



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

MOŽNOSTI VYUŽITÍ ODPADŮ Z TEXTILNÍHO PRŮMYSLU PŘI VÝROBĚ NOVODOBÝCH IZOLAČNÍCH MATERIÁLŮ

POSSIBILITY OF UTILIZATION OF TEXTILE WASTE FOR MODERN INSULATION MATERIALS
PRODUCTION

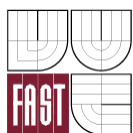
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Pavel Břicháček

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ ZACH, Ph.D.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

| | |
|---|--|
| Student | Pavel Břicháček |
| Název | Možnosti využití odpadů z textilního průmyslu při výrobě novodobých izolačních materiálů |
| Vedoucí bakalářské práce | Ing. Jiří Zach, Ph.D. |
| Datum zadání bakalářské práce | 30. 11. 2011 |
| Datum odevzdání bakalářské práce | 25. 5. 2012 |
| V Brně dne 30. 11. 2011 | |

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

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

Podklady a literatura

- [1] Steur R., Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, FAST
- [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

Práce bude věnována zhodnocení možnosti využití různých druhů odpadů z textilní výroby a použitého textilu při výrobě izolačních materiálů s velmi dobrými tepelně a akusticko izolačními vlastnostmi. Práce se bude zabývat zmapováním možných surovinových zdrojů, technologiím úpravy odpadních vláken, možnostem výroby tepelných a akustických izolací z textilních vláken a zhodnocení jejich vlastností a možností využití v novodobých stavebních konstrukcích.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací, rozsah práce cca 40 stran včetně tabulek a grafů.

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

Abstrakt

Staré oděvy tvoří obtížně recyklovatelný odpad, který končí povětšinou ve spalovnách či na skládkách komunálního odpadu. Předkládaná bakalářská práce si klade za cíl zhodnotit možnosti využití tohoto odpadu ve stavebnictví, konkrétně pro výrobu tepelně a akusticky izolačních materiálů. Náplní práce je zmapování surovinové základny v České Republice, zkoumání vhodnosti využití různých druhů textilních vláken a dále stanovení nejlépe vyhovujících technologií recyklace a pojení. Na výrobku, zhotoveném na základě teoretických poznatků, jsou stanoveny základní tepelně izolační a akustické vlastnosti.

Klíčová slova

tepelná izolace, akustická izolace, textilní odpad, bavlna, teplovzdušné pojení, bikomponentní vlákna, trvale udržitelný rozvoj

Abstract

Old clothes are hardly recyclable waste that ends mostly in incinerators or landfills for municipal waste. The present thesis aims to evaluate the possibility of using this waste in the building industry, specifically for the production of thermal and acoustic insulation materials. The scope of work is to map the raw material base in the Czech Republic, examining the appropriateness of using various kinds of textile fibers and determination of optimal technologies for recycling and bonding. On the product, made on the basis of theoretical findings are set out basic thermal insulation and acoustic properties.

Keywords

thermal insulation, acoustic insulation, textile waste, cotton, thermal bonding, Bi-Co fibres, sustainable development

...

Bibliografická citace VŠKP

BŘICHÁČEK, Pavel. *Možnosti využití odpadů z textilního průmyslu při výrobě novodobých izolačních materiálů*. Brno, 2012. 61 s., 65 s. příl. Bakalářská 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 zpracoval(a) samostatně, a že jsem uvedl(a) všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 20.5.2012

.....

podpis autora

Za kvalitní odborné vedení při řešení bakalářské práce děkuji Ing. Jiřímu Zachovi, Ph.D.
a za pomoc při zpracování praktické části dále Ing. Jitce Hroudové.

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| OBSAH | 8 |
| A. ÚVOD | 11 |
| B. TEORETICKÁ ČÁST | 12 |
| 1. Legislativní předpisy v ČR pro oblast stavebních izolačních výrobků | 12 |
| 2. Požadavky na vlastnosti izolačních materiálů | 15 |
| 2.1. Požadavky tepelně izolační | 15 |
| 2.1.1. <i>Tepelná vodivost</i> | 16 |
| 2.1.2. <i>Objemová hmotnost</i> | 17 |
| 2.1.3. <i>Tloušťka</i> | 17 |
| 2.1.4. <i>Měrná tepelná kapacita</i> | 17 |
| 2.2. Požadavky akustické | 18 |
| 2.2.1. <i>Vzduchová neprůzvučnost</i> | 19 |
| 2.2.2. <i>Plošná hmotnost</i> | 19 |
| 2.2.3. <i>Zvuková pohltivost</i> | 19 |
| 2.2.4. <i>Kročejevá neprůzvučnost</i> | 20 |
| 2.2.5. <i>Dynamická tuhost</i> | 21 |
| 2.3. Požadavky na mechanické vlastnosti | 21 |
| 2.3.1. <i>Napětí v tlaku při 10 % deformaci</i> | 21 |
| 2.3.2. <i>Pevnost v tahu kolmo k rovině desky</i> | 22 |
| 3. Netechnické požadavky | 22 |
| 3.1. Environmentální politika | 22 |
| 3.2. Nakládání s odpady | 24 |
| 4. Druhy textilních vláken | 26 |
| 4.1. Rostlinná vlákna | 26 |
| 4.1.1. <i>Bavlna</i> | 27 |
| 4.1.2. <i>Len</i> | 28 |
| 4.1.3. <i>Konopí</i> | 28 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 4.1.4. | <i>Juta</i> | 29 |
| 4.1.5. | <i>Ostatní rostlinná vlákna</i> | 30 |
| 4.2. | Živočišná vlákna | 31 |
| 4.2.1. | <i>Vlna</i> | 31 |
| 4.2.2. | <i>Hedvábí</i> | 33 |
| 4.3. | Vlákna chemická | 33 |
| 4.3.1. | <i>Měďnato-amonná vlákna</i> | 34 |
| 4.3.2. | <i>Viskóza</i> | 34 |
| 4.3.3. | <i>Lyocelová vlákna</i> | 35 |
| 4.3.4. | <i>Acetátová vlákna</i> | 36 |
| 4.4. | Vlákna syntetická | 36 |
| 4.4.1. | <i>Polyamidová vlákna</i> | 37 |
| 4.4.2. | <i>Polyesterová vlákna</i> | 38 |
| 4.4.3. | <i>Akrylová vlákna</i> | 38 |
| 4.4.4. | <i>Další syntetická vlákna</i> | 39 |
| 5. | Technologie pojení vláken | 39 |
| 5.2. | Mechanické pojení | 39 |
| 5.2.1. | <i>Vpichování</i> | 40 |
| 5.2.2. | <i>Další způsoby mechanického zpevnování</i> | 40 |
| 5.3. | Chemické pojení | 41 |
| 5.4. | Termické pojení | 41 |
| 5.4.1. | <i>Teplovzdušné pojení bikomponentními vlákny</i> | 42 |
| 5.4.2. | <i>Technologie kolmého vlákna (STRUTO)</i> | 42 |
| 6. | Možné surovinové zdroje z textilního průmyslu | 43 |
| 6.1. | Odpadní bavlna | 44 |
| 6.2. | Odpadní ovčí vlna | 45 |
| 6.3. | Odpad z výroby matrací | 45 |
| 7. | Zhodnocení možností výroby izolačních rohoží | 46 |
| C. | PRAKTICKÁ ČÁST | 48 |
| 8. | Cíl práce | 48 |
| 9. | Metodika práce | 48 |

| | |
|---|-----------|
| 10. Zkušební metody | 48 |
| 10.1. Stanovení tloušťky..... | 48 |
| 10.2. Stanovení objemové hmotnosti..... | 49 |
| 10.3. Stanovení součinitele tepelné vodivosti..... | 49 |
| 10.4. Stanovení činitele zvukové pohltivosti | 49 |
| 10.5. Stanovení dynamické tuhosti..... | 50 |
| 11. Výsledky zkoušek | 50 |
| 11.1. Stanovení tloušťky..... | 50 |
| 11.2. Stanovení objemové hmotnosti..... | 50 |
| 11.3. Stanovení akustických vlastností..... | 51 |
| 11.4. Stanovení tepelně izolačních vlastností..... | 52 |
| 11.4.1. Závislost tepelně izolačních vlastností na teplotě..... | 52 |
| 11.4.2. Závislost tepelně izolačních vlastností na vlhkosti..... | 53 |
| 11.5. Stanovení sorpčních vlastností | 55 |
| 12. Diskuze výsledků | 56 |
| 13. Závěr | 57 |
| POUŽITÁ LITERATURA..... | 58 |
| SEZNAM TABULEK | 61 |
| SEZNAM GRAFŮ..... | 61 |
| PŘÍLOHY | 61 |
| Příloha A: Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2 | 62 |
| Příloha B: Požadavky na zvukovou izolaci v místnostech dle ČSN 73 0532 | 64 |

A. ÚVOD

Stavebnictví a zejména oblast výroby stavebních hmot je typická spotřebou značných objemů vstupních surovin, je zde proto možné s výhodou využívat různé druhy druhotných a snadno obnovitelných látek. Podíl obnovitelných či recyklovaných (druhotných) surovin ve stavebnictví se v poslední době zvyšuje, například vysokopecní struska či některé druhy létavého elektrárenského popílku z vysokoteplotního spalování se v současnosti z pozice nepotřebných odpadů staly vyhledávanými a v některých případech dokonce nedostatkovými a vysoce ceněnými druhotnými surovinami, přesto však je podíl spotřebovaných primárních surovin stále příliš vysoký na to, aby byl dlouhodobě udržitelný. Naším úkolem je proto dále studovat možné využití odpadních látek, pro které dosud neexistuje další využití, jako vstupní (druhotné) suroviny pro stavební průmysl. Tyto snahy vyžadují kromě úpravy stávajících technologií také hledání nových netradičních cest. Jednou z nich, studiem možností využití textilního odpadu pro výrobu izolačních materiálů, se bude zabývat tato práce.

Staré oděvy a zbytky z textilní výroby tvoří nesnadno recyklovatelný odpad, který v současnosti končí ve většině případů na skládkách komunálního odpadu či ve spalovnách a jeho další využití je minimální. Tyto způsoby odstraňování odpadu způsobují vysokou zátěž životního prostředí (spalováním unikají do atmosféry škodlivé exhalace, při skládkování hrozí znečištění půdy a podzemních vod a také dochází k vývinu metanu, významného skleníkového plynu) [1], proto jakékoliv, byť částečné další využití textilního odpadu, bude vítaným, environmentálně příznivým řešením současné situace. Na straně druhé je třeba zmínit neustále se zpřísňující požadavky na stavební konstrukce, zejména požadavky na tepelnou a akustickou izolaci chráněných prostorů a s nimi spojené rostoucí požadavky na kvantitu a zejména kvalitu izolačních materiálů [2]. Izolační materiály, které jsou předmětem zkoumání v této bakalářské práci, mohou být zajímavou alternativou k v současnosti masově rozšířeným hmotám, vyráběným průmyslově s vysokou energetickou náročností.

