA G. - Composites Based on Natural Fibre Fabrics. *Woven fabric engineering* [online], charper.17. Sciyo, 18. 11. 2010, Pages 414. ISBN 978-953-307-194-7. Cit. [20. 5. 2012]. Dostupné z: <<http://cdn.intechweb.org/pdfs/12253.pdf>>
- [4] *Rostlinná vlákna*. [online], 5. 10. 2006. Cit. [14. 8. 2012]. Dostupné z: <http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20061005/6-rostlinna_vlakna.pdf>
- [5] *Materiálová skladba a charakteristika vláken – teoretická část*. [online], cit. [15. 9. 2012]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_materialova_skladba_text_vlaken/teorie.htm>
- [6] HALAHYJA M., FEHÉR J., HYKŠ P., *Stavebná tepelná technika, osvetlenie a akustika*. Bratislava: Nakladatelství Alfa, 1970, 429 s.
- [7] ŠKRNLANTOVÁ M., *Koroze a degradace přírodních textilních vláken*. Cit.[14. 10. 2012]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/3_6.pdf>
- [8] HROUDOVÁ J., KOUT P., ZACH J., Komplexní hodnocení vlastností přírodních izolačních materiálů z technického konopí určeného do podlah. *Tzbinfo*[online]. 28. 3. 2011. Cit [20. 12. 2012]. Dostupné z: <<http://stavba.tzb-info.cz/izolace-strechy-fasady/7290-komplexni-hodnoceni-vlastnosti-prirodnich-izolacnich-materialu-z-technickeho-konopi-urcenyh-do-podlah>>
- [9] *Konopí seté* [online]. Cit. [13. 8. 2012]. Dostupné z: <<http://www.konopi.org/konopi-sete>>
- [10] Co je technické konopí. *Konopa – občanské sdružení* [online]. Cit. [14. 8. 2012], Dostupné z: <<http://www.konopa.cz/cs/o-nas/co-je-technicke-konopi.html>>
- [11] *Leccos – konopí seté*. [online]. Cit [14. 8. 2012] Dostupné z: <<http://leccos.com/index.php/clanky/konopi-sete>>
- [12] GABRIELOVÁ H., *Konopí – biomasa pro život* [online]. Konopa o. s., 28. 1. 2008. Cit. [14. 8. 2012] Dostupné z: <<http://www.zelenapumpa.cz/soubory/o0000000577.pdf>>
- [13] Konopné vlákno [online]. *Albiz*. Cit [16. 8. 2012]. Dostupné z: <<http://www.ua.all.biz/cs/konopne-vlakno-g1553400>>