V práci jsou zhodnoceny možnosti využití odpadního textilu jako suroviny pro výrobu tepelně a akusticky izolačních materiálů. Kromě vymezení současně platných, legislativně stanovených požadavků na vlastnosti stavebních izolačních materiálů a nakládání s odpady bude velký prostor věnován studiu vlastností jednotlivých druhů textilních vláken, zhodnocení jejich vhodnosti pro průmyslové zpracování při výrobě kvalitních a konkurenceschopných izolačních materiálů pro stavební účely, a v neposlední řadě také návrhu vhodných technologií zpracování a studiu základních vlastností vyrobených produktů.

B. TEORETICKÁ ČÁST

1. Legislativní předpisy v ČR pro oblast stavebních izolačních výrobků

Na úvod je třeba uvést výčet základních současně platných legislativních předpisů, vztahujících se na oblast tepelně a akusticky izolačních materiálů. Tyto předpisy upravují požadavky na konstrukce i jednotlivé stavební materiály a jejich dodržování je všeobecně povinné. Materiál, nesplňující tyto požadavky, nesmí být uveden na trh.

Základními předpisy jsou jednotlivé zákony, jejichž obecné znění je dále specifikováno v souvisejících vyhláškách, případně nařízeních vlády. Konkrétní technické požadavky na výrobky obvykle nalezneme v příslušných technických normách. Jejich dodržování je pouze doporučeno, pokud se však na jejich znění odkazují příslušné zákony, vyhlášky či nařízení vlády, získávají statut těchto předpisů, tedy stávají se závaznými. Zmíněné normy nazýváme normami požadavkovými. Normy výrobkové jsou závazné například při výrobkové certifikaci. Dále specifikují požadavky na výrobky, upřesňují jejich specifické vlastnosti, označování jednotlivých parametrů apod. Posledním typem jsou normy zkušební, ve kterých nalezneme postup pro stanovování jednotlivých vlastností stavebních materiálů. O nich bude blíže pojednáno v praktické části.

Následuje výčet základních legislativních předpisů, postihujících zkoumanou problematiku, s citacemi nejvýznamnějších pasáží.

Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) ve znění pozdějších předpisů [3]

Tento zákon je základním předpisem pro všechny činnosti týkající se stavebnictví, tudíž i pro výrobu stavebních hmot a určování požadovaných vlastností výrobků pro užití ve stavebních konstrukcích.

V § 156 - **Požadavky na stavby** se hovoří o tom, že: *pro stavbu mohou být navrženy a použity jen takové výrobky, materiály a konstrukce, jejichž vlastnosti [...] zaručují, že stavba při správném provedení a běžné údržbě po dobu předpokládané existence splní požadavky [...], o kterých je blíže pojednáno ve Vyhlášce č. 268/2009.*

Vyhláška č. 268/2009 o technických požadavcích na stavby [4]

Nejvýznamnější je pro nás § 8 - **Základní požadavky**. Jak již název napovídá, je zde uvedena bližší specifikace požadavků na stavby, dle výše uvedeného zákona. Jsou to:

- a) mechanická odolnost a stabilita,
- b) požární bezpečnost,
- c) ochrana zdraví, zdravých životních podmínek a životního prostředí,

- d) ochrana proti hluku,
- e) bezpečnost při užívání,
- f) úspora energie a ochrana tepla.

Každý z těchto požadavků je blíže specifikován v dalších souvisejících předpisech a na nich navazujících technických normách (zejména jsou to **ČSN 73 0532 – Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků** a **ČSN 73 0540 – Tepelná ochrana budov**). Z pohledu zaměření této bakalářské práce se jeví jako důležité především následující legislativní předpisy:

Ad b) Vyhláška č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb [5]

Podle § 6 této vyhlášky - **Reakce na oheň** klasifikujeme stavební konstrukce a výrobky určené k zabudování do stavby podle reakce na oheň do tříd A až F dle ČSN EN 13 501-1.

Ad c) Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů [6]

V § 76 tohoto zákona je uvedeno, že osoba je při podnikatelské činnosti povinna: *doložit, že výrobky, které vyrábí, dováží nebo uvádí na trh nebo do oběhu a které mají být [...] schváleny orgánem ochrany veřejného zdraví, byly schváleny, [...].* Orgány ochrany veřejného zdraví tvoří na celostátní úrovni zejména Ministerstvo zdravotnictví, na regionální úrovni jsou to krajské hygienické stanice. Co se týče ochrany proti hluku, některé povinnosti a pravomoci orgánů ochrany veřejného zdraví přechází také na Ministerstvo obrany, vnitra, pro místní rozvoj, ministerstvo životního prostředí a také krajské úřady.

Zákon č. 102/2001 Sb. o obecné bezpečnosti výrobků a o změně některých zákonů [7]

Uvedený zákon dle § 3 – **Obecné požadavky na bezpečnosti výrobku** považuje za bezpečný výrobek, který: *za běžných nebo rozumně předvídatelných podmínek užití nepředstavuje po dobu stanovenou výrobcem nebo po dobu obvyklé použitelnosti nebezpečí, nebo jehož užití představuje pro spotřebitele vzhledem k bezpečnosti a ochraně zdraví pouze minimální nebezpečí při užívání výrobku [...].*

Ad d) Již v předchozím bodě zmiňovaný Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů

Zde se v § 34 hovoří o tom, že: *Prováděcí právní předpis upraví hygienické limity hluku a vibrací pro denní a noční dobu, způsob jejich měření a hodnocení. [...].* Noční dobou

je doba mezi 22.00 a 6.00 hodinou. Prováděcím předpisem rozumíme Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.

Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací [8]

§ 3 tohoto nařízení stanovuje hygienické limity ekvivalentní hladiny akustického tlaku L_{Aeq} na pracovišti a obdobně § 11 pojednává o limitních hodnotách v chráněných vnitřních prostorech staveb (základní hodnota $L_{Aeq,T}$ se rovná 40 dB s korekcí přihlížející ke druhu chráněného prostoru a denní a noční době).

Technickým předpisem, řešícím danou problematiku, je ČSN 73 0532.

Ad f) Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií ve znění pozdějších předpisů [9] (nejnovější změna: Zákon 299/2011)

Z tohoto zákona je třeba zmínit zejména § 6a - **Energetická náročnost budov**, kde se praví, že: *Stavebník [...] musí zajistit splnění požadavků na energetickou náročnost budovy a splnění porovnávacích ukazatelů, které stanoví prováděcí právní předpis [...].* Splnění těchto požadavků dokládá stavebník průkazem energetické náročnosti budovy.

Vlastník budovy [...] nesmí při užívání nových budov nebo při užívání budov dokončených po jejich změně mající vliv na všechny tepelně technické vlastnosti budovy překročit měrné ukazatele spotřeby tepla pro vytápění a chlazení a pro přípravu teplé vody stanovené prováděcím právním předpisem.

Prováděcím předpisem tohoto zákona je vyhláška č. 148/2007 Sb.

Vyhláška č. 148/2007 Sb. o energetické náročnosti budov [10]

Vyhláška podle § 3 považuje **Požadavky na energetickou náročnost budovy** za splněné, pokud je: *energetická náročnost hodnocené budovy stanovená metodou podle § 5 nižší než energetická náročnost referenční budovy při dodržení obecných technických požadavků na výstavbu [...].*

Metoda stanovení energetické náročnosti budovy, uvedená v § 5 stanovuje energetickou náročnost budovy: *výpočtem celkové roční dodané energie v GJ potřebné na vytápění, větrání, chlazení, klimatizaci, přípravu teplé vody a osvětlení při jejím standardizovaném užívání bilančním hodnocením.*

§ 6 - **Průkaz energetické náročnosti budovy** stanovuje všechny náležitosti, které musí zmiňovaný dokument obsahovat a také definuje klasifikační třídy energetické náročnosti budovy A až G a jejich hranice, přičemž měrné hodnoty ve třídě C jsou třídami referenčními.

Zákon č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů [11]

Zákon patří k základním předpisům v oblasti stavební výroby. Definuje technické předpisy a technické normy, upravuje postup při certifikaci, akreditaci a autorizaci a popisuje postup při posuzování shody a uvádění na trh u tzv. **stanovených výrobků**. Těmi jsou podle § 12 tohoto zákona výrobky, které představují zvýšenou míru ohrožení oprávněného zájmu (převážná většina stavebních výrobků).

Nařízení č. 163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky [12]

Toto nařízení je prováděcím předpisem výše uvedeného zákona.

2. Požadavky na vlastnosti izolačních materiálů

Z dříve uvedených technických předpisů lze usuzovat na vlastnosti, které od izolačních materiálů budeme požadovat. Kromě základních požadavků na hygienickou nezávadnost a požární bezpečnost jsou to zejména požadavky tepelně izolační a akustické a v neposlední řadě také požadavky mechanické.

2.1. Požadavky tepelně izolační

Abychom mohli definovat požadavky na tepelně izolační výrobky, je třeba nejprve definovat tepelně technické požadavky na konstrukce. Dle ČSN 73 0540-2 [13] musí konstrukce splňovat požadavek na maximální hodnotu **součinitele prostupu tepla U**. Je to veličina, udávající míru tepelné výměny v ustáleném stavu mezi dvěma prostředími s rozdílnou teplotou, oddělenými vyšetřovanou konstrukcí. Ve zmiňované normě jsou uvedeny jednak hodnoty požadované, tedy hodnoty, zajišťující minimální tepelně technické vlastnosti konstrukce z hlediska její bezproblémové funkčnosti při užívání, a dále hodnoty doporučené, které zajišťují nadstandardní, technicky možnou a ekonomicky přijatelnou úroveň (viz příloha 1). Současné trendy nízkoenergetické a pasivní výstavby směřují spíše k dodržování hodnot doporučených, proto se potřeba kvalitních tepelných izolací stále zvětšuje.

Pokud se nyní vrátíme k požadavkům na stavební tepelně izolační výrobky, základními materiálovými charakteristikami, ovlivňujícími hodnotu součinitele prostupu tepla konstrukcí, jsou tloušťka izolačního materiálu a jeho tepelná vodivost, na kterou má

významný vliv objemová hmotnost (potažmo pórovitost) a obsah vlhkosti ve struktuře materiálu.

Nejjednodušší cestou pro zlepšení tepelně izolačních vlastností konstrukce je zvětšení tloušťky tepelného izolantu, avšak v mnohých případech je jeho tloušťka dána tvarem a rozměry nosných prvků konstrukce, případně jinými specifickými požadavky. Tehdy bývá jedinou vlastností, kterou můžeme zlepšovat, tepelná vodivost, číselně vyjádřena **součinitelem tepelné vodivosti** λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]. Například při zateplení šikmé části střešní konstrukce v obytném podkroví stanovuje norma maximální hodnotu součinitele prostupu tepla konstrukcí $U = 0,24 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Tomu při výšce prostoru mezi krokvy 160 mm odpovídá součinitel tepelné vodivosti tepelně izolačního materiálu maximálně cca $\lambda = 0,041 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ (bude-li tepelná izolace uložena pouze mezi krokvy). Jiným případem je aplikace výplňové tepelné izolace do rámové konstrukce obvodové stěny v dřevostavbě. Norma požaduje maximálně $U = 0,30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Při vhodně zvoleném druhu opláštění (například z Ekopanelů) je maximální hodnotou při tloušťce rámu 100 mm cca $\lambda = 0,038 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

Dalším důležitým parametrem je měrná tepelná kapacita materiálu, která je důležitá z pohledu tepelně akumulčních vlastností konstrukce.

2.1.1. Tepelná vodivost

Tepelná vodivost je základní tepelně technickou charakteristikou. Jejím číselným vyjádřením je **součinitel tepelné vodivosti** λ . Definován je jako množství tepla, které při ustáleném tepelném toku projde za jednotku času materiálem o jednotkové tloušťce při jednotkovém tepelném spádu. Jinak řečeno, je to materiálová konstanta, která vyjadřuje schopnost materiálu vést teplo. Čím je jeho hodnota menší, tím lepší má materiál tepelně technické vlastnosti. Jako o tepelném izolantu hovoříme o materiálu tehdy, pokud je jeho součinitel tepelné vodivosti za normálních podmínek menší než $0,1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

Pro laboratorní stanovení používáme celou řadu metod. Základní dělení je podle teplotního stavu zkušební vzorku během měření na metody stacionární a nestacionární. U stacionárních metod je nutné zajistit ustálený tepelný tok, procházející od teplejšího povrchu zkušební vzorku k chladnějšímu. Naproti tomu u metod nestacionárních stanovujeme hodnotu hledané veličiny na základě sledování průběhu teplotní vlny vzorkem. Ze **stacionárních metod** rozeznáváme metodu válce (dle ČSN 72 7011), metodu koule (ČSN 72 7013) a v praxi nejpoužívanější metody desky, dále se dělí na metodu chráněné teplé desky (ČSN 72 7012-2, ČSN EN 12667 a ČSN EN 12939, ISO 8301) a metodu měřidla tepelného toku (ČSN 72 7012-3, ČSN EN 12667 a ČSN EN 12939, ISO 8302). Z **metod nestacionárních** jsou to zejména metoda nestacionárního tepelného toku (ČSN EN 72 1105) a metoda topného drátu (ČSN EN 993-14), méně často dále metoda záblesková a šokové metody [14].

Součinitel tepelné vodivosti je velmi úzce spjat s objemovou hmotností materiálu, jak bude pojednáno dále. Z velkého množství dalších ovlivňujících faktorů mají největší vliv obsah vlhkosti a teplota.

Při zvyšující se vlhkosti materiálu roste i tepelná vodivost. Vzduch, který má velmi dobré tepelně izolační schopnosti ($\lambda \approx 0,025 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$), je totiž ve struktuře postupně nahrazován vodou, která teplo vede podstatně lépe ($\lambda \approx 0,6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$).

Také rostoucí teplota zvyšuje tepelnou vodivost materiálu, a to proto, že při vyšších teplotách se při sdílení tepla kromě vedení zvyšuje také podíl proudění a sálání.

2.1.2. Objemová hmotnost

Objemová hmotnost je u izolačních materiálů a výrobků dle ČSN EN 1602 definována jako podíl hmotnosti zkoušeného vzorku a jeho objemu včetně dutin a pórů. Je tedy u izolačních materiálů výrazně nižší než měrná hmotnost, která je vyjádřena jako podíl hmotnosti a objemu pouze pevné fáze bez dutin a pórů. Podíl objemové hmotnosti a hmotnosti měrné vyjadřuje pórovitost.

S klesající objemovou hmotností vzrůstá v materiálu objem pórů, vyplněných vzduchem, což je velmi dobrý tepelný izolant. Toto pravidlo platí pouze do určité míry, v případě příliš malé objemové hmotnosti jsou totiž vzduchové póry natolik velké, že v nich dochází ke sdílení tepla nejen vedením, ale také prouděním a sáláním, což má za následek naopak nárůst tepelné vodivosti.

2.1.3. Tloušťka

Vzhledem k tomu, že tepelná vodivost materiálu je při neměnných okrajových podmínkách taktéž konstantní, je jediným způsobem, jak snížit hodnotu součinitele prostupu tepla, zvětšení tloušťky tepelně izolační vrstvy.

U měkkých izolačních desek stanovujeme dle ČSN EN 823 tloušťku jako vzdálenost, naměřenou mezi tuhou plochou základní desky, na níž je uložen zkušební vzorek, a tuhou plochou tlačné desky, která přenáší různě stanovený tlak (základní je 50 nebo 250 Pa) na horní povrch zkušební vzorku. Volba tlaku se provede dle příslušné výrobní normy.

2.1.4. Měrná tepelná kapacita

Pokud materiálu dodáváme teplo, dochází k jeho ohřívání. Tento jev popisuje veličina nazvaná měrná tepelná kapacita c [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]. Udává množství tepla, které je třeba dodat 1 kilogramu materiálu, aby se jeho teplota změnila o 1 Kelvin.

Měrná tepelná kapacita je, stejně jako tepelná vodivost, závislá na teplotě materiálu, při které mu teplo dodáváme a na obsahu vlhkosti. S rostoucí teplotou stoupá i měrná tepelná kapacita. K laboratornímu stanovení používáme kalorimetrické metody. Problematikou se zabývá například ČSN 72 1105.

V praxi měrná tepelná kapacita hraje roli zejména při stanovení tzv. tepelné jímavosti, která je určena jako součin koeficientu tepelné vodivosti, měrné tepelné kapacity a objemové hmotnosti materiálu. Je rozhodující veličinou při posuzování **tepelné akumulace** stavebních konstrukcí. Ta přispívá významnou měrou k udržování tepelné stability vnitřního prostředí objektů, proto, ačkoliv se dá do určité míry nahradit zvýšením tepelně izolačních schopností konstrukce, její vliv nelze zcela zanedbávat.

Z definice tepelné jímavosti vyplývá, že tato veličina při snižování objemové hmotnosti, jež je žádoucí pro dosažení co nejlepších tepelně izolačních vlastností, také klesá. Jedním ze způsobů, jak odstranit tento problém, je tedy využití materiálu s vysokou měrnou tepelnou kapacitou. Nejvyšších hodnot dosahuje voda ($c = 4180 \text{ J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$), ze stavebních materiálů vykazují nejvíce rozšířené hmoty na bázi silikátů měrnou tepelnou kapacitu pouze v rozsahu cca $800 - 1000 \text{ J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$. Oproti nim organické materiály mají hodnoty měrné tepelné kapacity zhruba dvojnásobné [15], což je výhodné právě s ohledem na tepelně akumulaci schopnosti budoucí konstrukce.

2.2. Požadavky akustické

Zvuk je mechanické vlnění, vznikající kmitáním těles, šířící se pevnými, kapalnými i plynnými látkami a vnímané sluchem člověka.

Hluk je rušivý zvuk, který vyvolává nepříjemný, rušivý vjem nebo škodlivý účinek. Například při hlukové zátěži $30 - 60 \text{ dB}$ dochází k poruchám spánku, omezení schopnosti soustředění a snížení pracovního výkonu až o 20%, vyšší hladiny hluku způsobují psychické problémy a poruchy prokrvení mozku. Při dlouhodobém působení hluku nad 95 dB může dojít k poruchám sluchu, při 125 dB již dochází k poškození okamžitě. Hodnota 140 dB je uváděna jako práh bolesti [16].

Úkolem stavební akustiky je zajišťovat v chráněném prostoru takové hladiny hluku, které nebudou překračovat maximální limitní hodnoty, stanované v citovaných legislativních předpisech (viz. bod 1 výše). Limitní hodnoty se liší podle účelu využití chráněného prostoru. Schopnost konstrukce tlumit procházející hluk nazýváme neprůzvučností. Rozeznáváme neprůzvučnost vzduchovou a kročejovou. Požadavky na stavební konstrukce z hlediska ochrany proti hluku jsou uvedeny v ČSN 73 0532 [17] (viz příloha 2).

2.2.1. Vzduchová neprůzvučnost

Vzduchová neprůzvučnost je schopnost konstrukce bránit proti pronikání zvuku, šířícího se vzduchem. Vzduchovou neprůzvučnost popisujeme jednak laboratorní neprůzvučností R [dB] a jednak neprůzvučností stavební R [dB] (ta je vždy menší, protože dochází k přenosu zvuku také bočními konstrukcemi a vedlejšími cestami). Měření se provádí u vážené laboratorní neprůzvučnosti v akustické komoře, u vážené stavební neprůzvučnosti mezi dvěma prázdnými místnostmi stejného tvaru a rozměrů. Požadavky na stavební konstrukce z hlediska vzduchové neprůzvučnosti nalezneme v ČSN 73 0532. Laboratorní stanovení vzduchové neprůzvučnosti řeší normy řady ČSN EN ISO 140, následné přepočty na jednočíselné hodnoty, sloužící k interpretaci výsledků, dále normy řady ČSN EN ISO 717.

Podle způsobu působení rozlišujeme dělicí stěny jednoduché a násobné. **Jednoduchá stěna** vzdoruje akustickým vlnám pouze svou hmotou. Zlepšení akusticky izolačních vlastností tedy můžeme dosáhnout pouze zvýšením plošné hmotnosti (větší tloušťkou stěny nebo objemovou hmotností použitého materiálu). **Násobná stěna** je stěna, složená z více dílčích tuhých stěn, které jsou od sebe pružně odděleny (např. vzduchovými mezerami). Násobné stěny jsou účinnější, než stěny jednoduché, protože akustickému tlaku nevzdorují pouze svou hmotou, ale zejména sériovými útlumovými vlastnostmi jednotlivých vrstev včetně pohlcení vzduchem v mezerách. Zde zpravidla tvoří jednu vrstvu (v ojedinělých případech i více vrstev) účinná akustická izolace s nízkou plošnou hmotností. U ní je důležitá zejména hodnota **činitele zvukové pohltivosti**.

2.2.2. Plošná hmotnost

Plošná hmotnost m' určuje hmotnost 1 m^2 zkoumané látky. Obvykle ji stanovíme jako podíl hmotnosti plošného materiálu a jeho plochy, případně jako součin objemové hmotnosti a tloušťky materiálu.

Jak již bylo řečeno, s rostoucí plošnou hmotností materiálu roste jeho vzduchová neprůzvučnost, proto je jednou ze základních charakteristik jednovrstvých konstrukcí.

2.2.3. Zvuková pohltivost

Při dopadu zvukové vlny na konstrukci se její část odrazí zpět, část konstrukcí projde do chráněného prostoru a část je konstrukcí pohlcena. Pohlcenou část akustické vlny charakterizuje **činitel zvukové pohltivosti** α [-]. Je definován jako podíl zvukové energie pohlcené a celkové energie, dopadající na konstrukci. Teoreticky může činitel zvukové pohltivosti dosahovat hodnot $0 - 1$, přičemž mezní hodnota $\alpha = 0$ představuje **totální odraz** a $\alpha = 1$ naopak **totální absorpci**.