- [14] Len setý. *Wikipedie – otevřená encyklopedie*. [online]. Cit. [16. 8. 2012]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Len_set%C3%BD>
- [15] *Leccos – Len*. [online]. Cit. [18. 8. 2012]. Dostupné z: <<http://leccos.com/index.php/clanky/len>>
- [16] Lněné vlákno [online]. *Ventus*. Cit. [18. 8. 2012]. Dostupné z: <<http://www.ventus-aliance.cz/ostatni-produkty/lnene-vlakno>>
- [17] Kenaf [online]. *Wikipedia – the free Encyklopedia*. Cit. [18. 8. 2012]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Kenaf>
- [18] YOUNGQIST J. A., ENGLISH B.E., SHAMER R.C., PCHOW P., SHOOK S.R., *Literature Review on use of nonwood plant fibers for building materials and Panels* [online]. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-80. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 1994, 146 p. Cit. [8. 10. 2012]. Dostupné z: <<http://128.104.77.228/documnts/fplgtr/fplgtr80.pdf>>
- [19] Juta. *Wikipedie otevřená encyklopedie*. Cit [20. 9. 2012]. Dostupné z: < <http://cs.wikipedia.org/wiki/Juta> >
- [20] Jaká je tepelná izolace ze dřeva a celulózy? *Našeinfo* [online]. Cit. [20. 8. 2012]. Dostupné z: <<http://www.naseinfo.cz/stavby-a-stavebnictvi/horni-stavba/tepelne-izolace/jake-druhy-prirodnich-izolacnich-materialu-pouzit-na-zatepleni-a-izolaci-domu>>
- [21] HOZMAN O., EYER D., Sláma, rákos, konopí. *Dům a byt* [online]. 15. 9. 2006. Cit. [20. 8. 2012]. Dostupné z: <http://www.dumabyt.cz/rubriky/dum/materialy-a-technologie/slama-rakos-konopi_18097.html>
- [22] LERTSUTTHIWONG P., KHUNTHON S., SIRALERTMUKUL K., NOOMUN K., CHANDRKRACHANG S., New insulating particleboards prepared from mixture of solid wastes from tissue paper manufacturing and corn peel. *Bioresource Technology* [online]. Vol. 99, Issue 11, July 2008, 4841 – 4845 Pages, ISSN 0960-8524. Cit. [22. 8. 2012]. Dostupné z: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852407007961>>
- [23] RUMAN M., O tírách, aneb dolování vláken z konopí. *Legalizace* [online]. 7. 3. 2011, rubrika ekologie. Cit. [26. 8. 2012]. Dostupné z: <<http://www.magazin-legalizace.cz/cs/articles/detail/65-o-tirnach-aneb-dolovani-vlaken-z-konopi> >
- [24] Vlákná ze stonků: len, konopí, juta, ramie. *E-eltex* [online]. Cit. [3. 10. 2012]. Dostupný z: <http://www.skolertextilu.cz/vlakna/index.php?page=5>
- [25] JIRSÁK O., KALINOVÁ K., *Netkané textilie* [online]. Liberec: Technická univerzita, 2003, ISBN 80–7083-746-2. Cit. [3. 10. 2012]. Dostupné z: <http://www.ft.vslib.cz/depart/knt/web/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=93&Itemid=53>
- [26] Technologie Canabest. *Canabest* [online]. Cit. [5. 9. 2012]. Dostupné z:

- <<http://www.canabest.cz/cs/o-spolecnosti/technologie-canabest.html>>
- [27] Larosche paper for the International Natural fibres. Congress – 06, 2009. *Larosche* [online]. Cit. [9. 9. 2012]. Dostupné z:
<[http://www.laroche.fr/upload/090818%20paper%20of%20Laroche%20lecture%20for%20International%20Natural%20fibres%20Congres\(3\).pdf](http://www.laroche.fr/upload/090818%20paper%20of%20Laroche%20lecture%20for%20International%20Natural%20fibres%20Congres(3).pdf)>
- [28] *Likor*. [online]. Cit. [16. 11. 2012]. Dostupné z:
< <http://www.likor.cz/>>
- [29] *JUTA* [online]. Cit. [16. 11. 2012]. Dostupné z:
< <http://www.juta-turnov.cz/>>
- [30] *Canabest* [online]. Cit. [16. 11. 2012]. Dostupný z:
< <http://www.canabest.cz/images/stories/canabest/servis/technickylistPLUS.pdf>>
- [31] *Valtex s.r.o.* [online]. Cit. [16. 11. 2012]. Dostupný z:
< <http://www.valtexcz.cz/produkty/a500-naturwool> >
- [32] *Insowol*. [online]. Cit. [16. 11. 2012] Dostupný z:
<<http://www.insowool.cz/files/pl-hofatex-system.pdf>>
- [33] Technický list Isover TF profi. *Isover* [online]. Cit. [17. 11. 2012]. Dostupný z:
< <http://www.isover.cz/data/files/tf-profi-534-cz.pdf>>
- [34] Technický list Isover Multimax 30. *Isover* [online]. Cit. [17. 11. 2012]. Dostupný z:
< <http://www.isover.cz/data/files/technicky-list-isover-multimax-30-cz-434-cz.pdf>>
- [35] Technický list. *Rockwool* [online]. Cit. [18. 11. 2012]. Dostupný z:
< <http://pruvodce.rockwool.cz/media/389368/frontrock-max-e.pdf>>
- [36] Technický list. *Foamglas* [online]. Cit. [18. 11. 2012]. Dostupné z:
< http://www.foamglas.cz/katalogy/pds_slabs_t4+_cz_2011.pdf>
- [37] Zateplení suterénů a šikmých střech. *Xella* [online]. Cit. [18. 11. 2012]. Dostupný z:
<http://www.ytong.cz/cs/docs/ytong_multipor-zatepleni-suterenu-a-sikmych-ploch.pdf>
- [38] Technický list Isover EPS 100 F. *Isover* [online]. Cit. [17. 11. 2012]. Dostupný z:
< <http://www.isover.cz/data/files/eps-100f-384-cz.pdf> >
- [39] Technický list Isover EPS Greywall plus. *Isover* [online]. Cit. [17. 11. 2012]. Dostupný z:
z:<<http://www.isover.cz/data/files/eps-greywall-plus-608-cz.pdf>>
- [40] Technický list Isover Synthos XPS 30. *Isover* [online]. Cit. [17. 11. 2012]. Dostupný z:
< <http://www.isover.cz/data/files/tds-synthos-xps-30-nil-cz-449.pdf>>
- [41] Technický list. *Baumit* [online]. Cit. [18. 11. 2012]. Dostupný z:
< http://www.baumit.cz/upload/pimdampdb/PDBL_XS_022.pdf>
- [42] Technický list. *Puren*. [online]. Cit. [18. 11. 2012]. Dostupný z:
< http://www.jitrans-trade.cz/tech-listy/fasada/puren_jadrova_izolace-cz.pdf>

- [43] Silan. *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. Cit. [20. 5. 2012]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Silany>>
- [44] KUSHWAHA P. K., KUMAR R., Studies on Water Absorption of Bamboo – Polyester Composites: Effect of Silane Treatment of Mercerized Bamboo. *Polymer – Plastic Technology and Engineering* [online]. Vol 49, Issue 1, 22 December 2009, Pages 45 – 52, ISSN 0360-2559. Cit. [13. 5. 2012]. Dostupný z: <<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03602550903283026>>
- [45] ERASMUS E., BARKHUYSEN F. A., Superhydrophobic cotton by fluorsilane modification. *Indian Journal of Fibre & Textile Research* [online]. Vol. 34, December 2009, Pages 377 – 379. ISSN 0975-1025. Cit. [13. 5. 2012]. Dostupný z: <[http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/6884/1/IJFTR%2034\(4\)%20377-379.pdf](http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/6884/1/IJFTR%2034(4)%20377-379.pdf)>
- [46] Sol gel. *Wikipedie- otevřená encyklopedie* [online]. Cit. [12. 8. 2012]. Dostupný z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Sol_gel>
- [47] Zhenqixiong Li, Yanjun Xing, Jinjin Dai, Superhydrophobic surfaces prepared from water glass and non-fluorinated alkylsilane on cotton substrates. *Applied Surface Science* [online]. Vol. 254, Issue 7, 30. January 2008, Pages 2131-2135, ISSN 00169-4332. Cit. [14. 5. 2012]. Dostupný z: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433207012627>>
- [48] Song-Min Shang, Zhengxiong Li, Yanjun Xing, John H. Xin, Xiao-Ming Tao, Preparation of durable hydrophobic cellulose fabric from water glass and mixed organosilanes. *Applied Surface Science* [online]. Vol. 257, Issue 5, 15. December 2010, Pages 1495-1499, ISSN 0169-4332. Cit. [14. 5. 2012]. Dostupný z: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433210011591>>
- [49] Jinyun Liu, Wenqi Huang, Yanjun Xing, Rong Li, Jinjin Dai, Preparation of durable superhydrophobic surface by sol-gel method with water glass and citric acid. *Journal of Sol-gel Science and Technology* [online]. Vol. 58, Issue 1, April 2011, Pages 18-23. ISSN 1573-4846. Cit. [14. 5. 2012]. Dostupný z: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10971-010-2349-8?LI=true>>
- [50] Flame retardant finishes for cellulose. *Fibre2fashion* [online]. Cit. [20. 5. 2012] Dostupný z: <<http://www.fibre2fashion.com/industry-article/9/843/flame-retardant-finishes-for-cellulose1.asp>>
- [51] MERCIMEK H., *Effect of chemicals and Binders on the Durability of Flame Retardant Treated Cotton Nonwovens: Master's Thesis* [online]. University of Tennessee, 2010. Cit. [20. 5. 2012]. Dostupný z: <http://trace.tennessee.edu/utk_gradthes/647>
- [52] JANOŠOVÁ M., *Aditiva užívaná pro snížení hořlavosti styrenových kopolymerů: bakalářská práce* [online]. Zlín, 2009. 69 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická. Vedoucí bakalářské práce Ing. Alena Kalendová, Ph.D. Cit. [21. 5. 2012]. Dostupný z:

- <http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/10034/jano%C5%A1ov%C3%A1_2009_bp.pdf?sequence=1>
- [53] PARK, Bong – Kuk, KIM Se - Ho, *Fireproofing treatment method using water glass* [online]. 29. 7. 2004. Cit. [24. 5. 2012]. Dostupný z: Vodní sklo jako retardér hoření <<http://www.sumobrain.com/patents/wipo/Fireproofing-treatment-method-using-water/WO2004062815A1.pdf>>
- [54] SLIMAK K. M., Process of using sodium silicate to create fire retardant products [online], United States: October 2001. Cit. [24. 5. 2012]. [nová složka-vodní sklo jako impregnace] Dostupný z: <<http://www.freepatentsonline.com/6303234.pdf>>
- [55] Vyhláška č. 268/2009, o technických požadavcích na stavby, in: *Sbírka zákonů ČR* [online], 2009, částka 81, 3702 – 3722 s., ISSN 1211 – 1244. Cit. [25. 12. 2012]. Dostupný z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=81&typeLaw=zakon&what=Cislo_castky>
- [56] Nařízení vlády č.163/2002, kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky, *Sbírka zákonů ČR* [online], 2002, částka 67, s. 3414 – 3429. Cit. [25. 12. 2012]. Dostupný z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=163/2002&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy>
- [57] ČSN EN 730540 - 1. *Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie*. Praha: ČNI, 68 s., 2005.
- [58] ČSN EN 730540 - 2. *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha: Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 56 s., 2011.
- [59] ČSN EN 730540 - 3. *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: ČNI, 96 s., 2005.
- [60] ČSN EN 730540 - 4. *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*. Praha: ČNI, 60 s., 2005.
- [61] ČSN EN 13 501–1+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, 48 s., 2010.
- [62] ČSN EN 822. *Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení délky a šířky*. Praha: ČNI, 8 s., 1996.
- [63] ČSN EN 823. *Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení tloušťky*. Praha: ČNI, 16 s., 1996.
- [64] ČSN EN 1602. *Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení objemové hmotnosti*. Praha: ČNI, 12 s., 1998.

- [65] ČSN EN 1609. *Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření*. Praha: ČNI, 12 s., 1998.
- [66] ČSN EN ISO 12571. *Tepelně vlhkostní vlastnosti stavebních materiálů a výrobků – Stanovení hydroskopických sorpčních vlastností*. Praha: ČNI, 16 s., 2001.
- [67] ČSN 72 7012 – 3. *Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 3: Metoda měřidla tepelného toku*. Praha: ČMI, 8 s., 1994.
- [68] ČSN 72 7012 – 3. *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, 32 s., 2011.
- [69] Bezpečnostní list - Hexadecyltrimethoxysilan. *Sigma-Aldrich* [online]. Cit. [24. 11. 2012]. Dostupný z:
<<http://www.sigmaaldrich.com/MSDS/MSDS/DisplayMSDSPage.do?country=CZ&language=cs&productNumber=52360&brand=ALDRICH&PageToGoToURL=http%3A%2F%2Fwww.sigmaaldrich.com%2Fcatalog%2Fproduct%2Faldrich%2F52360%3Flang%3Den>>
- [70] Bezpečnostní list – Tris(2-methoxyethoxy)(vinyl)silan. *Sigma-Aldrich* [online]. Cit. [24. 11. 2012]. Dostupný z:
<<http://www.sigmaaldrich.com/MSDS/MSDS/PleaseWaitMSDSPage.do?language=&country=CZ&brand=ALDRICH&productNumber=175587&PageToGoToURL=http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/175587?lang=en®ion=CZ>>
- [71] Draxil 153. *Nanofuture* [online]. Cit. [24. 11. 2012]. Dostupný z:
<<http://www.nanofuture-produkty.cz/nano/draxil-153-12/>>
- [72] *Druchema* [online]. Cit. [24. 11. 2012]. Dostupný z:
<<http://www.druchema.cz/cz/ke-stazeni/?group=Bezpe%C4%8Dnostn%C3%AD+listy>>
- [73] Borax. *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. Cit. [8. 10. 2012]. Dostupný z:
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Borax>>
- [74] Kyselina boritá. *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. Cit. [8. 10. 2012]. Dostupný z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kyselina_borit%C3%A1>
- [75] Soda. *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. Cit. [8. 10. 2012]. Dostupný z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soda>>
- [76] Bezpečnostní list - hydrogefosforečnan amonný. *Merci* [online]. Cit. [8. 10. 2012]. Dostupný z:
<<http://eshop.merci.cz/www/prilohy/253121280008.pdf>>
- [77] Bezpečnostní list - dihydrogenfosforečnan amonný. *Merci* [online]. Cit. [8. 10. 2012]. Dostupný z:
< <http://eshop.merci.cz/www/prilohy/253121279902s.pdf>>