Laboratorně se činitel zvukové pohltivosti stanovuje u stavebních materiálů dle ČSN ISO 10534-1 pomocí Kuntovy trubice. Princip spočívá ve vytvoření stojatého vlnění v trubici, na jejímž konci je zkoušený vzorek. Z naměřeného maxima a minima akustického tlaku stanovíme činitel zvukové pohltivosti. Přepočet na jednočíselnou hodnotu provedeme dle ČSN EN ISO 11654. U konstrukcí a u některých druhů stavebních výrobků činitel zvukové pohltivosti stanovujeme v dozvukové místnosti dle ČSN EN ISO 354 (u protihlukových stěn pak dle ČSN EN 1793).

Co se týče vlastností materiálu, nejvíce zvukovou pohltivost ovlivňuje pórovitost. K útlumu zvukové vlny v materiálu dochází násobnými odrazy o stěny póru, třením a dalšími pochody, přeměňujícími akustickou energii na teplo. Tím klesá její intenzita, vycházející z konstrukce z či do chráněného prostoru. Pórovité materiály se proto využívají jako kvalitní pohltivé obklady a podhledy, ale také jako měkké výplně do násobných dělicích stěn, zvyšující jejich vzduchovou neprůzvučnost.

Z hlediska stavební akustiky považujeme za pórovitý materiál s pórovitostí minimálně 60%, kvalitní akustická izolace však musí mít pórovitost mnohem vyšší (nad 80%). Důležité je nejen množství pórů, ale také jejich tvar, velikost, distribuce a propojenost pórového systému. Kvalitní akusticky izolační materiál by měl mít otevřenou pórovitost, je však třeba mít na paměti, že tím vzroste také jeho nasákavost.

2.2.4. Kročejová neprůzvučnost

Zatímco vzduchová neprůzvučnost se uplatňuje při posuzování šíření zvuku všemi částmi objektu, s kročejovou neprůzvučností se setkáváme pouze u vodorovných dělicích konstrukcí (konkrétně podlah). Vyjadřujeme ji nejčastěji **normalizovanou hladinou akustického tlaku kročejového hluku L'_n** . Charakteristické je, že zdroj hluku je v přímém kontaktu s dělicí konstrukcí.

Kročejový hluk vzniká chůzí, popřípadě nárazy na stropní konstrukci. Mechanickými nárazy vznikají ohybové vlny, které se konstrukcí šíří do spodního podlaží. Tyto ohybové vlny snadno prochází jednovrstvou konstrukcí bez ohledu na její plošnou hmotnost, poměrně účinně se však tlumí na rozhraní materiálů o různém vlnovém odporu. Tohoto poznatku se v praxi využívá při konstrukci tzv. **plovoucích podlah**. Principem je tlumení kročejového hluku pomocí vkládání dynamicky měkkých akusticky izolačních materiálů mezi nosnou konstrukci a nášlapnou vrstvu, tvořenou roznášecí (plovoucí) deskou. Tlumicí efekt je tím výraznější, čím větší je plošná hmotnost nášlapné vrstvy a čím menší je **dynamická tuhost** izolační podložky [18].

Kročejovou neprůzvučnost stanovujeme buďto v laboratorních podmínkách, nebo přímo na konstrukci. Měříme kročejový hluk, který na druhé straně stropní konstrukce vyvozujeme normalizovaným klepadlem. Požadavky z hlediska kročejové neprůzvučnosti

jsou opět uvedeny v ČSN 73 0532. Pro zkoušení a při výpočtech se řídíme stejně jako u vzduchové neprůzvučnosti normami řady ČSN EN ISO 140 a ČSN EN ISO 717.

2.2.5. Dynamická tuhost

Dynamickou tuhostí s' [MPa.m⁻¹] rozumíme schopnost materiálu utlumovat mechanické kmity, způsobené zejména chůzí a nárazy na stropní konstrukci. Je definována jako poměr dynamické síly k dynamické výchylce. Stanovujeme ji laboratorně dle ČSN ISO 9052-1 rezonanční metodou. Zjišťujeme základní rezonanční kmitočet soustavy plošného zkušební vzorku a zatěžovací desky. S klesající dynamickou tuhostí materiálu se zlepšují jeho zvukově izolační vlastnosti.

2.3. Požadavky na mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti jsou u izolačních materiálů velmi důležité, zvláště pokud mají být použity do plovoucích podlah. Nejčastěji stanovujeme napětí v tlaku při 10% deformaci a pevnost v tahu kolmo k rovině desky.

2.3.1. Napětí v tlaku při 10% deformaci

Napětí v tlaku stanovíme dle ČSN EN 826 [19] tak, že pravoúhlý zkušební vzorek tvaru kvádra zatěžujeme danou rychlostí kolmo na jeho větší rovnoběžné povrchy tlakovou silou za současného zaznamenávání poměrného stlačení:

- a) do porušení (dosažení meze tečení materiálu) a určíme příslušnou deformaci, pokud je menší než 10%, výsledkem je pevnost v tlaku,
- b) pokud nenastane porušení do okamžiku 10% deformace.

Současně se zatěžováním zaznamenáváme pracovní diagram materiálu. Výslednou pevnost v tlaku či napětí při 10% stlačení poté stanovíme jako podíl stanovené síly a původní zatěžovací plochy tělesa. Všechna přetvoření pro výpočet poměrného stlačení měříme od tzv. bodu nulové deformace, který získáme z pracovního diagramu prodloužením lineární nejstrmější části jeho křivky k ose procházející počátkem.

Tato veličina je velice důležitá pro aplikaci do plovoucích podlah, popisuje totiž chování materiálu při stlačení a jeho schopnost vzdorovat zatížení od nášlapné vrstvy a zatížení provoznímu.

2.3.2. Pevnost v tahu kolmo k rovině desky

Pevnost kolmo k rovině desky stanovíme dle ČSN EN 1607 [20] jako podíl největší tahové síly, naměřené v průběhu tahového namáhání kolmo k povrchu výrobku a průřezové plochy zkoušeného vzorku, tvaru kolmého hranolu.

3. Netechnické požadavky

3.1. Environmentální politika

Minulé století nebylo jenom stoletím vynálezů, ale také stoletím drancování nerostných surovin a ničení životního prostředí v míře do té doby nebývalé. Populace na Zemi již překročila 7 miliard a problémy s potravou, léky a pitnou vodou jsou stále bolestnější. Zásoby fosilních paliv se odhadují pouze na 80 – 100 let a ani další nerostné suroviny nejsou zdaleka tak nevyčerpatelné, jak si lidstvo ještě donedávna myslelo. Proto musí být toto století stoletím napravování starých škod a hledání nových cest. Tyto kroky je třeba podnikat ve všech odvětvích lidské činnosti, tedy i ve stavebnictví.

Prvním dokumentem, postihujícím nejbolestnější problémy lidstva, byla **Agenda 21**, schválená na konferenci OSN UNICED v Rio de Janeiru v roce 1992. Zde byl poprvé vysvětlen pojem **Trvale udržitelný rozvoj** jako [...] *rozvoj, který uspokojuje potřeby současnosti, aniž by omezoval možnosti budoucích generací uspokojovat jejich vlastní potřeby.* [...]. Dokument se snažil nastínit cestu ke zlepšení životní úrovně lidstva ve všech aspektech od chudoby a nemocí, přes ochranu životního prostředí a nakládání s odpady až po postavení dětí, žen či národnostních menšin. Specifickým výstupem pro stavebnictví byla **Agenda 21 pro udržitelnou výstavbu**. Dalšími důležitými mezníky v této oblasti byly Summit tisíciletí a Světový summit o udržitelném rozvoji (Johannesburg, 2002). Na posledně jmenovaném setkání byla doplněna **Strategie udržitelného rozvoje EU**, rozpracovaná již roku 2001 v Göteborgu. Oficiálně vydána byla v roce 2006. Globální cíle jsou spatřovány v ochraně životního prostředí, sociální soudržnosti, ekonomické prosperitě a mezinárodní odpovědnosti. V návaznosti na tuto mezinárodní úmluvu (které se účastnili také zástupci ČR) vydala vláda naší země usnesením č. 1242 ze dne 8. prosince 2004 **Strategii udržitelného rozvoje České republiky**, která upravila jednotlivé cíle pro použití v našich podmínkách. V současnosti platný je **Strategický rámec udržitelného rozvoje České republiky**, vydaný usnesením vlády č. 37 z 11. ledna 2010. Žádný z těchto dokumentů není ve své podstatě závazný, vzhledem k roli stavebnictví jakožto významného konzumenta energie a nerostných surovin a producenta značného množství odpadů a exhalací by však mělo být naší povinností se jimi v maximální možné míře řídit pro naplnění myšlenky udržitelného rozvoje. Pokud tyto myšlenky převedeme ze stránek mezinárodních úmluv do praxe, znamená to pro nás, že

bychom v rámci stavebnictví měli usilovat o snižování spotřeby energií, primárních (tedy neobnovitelných) surovin a vypouštění škodlivých exhalací do ovzduší.

Snižování spotřeby energie společnosti můžeme dosáhnout výstavbou nových budov v pasivním standardu a promyšlenou modernizací stávajících objektů tak, aby se jejich tepelné technické vlastnosti blížily novostavbám, přičemž trend směřuje zejména k rozvoji nenosných materiálů s vynikajícími tepelně izolačními vlastnostmi, tvořících společně s nosnou konstrukcí tzv. sendvičovou skladbu. Cestou k energetickým úsporám je také používání materiálů s vysokou přidanou hodnotou (například materiálů s velkou trvanlivostí, materiálů recyklovaných a recyklovatelných). Významných úspor energie lze dosáhnout také v samotném průmyslu výroby stavebních hmot, a to zejména snižováním výroby (a tedy i použití) energeticky vysoce náročných materiálů na nezbytné minimum a jejich nahrazování materiály s environmentálně příznivějšími vlastnostmi, například materiály přírodními či recyklovanými. Zde je třeba zmínit pojem **ekologická stopa**. Je to číselná hodnota, která numericky definuje podíl energetické složky a míry znečištění prostředí pro daný výrobek, tedy jinými slovy, jak moc daný výrobek je či není environmentálně příznivý. Pro hodnocení ekologické stopy používáme jako kritéria množství vázané (tzv. šedé) energie, tvořené energií na těžbu, úpravu a dopravu suroviny, výrobu a dopravu produktu, dále emise CO₂ (neboli potenciál globálního oteplování) a emise SO₂ (potenciál zakyselení atmosféry) [21].

Snížení spotřeby primárních, neobnovitelných surovin dosáhneme kromě omezení vzniku odpadů zejména nahrazením primárních surovin surovinami obnovitelnými či odpadními. K vysvětlení pojmů si vezmeme na pomoc **zákon č. 17/1992 Sb. O životním prostředí** [22], kde se v §7 praví, že: *Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka. Neobnovitelné přírodní zdroje spotřebováváním zanikají. [...]* Typickým případem obnovitelných zdrojů jsou přírodní materiály. O odpadech bude pojednáno dále.