Seznam použitých zkratk a symbolů

| | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|---|
| α | [-] | Činitel zvukové pohltivosti |
| λ | [W/m·K] | Součinitel tepelné vodivosti |
| μ | [-] | Faktor difúzního odporu |
| ψ | [m ³ /m ³] | Objemová vlhkost |
| ρ_a | [kg/m ³] | Objemová hmotnost zkušební vzorku |
| ρ_0 | [kg/m ³] | Objemová hmotnost suchého zkušební vzorku |
| ρ_w | [kg/m ³] | Objemová hmotnost vody |
| θ | [°] | Kontaktní úhel |
| Al (OH) ₃ | | Hydroxid hlinitý |
| Al ₂ O ₃ | | Oxid hlinitý |
| ATH | | Hydroxid hlinitý |
| b | [mm] | Šířka zkušební vzorku |
| B | | Označení zkušební vzorku ošetřeného boraxem |
| Br | | Brom |
| c | [J/kg·K] | Měrná tepelná kapacita |
| Cl | | Chlór |
| CO ₂ | | Oxid uhličitý |
| d | [mm] | Tloušťka zkušební vzorku |
| DF | | Označení zkušební vzorku ošetřeného fosforečnanem amonným primárním |
| DR | | Označení zkušební vzorku ošetřeného Draxilem 153 |
| F | | Označení zkušební vzorku ošetřeného fosforečnanem amonným sekundárním |
| HBr | | Kyselina bromovodíková |
| HCl | | Kyselina chlorovodíková |
| HDTMS | | Hexadecyltrimethoxysilan |
| H ₂ O | | Voda |
| H ₂ CO ₃ | | Kyselina uhličitá |
| H ₂ SiO ₃ | | Kyselina křemičitá |
| H ₃ BO ₃ | | Kyselina boritá |
| H6 | | Označení zkušební vzorku ošetřeného HDTMS |
| KB | | Označení zkušební vzorku ošetřeného kyselinou boritou |