Vypouštění CO₂ a SO₂ do atmosféry je značně ovlivněno zejména spalováním fosilních paliv, potřebných na většinu technologických procesů ve stavebnictví. Můžeme proto říci, že environmentálně příznivější jsou materiály recyklované a materiály přírodní (v našich podmínkách zejména dřevo), které jsou obnovitelné a navíc mají například bilanci CO₂ zápornou, což znamená, že při jejich zpracování unikne do ovzduší méně CO₂, než materiál během svého „života“ z atmosféry pojme. Pokud požadavek ještě více specifikujeme na výrobu izolačních hmot, měl by trend směřovat k náhradě materiálů s vysokou spotřebou energie (minerální vlákna) a materiálů, zatěžujících životní prostředí (pěnový polystyren) materiály environmentálně příznivějšími (například korek, len, konopí, ovčí vlna, výrobky z dřevní hmoty nebo právě izolační materiály z recyklovaného textilu).

ČR se podpisem **Kjótského protokolu** v roce 1997, stejně jako mnoho dalších států, zavázala k postupnému snižování množství vypouštěných skleníkových plynů. V současnosti se v našem státě daří požadavky plnit s rezervou a za peníze z obchodu s emisními povolenkami u nás vzniklo mnoho dobrého (jmenujme například vládní program Zelená

úsporám), podle nejnovějších odhadů však při zachování současného stavu našeho průmyslu budeme muset v roce 2020 již 10% povolenek nakupovat. Omezování je tedy na místě.

3.2. Nakládání s odpady

Jak již bylo řečeno, jedním ze základních způsobů, jak naplnovat myšlenku trvale udržitelného rozvoje, je snižování spotřeby primárních surovin jejich nahrazením odpady nebo látkami získanými z odpadů, které lze považovat za druhotné suroviny. V ČR je při nakládání s odpady nutné řídit se některými závaznými legislativními předpisy. Jsou to především:

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů [23]

Je základním právním předpisem, vztahujícím se na problematiku nakládání s odpady. Zde je v § 3 pojem **odpad** definován jako každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit a přísluší do některé ze skupin odpadů. Odpad se stává **druhotnou surovinou** v případě, že je jej možné hned nebo po určité úpravě dále využít, splňuje technické požadavky pro konkrétní účely a jeho využití nepovede k nepříznivým dopadům na životní prostředí nebo lidské zdraví. Ke **zbavování se odpadu** dochází, když osoba předá movitou věc, příslušející do některé ze skupin odpadů, k využití nebo odstranění nebo předá-li ji osobě oprávněné ke sběru nebo výkupu odpadů.

Odpady zákon dělí dle stupně nebezpečnosti na nebezpečné (NO), zvláštní (ZO) a ostatní (OO). **Nebezpečný odpad** je odpad, vykazující jednu nebo více nebezpečných vlastností, například výbušnost, hořlavost, dráždivost, karcinogenitu, akutní toxicitu, infekčnost, žiravost, uvolňování jedovatých plynů, ekotoxicitu a další. Nebezpečné odpady musí být uvedeny v Seznamu nebezpečných odpadů. **Zvláštní odpad** vyžaduje zvláštní režim pro nakládání. **Ostatní odpad** nevyžaduje žádná speciální opatření. Jeho podstatnou složkou je **komunální odpad**. Je to veškerý odpad, vznikající na území obce při činnosti fyzických osob, který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů. Jeho původcem je obec.

V § 9 zákon stanovuje hierarchii při nakládání s odpady. Ta je pro všechny zúčastněné osoby závazná:

- a) předcházení vzniku odpadů,
- b) příprava k opětovnému použití,
- c) recyklace odpadů,
- d) jiné využití odpadů, například energetické využití,
- e) odstranění odpadů.

Za **původce odpadu** zákon považuje právnickou nebo fyzickou osobu, oprávněnou k podnikání, při jejichž činnosti vznikají odpady. Původce odpadů je povinen předcházet

vzniku odpadů, omezovat jejich množství a nebezpečné vlastnosti. Pokud se původce chce odpadu zbavit, musí ho předat **Oprávněné osobě**, tedy osobě, která je oprávněna k nakládání s odpady, která odpad odstraní či předá k dalšímu zpracování. Oprávněnou osobou může být i sám původce, pokud získá oprávnění od příslušného orgánu.

Poslední důležitou částí tohoto zákona je § 41. V něm se praví, že Ministerstvo zpracovává **plán odpadového hospodářství** za účelem vytváření podmínek pro předcházení vzniku odpadů a nakládání s nimi. Jeho závaznou část vyhláší vláda svým nařízením. Plán odpadového hospodářství dále zpracovávají jednotlivé kraje a původci odpadu, pokud produkuje ročně více než 10 tun nebezpečného odpadu nebo více než 1000 tun odpadu ostatního.

Vyhláška č. 381/2001 Sb., katalog odpadů [24]

Tato vyhláška stanovuje Katalog odpadů a Seznam nebezpečných odpadů, jak bylo dříve uvedeno, a také postup pro zařazování odpadů podle Katalogu odpadů. Katalog odpadů dělí odpady do skupin 01 – 20 a dále každému z nich přiděluje šestimístný kód, podle něhož je odpad jednoznačně identifikovatelný. Pro naše účely mohou připadat v úvahu tyto odpady (všechny jsou zařazeny ve skupině ostatní odpady):

- 04 02 21 – odpady z nezpracovaných textilních vláken,
- 04 02 22 – odpady ze zpracovaných textilních vláken,
- 15 01 09 – textilní obaly,
- 20 01 10 – oděvy,
- 20 01 11 – textilní materiály .

Vyhláška č. 383/2001 Sb., Vyhláška Ministerstva životního prostředí o podrobnostech nakládání s odpady [25]

Vyhláška upřesňuje požadavky zákona o odpadech, například uvádí náležitosti žádosti o souhlas k provozování zařízení k využívání, odstraňování, sběru nebo výkupu odpadů a stanovuje požadavky na zařízení k využívání a odstraňování, sběru a výkupu odpadů.

Nařízení vlády č. 197/2003 Sb., o Plánu odpadového hospodářství České republiky [26]

Dokument vydává závaznou část Plánu odpadového hospodářství ČR, který se stanovuje v souladu s principy udržitelného rozvoje a stanovuje cíle a opatření pro nakládání s odpady. Zpracován je na dobu platnosti 10 let, tedy v rozmezí let 2003 – 2012. Základními strategickými cíli jsou snižování měrné produkce odpadů nezávisle na úrovni ekonomického růstu, maximální využívání odpadů jako náhrady primárních přírodních zdrojů a minimalizace negativních vlivů na zdraví lidí a životní prostředí při nakládání s odpady.

4. Druhy textilních vláken

Textilní vlákna jsou na rozdíl od vláken skelných či kamenných vlákní organickými. Jejich tloušťka se pohybuje v rozmezí $10^{-6} - 10^{-4}$ m a délka $10^{-2} - 10^{-1}$ m (nejedná-li se o vlákna nekonečná). Poměr délky k tloušťce vlákna, který se pohybuje v řádech 10^3 , ukazuje, že převládajícím rozměrem je délka. Podle možnosti zpracování rozlišujeme vlákna spřadatelná (neboli staplová), dlouhá více než 10 mm, vlákna nekonečná, dlouhá i několik set metrů a vlákna nespřadatelná (pod 10 mm délky). Nespřadatelná vlákna se v textilním průmyslu dají využívat pouze pro výrobu netkaných textilií, případně jako jedna ze složek kompozitů.

Podle způsobu vzniku a výroby rozeznáváme vlákna přírodní a umělá. **Přírodní vlákna** jsou rostlinného či živočišného původu. Jejich rozměry jsou dány podmínkami růstu vláken a člověk tyto parametry může ovlivnit pouze nepřímo. **Umělá vlákna** dále dělíme na chemická a syntetická. Chemická vlákna jsou textilní vlákna, získaná z přírodních polymerů chemickou cestou. Vlákna syntetická se vyrábí ze syntetických polymerů. Rozměry a tvar umělých vláken je možné měnit úpravou výrobního procesu [27].

V následujícím textu budou popsány jednotlivé typy textilních vláken v duchu uvedeného dělení. Kromě stručného popisu způsobu získávání vláken bude kladen důraz zejména na tloušťku vlákna a jeho teplotní chování. Tloušťka vlákna zásadně ovlivňuje tepelně technické vlastnosti vláknitých materiálů, což bylo prokázáno předchozím výzkumem na FAST VUT v Brně [28]. S klesající tloušťkou vláken klesá také, při konstantní objemové hmotnosti, součinitel tepelné vodivosti. Tento parametr je však velice obtížné sledovat u umělých vláken. Významným hodnotícím kritériem pro použití vláken je také jejich teplotní chování, zejména teplota a způsob hoření. Důležitost spočívá jednak v hodnocení reakce vyráběného materiálu na oheň dle Vyhlášky č. 23/2008 Sb. a jednak v možném úniku toxických či jinak škodlivých zplodin při hoření. Podle reakce na oheň jsme také schopni rychle a jednoduše stanovit převládající druh textilního vlákna v neznámém vzorku tkaniny [29].

4.1. Rostlinná vlákna

Tato vlákna získáváme z různých částí rostlin jako hlavní či vedlejší produkt jejich růstu. Tvořená jsou převážně celulózu. Vlákna se nalézají v semenech (například u kapoku, bavlny či kokosu), lodyhách (len, konopí, juta, ramie, kenaf, kopřiva, klejcha) či listech (sisal, konopí, novozélandský len, agáve, ananas, aloe či rašelina). O technicky významných vláknech bude blíže pojednáno na následujících řádcích [30].

4.1.2. Bavlna

Bavlna je nejrozšířenější průmyslově pěstovanou plodinou na světě s roční produkcí až 20 milionů tun. Roste na více než 1 % veškeré světové výměry zemědělsky obdělávané půdy. Nalézt můžeme celou řadu druhů, přičemž nejrozšířenější je *Gossypium hirsutum* (bavlník srstnatý). Roste zejména ve střední Asii a východní Africe, ale setkat se s ním můžeme téměř po celém světě. Bavlna vykvétá velkými bílými či žlutými květy, ze kterých se po opadnutí vyvíjí tobolek, v době zralosti (45 – 70 dní po odkvětu) pukající. Obsahují drobná, hnědá, olejnatá semena, využívaná na výrobu stolního oleje a mýdla. Osemení je kryté 20 – 60 mm dlouhými, bílými, jednobuněčnými chlupy bavlněných vláken, která slouží jako základní surovina pro textilní a oděvní průmysl. Příze se vyrábí česáním, mykáním, rotorovým či prstencovým zpracováním.

Pro kvalitu vlákna je nejdůležitější délka vlákna (neboli stapl) a stejnoměrnost staplu. Nejjakostnější bavlny (stapl 50 – 60 mm) jsou spíše výjimečné a používají se pro velmi luxusní zboží. Běžně rozšířená kvalitní bavlna (stapl 28 – 40 mm) se používá samostatně či ve směsi s umělými vlákny pro výrobu lehkého tkaného a pleteného svrchního oblečení, spodního a ložního prádla, posteloviny a v mnoha dalších aplikacích. Nejčastější kvalita bavlny je stapl do 28 mm délky. Tato bavlna se používá pro tkaniny, méně náročné na stejnoměrnost a hladkost příze, například džíny, prostěradla, hrubé ručníky, utěrky, atd. Vlákna nejhorší kvality (stapl 11 – 18 mm) se používají na pracovní oděvy nebo čisticí hadry. I přes postupně vytlačování umělými materiály si bavlna stále drží výsadní postavení mezi textilními vlákny se zhruba 30% podílem na trhu [31].