| | | |
|--|----------------------|--|
| l | [mm] | Délka zkušební vzorku |
| LUK | | Označení zkušební vzorku ošetřeného Lukofobem 39 |
| m | [kg] | Hmotnost zkušební vzorku |
| MDH | | Hydroxid hořečnatý |
| m ₂₄ | [kg] | Hmotnost vzorku po 24 hod. částečného ponoření ve vodě |
| m ₀ | [kg] | Počáteční hmotnost vzorku |
| NaOH | | Hydroxid sodný |
| NaH ₂ PO ₂ | | Fosforan sodný |
| Na ₂ B ₄ O ₇ | | Borax |
| Na ₂ [B ₄ O ₅ (OH) ₄]·8H ₂ O | | Tetraboritan sodný, dekahydrát |
| Na ₂ CO ₃ | | Bezvodý uhličitan sodný - soda |
| Na ₂ O.SiO ₂ | | Sodné vodní sklo |
| (NH ₄) H ₂ PO ₄ | | Fosforečnan amonný primární |
| (NH ₄) ₂ HPO ₄ | | Fosforečnan amonný sekundární |
| PIR | | Polyuretan tvrdý |
| PUR | | Polyuretan |
| REF | | Označení referenčního zkušební vzorku – bez ošetření |
| S | | Označení zkušební vzorku ošetřeného sodou |
| s' | [MPa/m] | Dynamická tuhost |
| TG | | Označení zkušební vzorku ošetřeného Tagalem |
| TMEVS | | Tris (2methoxyethoxy)(vinyl)silan |
| T6 | | Označení zkušební vzorku ošetřeného TMEVS |
| u | [kg/kg] | Hmotnostní koncentrace vlhkosti |
| u | [%] | Hmotnostní koncentrace vlhkosti |
| V | [m ³] | Objem zkušební vzorku |
| VS | | Označení zkušební vzorku ošetřeného vodním sklem |
| VSH | | Zkušební vzorek ošetřený modifikovaným vodním sklem |
| VSHH | | Označení zkušební vzorku ošetřeného modifikovaným vodním sklem a HDTMS |
| w | [kg/m ³] | Hmotnostní vlhkost |
| W _p | [kg/m ²] | Krátkodobá nasákavost při částečném ponoření |

Seznam příloh

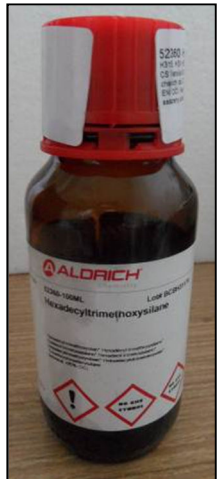
[1] Charakteristické vlastnosti hydrofobizačních přípravků

[2] Charakteristické vlastnosti protipožárních přípravků

Příloha 1: Charakteristické vlastnosti hydrofobizačních přípravků

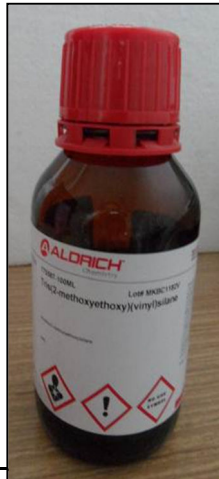
Tab. 1 Charakteristické vlastnosti Hexadecyltrimethoxysilanu (HDTMS)[69]

| Charakteristiky: | |
|--|---------------------------|
| Synonyma | Trimethoxyhexadecylsilane |
| Vzorec | $C_{19}H_{42}O_3Si$ |
| Koncentrace | 85% |
| Molekulová hmotnost | 346,92 g/mol |
| Počáteční bod varu a rozmezí dobu varu | 180 °C při 100hPa |
| Bod vzplanutí | 165 °C – uzavřený kelímek |
| Dráždivost pro kůži | Kategorie 2 |
| Poranění očí | Kategorie 2 |
| Toxicita pro specifické cílové orgány – jednorázová expozice | Kategorie 3 |
| Neslučitelné materiály | Silná oxidační činidla |
| Cena bez DPH | 895 Kč/ 100 ml |




Tab. 2 Charakteristické vlastnosti Tris (2-methoxy)(vinyl)silanu (TMEVS)[70]

| Charakteristiky: | |
|--|---|
| Synonyma | Vinyltris(2-methoxyethoxy)silane |
| Vzorec | $C_{11}H_{24}O_6Si$ |
| Koncentrace | 98 % |
| Molekulová hmotnost | 280,39 g/mol |
| Hustota | 1,034 g/cm ³ při 25°C |
| Počáteční bod varu a rozmezí dobu varu | 136,2°C při 7,3 hPa-lit. |
| Bod vzplanutí | 113°C – uzavřený kelímek |
| Akutní toxicita, kožní | Kategorie 4 |
| Podráždění očí | Kategorie 2 |
| Toxicita pro specifické cílové orgány – jednorázová expozice | Kategorie 3 |
| Neslučitelné materiály | Silné oxidační prostředky, voda, peroxidy |
| Cena bez DPH | 1 456 Kč/ 100 ml |




Tab. 3 Charakteristické vlastnosti přípravku Draxil 153[71]

| Charakteristiky | |
|----------------------|---|
| Složení | Směs organických rozpouštědel se speciálními přísadami |
| Skupenství | Kapalné |
| Vazkost | Cca 1,5 mPas |
| Barva | Průhledný, téměř bezbarvý |
| Skladování | Při pokojové teplotě, v originálním, uzavřeném balení, nejméně 6 měsíců |
| Míchání | Není nutné |
| Spotřeba | Cca 100 – 200 ml/m ² |
| Aplikace | Namáčením nebo postřikem |
| Teplota při aplikaci | + 5 až 25 °C |
| Cena bez DPH | 399 Kč/500 ml |



Tab. 4 Charakteristické vlastnosti přípravku Lukofob 39 [72]

| Charakteristiky | |
|---------------------------------|--|
| Složení | Metylsilikonát draselný |
| Skupenství | Kapalné |
| Hodnota pH | Cca 13 |
| Bod tuhnutí | -10 °C |
| Bod varu | Cca 100 °C |
| Tenze par (při 20 °C) | Cca 23 hPa při 20 °C |
| Rozpustnost ve vodě (při 20 °C) | Neomezené mísitelný |
| Hustota (při 20 °C) | 1200 – 1300 kg/m ³ |
| Neslučitelné materiály | Kovy, kyseliny |
| Nebezpečné produkty rozkladu | Při spalování – CO, CO ₂ , různé uhlovodíky, aldehydy |
| Cena bez DPH | 92 Kč/ 500 ml |



Tab. 5 Charakteristické vlastnosti impregnace na textil Tagal [72]


| Charakteristiky | |
|---------------------------------|--|
| Složení | Izopropylalkohol, Benzinová frakce, Izopropylalkohol |
| Skupenství | Kapalná |
| Barva | Bez barvy |
| Zápach | Charakteristický pro ropné produkty |
| pH | 6 – 7 |
| Bod varu | 99 °C |
| Bod vzplanutí | - 4 °C |
| Rozpustnost ve vodě (při 20 °C) | Nerzpustný |
| Tenze par (při 20 °C) | 0,56 MPa |
| Hustota (při 20 °C) | 0,73 g/cm ³ |
| Neslučitelné materiály | Oxidační činidla a silné kyseliny |
| Nebezpečné produkty rozkladu | Při spalování – CO, CO ₂ , různé uhlovodíky, aldehydy |
| Cena bez DPH | 96 Kč/300 ml |



Příloha 2: Charakteristické vlastnosti protipožárních přípravků


Tab. 1 Charakteristické vlastnosti Tetraboritanu sodného, dekahydrátu (Borax)[73]

| Charakteristiky | |
|-------------------------------|--|
| Vzorec | $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ |
| Triviální název | Borax |
| Rozpustnost | Ve vodě |
| Rozpustnost e vodě při 0 °C | 1,26 g / 100 ml |
| Rozpustnost e vodě při 20 °C | 2,5 g / 100 ml |
| Vzhled | Bílý prášek |
| Hustota | 2,27 g/cm ³ (20°C) |
| Molární hmotnost | 381,372 g/mol |
| Teplota tání | 75 °C |
| Teplota varu | 1575 °C |
| Tvrdość | 2 – 2,5 |
| Krystalová struktura | Jednoklonná |
| Standartní slučovací entalpie | - 6 288,6 kJ/mol |
| Bezpečnost | Zdraví škodlivý |
| Cena | 269 Kč/1000 g |