Bavlněné vlákno je tvořeno téměř výlučně celulózu (až 96%). Představuje nejčistší přírodní zdroj celulózy, proto se ho využívá také pro speciální aplikace (například cigaretový papír, bankovní papír nebo jako surovina pro výrobu nitrocelulózy). Tloušťka vlákna se pohybuje v rozmezí **12 – 17 μm**. Co se týče druhého aspektu, který je objektem našeho zájmu, tedy teplotního chování, záleží na tom, v jaké formě bavlněné vlákno do konstrukce zabudujeme. Přírodní bavlna je samozhášivá, přičemž ke vznícení dochází při teplotách kolem 400 °C. Bavlna, která je součástí tkanin, je hořlavá a pokud je vystavena otevřenému ohni, může i vzplanout. Při hoření vydává zápach obdobný hořícímu papíru (ten je způsoben vysokým obsahem celulózy). Dým je šedý nebo bílý. Popel je jemný, snadno se rozpadající, bez spečených kuliček.

Bavlna má pro stavební účely velmi vhodné vlastnosti. Kromě dobrých tepelně a akusticky izolačních vlastností je to zejména její schopnost vlhkostní regulace vnitřního prostředí. Omezujícím faktorem pro použití přírodní bavlny pro izolační materiály je vysoká ekologická náročnost jejího pěstování. Typické je zejména velmi hojné používání chemických pesticidů, herbicidů a defoliantů (slouží k odstranění listů před sklizní plodiny). Tyto přípravky se aplikují desetkrát až dvacetkrát do roka a zatížení životního prostředí, společně se zdravotními riziky pracovníků plantáží, je nedožrnné. Budoucí snahy jsou tedy směřovány

jednak k pěstování transgenní bavlny (bavlny odolné živočišným škůdcům), jejíž produkce je však zatím stále v počátečním stádiu, a zejména k důsledné recyklaci a maximálnímu využití použitých bavlněných vláken.

4.1.2. Len

Len setý je jednoletá, 90 – 130 cm vysoká, modře či fialově kvetoucí rostlina, pěstovaná nejen u nás, ale v mírném pásu téměř na celé zeměkouli. Celková roční světová produkce lnu činí řádově 850 000 tun. Na rozdíl od bavlny je len velice odolný, nenáročný a nepotřebuje žádné ošetření umělými hnojivy ani chemickými přípravky. Co se týče chemického složení, je opět hlavní složkou celulóza s přibližně 80 procenty, dále přibližně 15% tvoří hemicelulózy a 4% pektiny. Vlákná jsou obsažena v kůře ve svazcích, nazývaných technické vlákno. Ty jsou tvořeny 15 – 30 elementárními vlákny, spojenými pektinem do těles délky 20 – 140 cm a tloušťky 200 – 300 μm . Jednotlivá vlákna mají délku obvykle 17 – 40 mm a tloušťku **12 – 17 μm** .

Výhodnou vlastností lnu je, že jej lze zužitkovat celý beze zbytku. Sklizené rostliny se nejprve máčí či rosí. Poté putují na tírnu, kde se pročešou a poté mechanicky lámou, čímž dochází k uvolňování dřevoviny. Následuje potěrání a další pročešávání – vachlování. Těmito procesy se oddělí lněná příze, využívaná v textilním průmyslu (v rostlině je jí cca. 9%) a koudelová příze (7%), dále využitelná v jiných odvětvích. Odpadními produkty jsou pazdeří, použitelné pro výrobu deskových stavebních materiálů, a semena, z nichž se vyrábí lněný olej či fermež.

Z lněné a směšové tkaniny se vyrábí letní svrchní ošacení a letní obuv, používá se také na dekorace, malířské plátno a vazbu knih. Tradiční prostěradla, ubrusy a utěrky ve stále větší míře nahrazují levnější výrobky z bavlny a umělých vláken. Výroba lněné příze se v ČR stále méně vyplácí, mimo jiné proto, že je spojena s poměrně vysokým podílem lidské práce v nepříjemném prostředí.

Tkanina z lněného vlákna je snadno hořlavá. Pokud plamen působí delší dobu, dochází ke vznícení. Lze ji snadno uhasit sfouknutím. Ostatní vlastnosti jsou podobné jako u konopí a juty (viz. dále).

4.1.3. Konopí

Konopí je dalším zástupcem plodin, hospodářsky pěstovaných i na našem území. Je to dvoudomá rostlina, dosahující výšky až 4,5 metru. Složená je ze 75% z celulózy, 18% hemicelulózy a 4% ligninu. Vláknó získáváme ze stonku. Je hrubší, tmavší a poněkud pevnější než len. Zpracování a použití vznikajících produktů je obdobné jako u lnu, opět tedy lze využít všechny části rostliny a nevzniká odpad. Průměrná délka vlákna je 20 mm a tloušťka vlákna **22 μm** .

Konopná tkanina hoří snadno a rychle jasným plamenem, přičemž se uvolňuje zápach jako při pálení listů či dřeva. Hoření je dokonalé bez nedohořelých natavených zbytků, popel má šedou barvu.

Konopí je jednou z nejstarších kulturních plodin. Již kolem roku 2800 před Kristem bylo v Číně používáno jako lék proti malárii, revmatizmu a mnoha dalším chorobám. Z konopného vlákna se vyráběly látky na oděvy, ale i papír či velmi pevné plachty a lana pro lodě. Úpadek v pěstování nastal v 19. století, s ohledem na rozšíření parního stroje jako pohonu lodí. Co se týče oděvního průmyslu, bylo konopí postupně vytlačeno bavlnou či lnem, které se, na rozdíl od něj, daly sklízet mechanizovaně. V současnosti se konopí začíná znovu ve větší míře pěstovat, především v západní Evropě a v Kanadě, jako alternativní plodina, která může pomoci v řešení ekologických problémů naší planety. Jeho světová produkce dnes činí 214 000 tun ročně.

V jeho prospěch hovoří například to, že z konopného lánů sklídíme každým rokem i 4x více celulózy s nižším obsahem ligninu, než ze stejně velké plochy lesa, který navíc roste desítky let. V některých oblastech můžeme konopí sklízet i 2x do roka. Rostlina svým rychlým růstem zastíňuje půdu, čímž zabraňuje rozšíření plevelu. Obsahuje také látky, které odpuzují hmyz, při jejím pěstování tedy není nutné používat žádné herbicidy či insekticidy. Je navíc velmi nenáročná, proto může být vysazována opakovaně na stejném místě. Z 1 hektaru je možné získat až 12 tun suroviny. Konopné vlákno má také ze všech přírodních vláken nejvyšší odolnost vlivům povětrnosti [32].

I v ČR se již množství využívaného konopí opět pomalu zvyšuje. Například firma Canabest [33] jej používá se pro výrobu velmi kvalitních izolačních materiálů. Materiál má kromě vynikajících tepelně a akusticky izolačních vlastností také schopnost regulovat vlhkost ve vnitřním prostředí, při práci se snadno řeže a nevyžaduje ochranné pomůcky. Neobsahuje žádné bílkoviny, proto nepodléhá hnilobě ani škůdcům. Je zdravotně nezávadný, protože neobsahuje formaldehydy ani těžké kovy a je plně recyklovatelný. Zejména však kvůli záporné bilanci CO₂ přispívá k ochraně klimatu. Díky vyšší ceně oproti běžně používaným materiálům a zřejmě také určitým předsudkům veřejnosti se mu však prozatím nedostalo takového uplatnění, jaké by si pravděpodobně zaslouhoval.

4.1.4. Juta

Juta je nejlevnější textilní surovinou. Je to jednoletá, až 5 metrů vysoká rostlina, rostoucí ve vlhkých tropických podmínkách v Číně, Indii, Bangladéši, Thajsku a Vietnamu. S roční produkcí 2,85 milionu tun se jedná o druhé nejrozšířenější textilní vlákno po bavlně. Chemické složení je opět s převahou celulózy (72%), následují hemicelulózy a lignin (po 13%). Technické vlákno je 1,5 – 4 metry dlouhé a silně zdřevnatělé (díky vysokému obsahu ligninu), elementární vlákna mají délku 1 – 5 mm a tloušťku **15 μm**. V plameni se juta chová obdobně jako len či konopí.

Vlákna se získávají z lýka (které se musí ručně loupat). Další zpracování je podobné jako u lnu. Vlákno výborně odolává mikroorganismům. Účinkem světla, tepla a vlhka se uvolňují elementární vlákna, což znamená, že z jutových výrobků se značně práší.

Hrubé jutové tkaniny se používá nejčastěji jako pytloviny, podkladové tkaniny na vsívané koberce a kompozity a také pro dekorační tkaniny. Ve stavebnictví má juta také široké uplatnění. Používá se jako výztužná vrstva do omítkových vrstev, jako separační vrstva a zejména jako geotextilie, velmi výhodně použitelná pro protierozní úpravy svahů. Jutová tkanina zadržuje vodu, chrání rostlinná semena před přímým slunečním svitem, ptáky a zvěří, umožňuje průchod světlu a vzduchu a po zakořenění vegetace se po nějaké době sama neškodně rozloží.

4.1.5. Ostatní rostlinná vlákna

Pro úplnost budou uvedena také rostlinná vlákna, která se u nás technicky nevyužívají, zejména vlákna původem z exotických zemí, jejichž dovoz by byl ekonomicky neefektivní. V místech své produkce však zpravidla plní velmi důležitou úlohu nejen při výrobě textilu.

Kokos, rostoucí na plamách, je dalším relativně významným zdrojem vlákna s roční produkcí 650 000 tun. Ochrannou schránku plodiny tvoří pevná skořápka, pokryta vlákny. Po rozloupnutí kokosu a vysušení na slunci se vlákna samovolně oddělují. Poté se vlákna po dobu 6 měsíců namáčí a po vysušení se zpracovávají vzájemným proplétáním a stlačováním. Vlákno je tvořeno zejména celulózou a ligninem (po 45%), další 4% tvoří pektiny. Právě díky vysokému obsahu ligninu vyniká kokos velkou pevností (největší ze všech celulózových vláken) a také vysokou tvrdostí. Délka typického elementárního vlákna je 0,3 – 1 mm a tloušťka 12 – 14 μm . Kokos má nízkou hodnotu součinitele tepelné vodivosti ($\lambda = 0,043 - 0,045 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$). Jeho použití spočívá zejména ve výrobě geotextilií a rohoží (mimo jiné také rohožek pro čištění obuvi u vstupu do domu nebo bytu). Ve stavebnictví se používají také izolační desky, zhotovené jako sendvič, složený z vrstev kokosových vláken a expandovaného korku.