Tab. 2 Charakteristické vlastnosti kyseliny borité [74]

| Charakteristiky | |
|-------------------------------|--|
| Vzorec | H_3BO_3 |
| Rozpustnost | Ve vodě |
| Rozpustnost e vodě při 0 °C | 2,69 g / 100 ml |
| Rozpustnost e vodě při 20 °C | 5,02 g / 100 ml |
| Vzhled | Bílý prášek |
| Hustota | 1,435 g/cm ³ (15°C) |
| Molární hmotnost | 61,832 g/mol |
| Teplota tání | 169 °C (rozklad-vznik HBO ₂) |
| Krystalová struktura | Trojklonná |
| Standartní slučovací entalpie | -1094,8 kJ/mol |
| Bezpečnost | Toxická pro reprodukci |
| Cena | 168 Kč/1000 g |



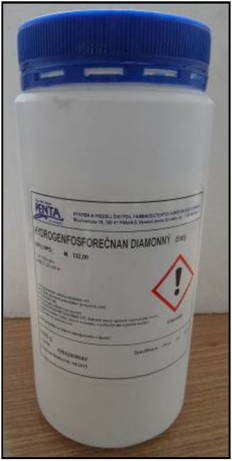
Tab. 3 Charakteristické vlastnosti uhličitanu sodného, bezvodého (soda)[75]

| Charakteristiky | |
|-------------------------------|----------------------------|
| Vzorec | Na_2CO_3 |
| Rozpustnost | Ve vodě |
| Rozpustnost ve vodě při 10 °C | 12,2 g/100 ml |
| Rozpustnost ve vodě při 20 °C | 21,8 g/100 ml |
| Vzhled | bílý prášek nebo krystalky |
| Hustota | 2,532 g/cm ³ |
| Molární hmotnost | 105,988 g/mol |
| Teplota tání | 851 °C |
| Teplota rozkladu | 100 °C |
| Teplota dehydratace | 100 °C (monohydrát) |
| Standartní slučovací entalpie | 1130,68 kJ/mol |
| Bezpečnost | Dráždivý |
| Cena | 280 Kč/ 1000 g |



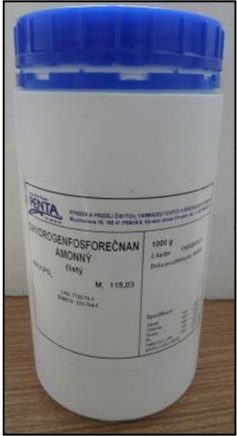
Tab. 4 Charakteristické vlastnosti Hydrogenfosforečnanu di-amonného[76]

| Charakteristiky | |
|------------------------------|-------------------------------|
| Vzorec | $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ |
| Další název | Fosforečnan amonný sekundární |
| Skupenství | Pevné |
| Barva | Bílá |
| Zápach | Slabě pronikavý |
| Obsah | 99 % |
| Molární hmotnosti | 132,06 g/mol |
| Hodnota pH (5% vodný roztok) | 7,8 – 8,5 |
| Relativní hustota (20 °C) | 1,619 g/cm ³ |
| Rozpustnost ve vodě | 690 g/l |
| Toxikologické informace | Dráždivý |
| Cena | 235 Kč/1000 g |



Tab. 8 Charakteristické vlastnosti Dihydrogenfosforečnanu amonného [77]

| Charakteristiky | |
|------------------------------|--------------------------------------|
| Vzorec | $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$ |
| Další název | Fosforečnan amonný primární |
| Skupenství | Pevné |
| Barva | Bílá |
| Zápach | Slabě pronikavý |
| Obsah | 99 % |
| Molární hmotnosti | 115,03 g/mol |
| Hodnota pH (5% vodný roztok) | 4,0 – 5,0 |
| Relativní hustota (20 °C) | 1,100 g/cm ³ |
| Rozpustnost ve vodě | 370 g/l |
| Toxikologické informace | Dráždivý |
| Cena | 249 Kč/1000 g |



Tab. 6 Charakteristické vlastnosti sodného vodního skla

| Charakteristiky | |
|-------------------------|--|
| Skupenství | Čirá nebo slabě zakalená viskózní kapalina |
| Barva | Bezbarvá |
| Zápach | Bez zápachu |
| Hodnota pH | 11,0 – 12,0 |
| Rozpustnost | Ve vodě, neomezená |
| Hustota (20 °C) | 1,3 g/cm ³ |
| Toxikologické informace | Dráždivý |
| Cena bez DPH | 15,25 Kč/ 500 ml |