Sisal je vlákno, získané z listu *Agave sisalana*, rostoucího zejména ve střední Americe. Pro výrobu tkanin ho využívali již staří Aztékové. Současná produkce se pohybuje kolem 378 000 tun za rok. *Agave* má silné, dužnaté listy, které se sklízí po 2 – 4 letech růstu. Listy mají sendvičovou strukturu a v každém je 700 – 1400 technických vláken. Ta jsou 60 – 120 cm dlouhá. Elementární vlákna jsou dlouhá 2,5 – 8 mm a mají průměr 12 – 40 μm . Společně s kokosem je sisal řazen do skupiny vláken tvrdých, velmi pevných. Složen je ze 75% z celulózy, z 15% z hemicelulóz a z 10% z ligninu. Používá se na výrobu papíru, lan a provazů a jemnější druhy také na kobercové příze.

Ramie, neboli čínská tráva, se pěstuje zejména v Číně a na Tchajwanu. Obvazy z ní vyrobené byly nalezeny na egyptských mumiích, starých 7000 let. Je to mnoholetá rostlina,

vysoká 1,2 – 2,4 metru. Převážnou část opět tvoří celulóza a hemicelulózy (80% a 15%). Technické vlákno má délku 50 – 400 cm, elementární vlákno 30 – 100 mm a tloušťku 15 – 40 μm . Roční produkce dosahuje 170 000 tun. Používá se na mnoho druhů oděvních a technických tkanin.

Kapok je jednobuněčné vlákno ze semen tropických stromů, rostoucích v Africe a Asii. Vlákna jsou složena z 60% z celulózy, z 25% z hemicelulóz a z 10% z vody. Mají velmi vysoký obsah vzduchu, na vodě plavou (uvádí se, že unesou 36 x svoji váhu). Za rok se jich vyprodukuje 123 000 tun. Vlákno je velmi vhodné jako výplň do matrací, polštářů a jako izolační materiál. Dříve se s jím plnily také plovací vesty.

Kenaf je jednoletá, zhruba 3 metry vysoká rostlina, rostoucí především v Indii, Bangladéši a Thajsku. Vlákno, získávané ze stonku, je chemickým složením i vlastnostmi podobné jutě. Používá se jako pytlovina, resp. náhrada juty. V současnosti se kenaf začíná používat také jako levný a obnovitelný materiál pro přímou výrobu tepelně a akusticky izolačních desek.

Kopřiva se dříve pěstovala zejména ve Skandinávii jako zdroj kvalitního vlákna pro výrobu plachet lodí. K získávání vlákna je vhodná *Utrica dioica*, velká kopřiva, která se jako trvalka pěstuje zejména v Německu a Francii. Po sklizni se od zdřevnatělého stonku loupe kůra, ze které se vlákna oddělují. Technická vlákna jsou dlouhá až 1 m, elementární 5 cm.

Abaca (manilské konopí) je rostlina, příbuzná banánovníku, rostoucí zejména na Filipínách. Rostlina má svazek listových stonků, složených ze zdřevnatělého jádra, obaleného překrývajícími se tenkými vrstvami, ve kterých je obsaženo vlákno. Technická vlákna jsou dlouhá až 4,5 m, elementární 6 mm. Vlákna obsahují 77% celulózy a 10% ligninu. Používají se zejména pro výrobu papíru (čajové sáčky) a lan, která odolávají mořské vodě.

4.2. Živočišná vlákna

Na rozdíl od přírodních vláken, složených zejména z celulózy, jsou vlákna živočišná tvořena na bázi bílkovin. Získáváme je buď ze srsti zvířat (vlna), nebo ze sekretu hmyzu (hedvábí) [34].

4.2.1. Vlna

Vlna je vlákno, získávané ze srsti zvířat. Je tvořeno keratinem, tedy stejnou látkou, ze které se skládají také lidské vlasy. Pro získávání vlny jsou nejvíce využívány zvířaty ovce, proto se budeme zabývat převážně vlnou ovčí.

Na světě žije asi 1,2 miliardy ovcí. Nejvíce z nich je chováno v Číně (170,8 milionu) a v Austrálii (106 milionů). V ČR žije 209 052 ovcí (údaj z roku 2011) [35]. Každá dospělá ovce ročně vyprodukuje 2,5 – 5 kg vlny, podle druhu, stáří a pohlaví ovce. Přibližná roční produkce tedy činí 2,2 milionu tun. Vlna se získává ve formě rouna stříháním živých ovcí,

kterým postupně dorůstá vlna nová. Získáváním ovčí vlny se tedy nesnižuje stav žádného přírodního zdroje. Stříhá se zpravidla jednou do roka, některá plemena lze stříhat i dvakrát ročně.

Rouno je tvořeno souvislou vrstvou srsti, spojenou vlasovým tukem a potem. Z různých částí těla ovce získáváme rouno různé kvality. Nejvyšší kvalitu vlákna nalezneme na lopatkách a bocích, naproti tomu nejhorší kvalitu získáme za hlavou ovce. Rouno obsahuje velké množství nečistot. Jsou to pot a močovina, ovčí tuk, prach, trus, a náhodné nečistoty, například rostlinné zbytky. Typická skladba ovčí vlny je 60% vlákna, 5% nečistot, 15% vlhkosti, 10% tuku a 10% potu. Nečistoty se odstraňují opakovaným praním ve vodě o teplotě 40 °C s přidávkou 0,5 g pracího prášku a 1 g sody na 1 litr vody. Praním se separují nečistoty a lanolin. Lanolin tvoří ovčí tuk s obsahem voskového podílu. Skládá se z 65% z vosku, 15% parafinového oleje a 20% vody. Má široké využití v kosmetice, textilním a kožedělném průmyslu a lékařství. Typickými produkty jsou nejrozličnější krémy či vosky, chránící proti vodě.

Tloušťka vlákna ovčí vlny je silně ovlivněna druhem ovce, nejčastěji se pohybuje v rozmezí **25 – 45 μm**, ale existují i výjimky. Délka vláken je dána délkou růstu srsti a druhem ovce, řádově se pohybuje v rozmezí 20 – 80 mm. Ovčí vlna je nehořlavá. Má zápalnou teplotu 560 °C a samozhášecí schopnost. Při vyšších teplotách se škvaří, přičemž vydává silný zápach pálicích se vlasů či peří a produkuje tmavý kouř a mírný dým. Popel obsahuje velké kusy tmavých, křehkých, nespálených vláken.

Ovčí vlna je již po staletí jednou ze základních surovin pro oděvní a textilní průmysl. Zpracovává se česáním nebo mykáním. Většina česaných vlněných přízí se mísí s umělými vlákny, méně často s vlnou jiných zvířat. Používají se zejména na lehké tkané či pletené svrchní oděvy. Mykaná příze se používá na výrobu hrubších svrchních oděvů a též jako kobercová příze a výplň prošíváných dek a polštářů. V poslední době, kdy dochází ke stále většímu rozšíření umělých vláken, vzniká ve světě přebytek ovčí vlny. Jedním ze způsobů zpracování těchto přebytků je využití surových vláken ve stavebnictví pro výrobu tepelně a akusticky izolačních rohoží. Toto využití podporují velmi dobré sorpční vlastnosti ovčí vlny. Ta je schopna naakumulovat až 30 % vlhkosti bez výrazného zhoršení tepelně izolačních schopností a poté ji opět bezpečně uvolňovat do vnitřního prostředí. K dalším výhodným vlastnostem patří nízký součinitel tepelné vodivosti ($\lambda = 0,038 - 0,050 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) a trvalá pružnost. Ovčí vlnu lze také využívat pro čištění ovzduší interiéru od některých škodlivin, neboť je schopna trvale pohlcovat například formaldehyd, organická ředidla či ozon. Po nasycení škodlivinami je však nutné ji vyměnit. Na českém trhu jsou k dostání například výrobky Rakouské firmy Isolena [36], zhotovené technologií kolmého vlákna (viz. dále).

Mezi další druhy vlny patří například vlna velbloudí, získávaná z velbloudů Dromedára (africký) a Bactriana (asijský), sloužící pro výrobu speciálních obleků. Kašmír, tedy srst kozy kašmírské, je jedna z nejdražších textilních surovin, používaná na výrobu

jemných šátků. Mohér, srst kozy angorské, má vysoce lesklá, dlouhá vlákna s extrémně vysokou odolností proti opotřebení a menší plstivostí. Vlna z alpaky (druh lamy) jsou dlouhá, lesklá a jemná, podobných vlastností, jako mohér. Vlákna angorská, získávaná z angorských králíků, mají ve vlákně vzduchové kapsy, takže mají vynikající tepelně izolační vlastnosti. Vlnu lze získávat také ze srstí vikuně, lamy či kozy obecné.

4.2.2. Hedvábí

Jako pravé hedvábí je označován výměšek snovacích žláz housenek bource morušového – nočního motýla z rodu lišajů. Životní cyklus bource morušového je následující: z vajíčka se vylíhne housenka. Za 25 – 38 dní dosáhne dospělosti. Za tu dobu sní až 30 000 násobek své počáteční hmotnosti. Jako potrava slouží morušové listí, proto má pravé hedvábí žlutošedou barvu. Dospělé housenky přestanou jíst a začnou tvořit kokon. To jim trvá 3 – 4 dny. Kokon je tvořen fibroinem, látkou, rychle tuhnoucí na vzduchu. Housenka najednou vylučuje 2 vlákna, která slepuje hedvábným kličem – sericinem. Poté v kokonu spí po dobu 15 – 20 dní. Po opuštění kokonu motýl žije 3 dny, naklade vajíčka a umírá. Přírodní hedvábí získáváme rozvinutím prázdných kokonů. Z jednoho kokonu jej získáme 3 – 4 km. Jedná se o jediné přírodní nekonečné vlákno. Postupujeme tak, že kokon vhodíme do vroucí vody, která narušuje sericin (který tvoří 15 – 25% hmotnosti kokonu) a odděluje konce hedvábí. Svazky hedvábí odmotáváme a navíjíme na přádena.

Ačkoliv je hedvábné vlákno díky své vysoké ceně stále více vytlačováno syntetickými náhražkami, jeho použití v oděvním průmyslu je dosud široké, zejména pro exkluzivnější výrobky. Tloušťka vlákna je v porovnání s ostatními přírodními vlákny malá, dosahuje pouze **13 – 15 μm** . V ohni se chová podobně jako vlna. Hoří velmi pomalu a je samozhášivé. Zanechává popel v podobě hrubého, tmavého prášku. Při hoření vydává zápach pálicího se masa nebo vlasů a nepatrné množství kouře.

Dalším původcem hedvábí je bourec dubový. Toto hedvábí je plané a nazývá se tussah. Protože se housenky živí i dubovým listím, má hnědou barvu. Vlastnosti má podobné jako pravé hedvábí, je však hrubší, silně spleené a málo stejnoměrné. Používá se nejčastěji ve směsi s bavlnou. Určitou formu hedvábí produkují také pavouci, které však nelze domestikovat.

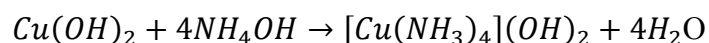
4.3. Vlákna chemická

Chemická vlákna jsou definována jako textilní vlákna, získaná chemickou cestou z přírodních polymerů. Nejčastějším přírodním polymerem pro tento účel je celulóza. Rozlišujeme vlákna z regenerované celulózy a z derivátů celulózy. Podstatou vláken z regenerované celulózy je čistá celulóza, a proto jsou jejich vlastnosti obdobné vláknům z přírodní celulózy. Radíme sem vlákna viskózová, měďnato-amonná a lyocelová. Naproti

tomu vlákna z derivátů celulózy mají vlastnosti již značně odlišné od vláken z přírodní celulózy, například jsou termoplastická a méně navlhavá. Do této skupiny patří zejména různé druhy vláken acetátových. Vyrábí se také vlákna bílkovinná, a to jednak regenerovaná z bílkovin živočišných (kaseinová, keratinová, fibroinová), ale také regenerovaná z bílkovin rostlinných (vlákna sojová, zeinová). Bílkovinná vlákna jsou však textilně prakticky nevýznamná (tvoří přibližně 0,1 % světové spotřeby vláken), proto se jimi nebudeme dále zabývat [37].

4.3.1. Měďnato-amonná vlákna

Principem výroby je rozpouštění celulózy v CUOXAMU, tedy hydroxidu tetraamonněďnatém podle rovnice:



Pro výrobu je zapotřebí velmi čisté celulózy (minimálně 96 %). Jako surovina se používá linters, tedy nespřadatelná vlákna, pokrývající semena bavlny po odsemenění, nebo vyvařené a vybělené čistě bavlněné zbytky z výroby bavlněného zboží. Zvláknování se provádí dvěma způsoby:

- a) **Dvoustupňová koagulace** – prvním stupněm je srážení v proudící vodě. Vznikající gel se orientuje a výrazně protahuje (až 80x). Druhým stupněm je kyselá lázeň H_2SO_4 , ve které dochází ke srážení celulózy. Vznikají jemná, dobře vláknitá, ale málo pevná vlákna.
- b) **Alkalické zvláknování** – principem je koagulace a zvláknování v lázni NaOH. Vznikají tak hrubší a pevnější vlákna.

V ohni materiál není stabilní. Již při 150 °C ztrácí pevnost, při 170 – 205 °C nastává rozklad. Dříve se hojně používal na dámské pavučinkové punčochy a spodní prádlo, dnes se z něho vyrábí pouze oděvní doplňky a jeho použití je spíše okrajové.

4.3.2. Viskóza

Je nejrozšířenější chemické vlákno se světovou roční produkcí zhruba 3,8 milionu tun. Jako surovina slouží smrkové či bukové dřevo, rozeleté na štěpky. Štěpky se namáčí na několik hodin do lázně 17% roztoku NaOH, jehož působením na celulózu vznikne alkalichelulóza. Následuje xantogenace, tedy působení sirouhlíku C_2S na alkalichelulózu po dobu 50 – 60 hodin. Výsledným produktem je xantogenát celulózy, kyprá hmota, ze které následným rozpuštěním v zředěném NaOH vzniká viskóza, viskózní zlatavo – hnědý roztok,

podobný medu. Poté se viskóza zvláknuje v roztoku H_2SO_4 , ZnSO_4 a Na_2SO_4 za současného zpětného vylučování C_2S . Vlákenná hmota prochází tryskami, jejichž velikost určuje průměr hotového vlákna. Současně se zvláknováním, ještě v plastickém stavu, se vlákno dluží, čímž se zvětšuje jeho orientace a pevnost, případně se dále chemicky upravuje či stříhá na staplovou délku.

Vlákno viskózy má podle velikosti zvolené trysky průměr **10 – 50 μm** . Je dobře hořlavé, počátek destrukce nastává již při 174 – 190 °C. Hoří bez plamene a netaví se, přičemž vydává zápach podobný hořícímu papíru. Zanechává jemný, šedý popel. Unikavší zplodiny jsou mírně nebezpečné.

Viskózová vlákna dnes tvoří 80% produkce chemických vláken z přírodních polymerů. Výroba započala na začátku minulého století s cílem nahradit přírodní hedvábí a později bavlnu a vlnu. Hlavní rozvoj nastal za obou světových válek, kdy se v Evropě jednalo o téměř jedinou dostupnou textilní surovinu. Použití viskózy je velice široké. Vyrábí se z ní všechny oděvy, které mají mít vlastnosti podobné přírodnímu hedvábí, ale mají být levnější, tedy například dámské šaty, halenky či podšívky do bund. Viskóza se velmi dobře mísí s bavlnou, vlnou či syntetickými vlákny, proto se její větší či menší podíl vyskytuje v převážně většině svrchního ošacení. Důvodem jejího masivního rozšíření se stala velice příznivá cena (je zhruba 2x levnější než bavlna a 4x levnější než ovčí vlna), a to i přes ekologicky neúnosný způsob její výroby. Na 1 tunu viskózových vláken se spotřebuje přibližně 6 m^3 dřeva a 2 tuny chemikálií.

4.3.3. Lyocelová vlákna

Obrovská ekologická zátěž při rozpouštění celulózy, potřebné k výrobě viskózy a vysoká toxicita C_2S vedly k hledání jiných, ekologicky příznivějších postupů k dosažení stejného nebo podobného výsledku. Výsledkem byl právě lyocel. Jako rozpouštědlo je použit N - metylmorfolin - N oxid (NMMO). Díky silnému dipólu N – O lze celulózu fyzikálně rozpouštět ve vodném roztoku. Prvním krokem výroby je příprava roztoku. Ten se skládá z 8 – 20% celulózy, 75 – 80% NMMO a 5 – 12% vody. Tímto roztokem rozpouštíme dřevěné štěpky, stejně jako je tomu u viskózy. Po rozpuštění kapalina prochází přes zvláknovací trysky do srážecí lázně. Zde dochází ke koagulaci a dloužení. Lázeň obsahuje kromě vody také polární rozpouštědla (například etanol) nebo bobtnadla (NaOH , ZnCl_2). Tím lze upravovat krystalickou strukturu a příčnou homogenitu. Po dokončení zvláknování se z vláken vypírá rozpouštědlo (NMMO), které se dále recykluje a téměř 100% znovu využívá. Ekologická zátěž je tedy výrazně nižší, než je tomu u viskózy.

V praxi se lyocelová vlákna využívají samostatně, ale častěji ve směsi se lnem, bavlnou, vlnou či polyesterem na celou řadu oděvních i textilních aplikací (v podstatě ve všech případech, kde by jinak mohla být použita viskóza). Světová roční produkce činí zhruba 130 000 tun.

4.3.4. Acetátová vlákna

Jedná se o vlákna z esterů celulózy. Rozlišujeme částečně esterifikovaná vlákna, rozpustná v acetonu ($\text{CH}_3 - \text{CO} - \text{CH}_3$), nazývaná pouze acetát (též semi-diacetát) a plně esterifikovaná vlákna, rozpustná v roztoku metylénchloridu (CH_2Cl_2) nazývaná triacetát.

Acetát (DAC) se vyrábí z velice čisté celulózy (97 – 99%), tedy téměř výhradně bavlněný linters, případně polynozická vlákna. Následným krokem je acetylace. Celulóza se nechá nabobtnat v roztoku ledové CH_3COOH (kyseliny octové), H_2SO_4 a $\text{CH}_3\text{-CO-O-OC-CH}_3$. Při této silně exotermní reakci, probíhající při teplotě $20\text{ }^\circ\text{C}$ 7 – 8 hodin, dochází k částečně depolymerizaci. Následně surovinu částečně zmýdelníme zředěnou CH_3COOH při $40\text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 20 hodin. Vyrobíme spřádací roztok (85% acetonu a 15 % $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) a zvláknujeme. Dříve se používala metoda mokrého zvláknování do vody, současná výroba však využívá metodu suchého zvláknování při teplotě $60 - 80\text{ }^\circ\text{C}$, při níž dochází zároveň k sušení vlákna a odpařování rozpouštědla, které je možné až z 97% znovu využít. Stabilizace vláken probíhá v páře nebo na vzduchu.

Triacetát (TAC) se vyrábí obdobným postupem, pouze se vynechává zmýdelnění. Triacetát se rozpouští v roztoku $\text{CH}_2\text{Cl}_2 + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (metylénchlorid a etylalkohol) na rozdíl od DAT je zde možnost zvláknování z taveniny (bod tání $255\text{ }^\circ\text{C}$)

Acetát je lehčí než přírodní hedvábí, kterému se podobá vzhledem i omakem a které má za úkol nahradit. Má zhruba poloviční pevnost, ale zato je několikanásobně levnější. Používá se jako čistý nebo ve směsi s polyamidem či polyesterem pro výrobu dámských svrchních oděvů, pánských kravat či podšívek bund. Dalšími okruhy využití jsou cigaretové filtry či elektroizolace.

Acetát je termoplastický (to znamená, že při zvýšených teplotách měkne). Teplota měknutí je u DAC $175 - 190\text{ }^\circ\text{C}$ a u TAC $225\text{ }^\circ\text{C}$. Rozklad nastává u DAC při $255\text{ }^\circ\text{C}$, u TAC při $300\text{ }^\circ\text{C}$. Je snadno zápalný, ale hoří pomalu. V blízkosti plamene se taví, na konci se tvoří tvrdé černé kuličky. Při hoření vydává typický štiplavý zápach podobný octu.

4.4. Vlákna syntetická

Jedná se o vlákna, vyráběná ze syntetických polymerů. Jejich základem je vždy monomer, který je polymerizačními reakcemi polymerizován. Z malých jednotek tak vznikají dlouhé řetězce – **polymery**. Základními polymerizačními metodami jsou stupňovité reakce polykondenzace, polyadice a řetězová polymerace. Syntetická vlákna již dnes představují nejdůležitější skupinu textilních vláken a jejich význam stále stoupá. Ostatní vlákna vytlačují svou mnohdy nižší cenou a zejména některými speciálními vlastnostmi, kterých jiná vlákna nedosahují, například velmi vysokou mechanickou odolností, pružností a trvanlivostí. Mají však i jisté nevýhody. Z nich můžeme uvést zejména velmi špatné chování za vysokých teplot (hmoty teplem měknou a taví se, při hoření často uvolňují jedovaté zplodiny), degradaci

působením UV záření a v neposlední řadě také ekologickou zátěž při výrobě a nesnadnou recyklaci. V současnosti nejvíce rozšířena jsou vlákna polyamidová, polyesterová a akrylová [38].

4.4.1. Polyamidová vlákna

Svou chemickou podstatou se polyamidová vlákna blíží vlně, hlavní surovinou pro jejich výrobu však je ropa. Vyrábí se polykondenzací ve dvou základních provedeních, a to jako polyamid 6 a polyamid 6.6. Vznikla celá řada dalších forem, kromě polyamidu 11 (potazmo 12) však již nenašla významnější uplatnění. Světová produkce se pohybuje kolem 4 milionů tun ročně a spíše mírně klesá. Univerzálností použití byl totiž polyamid překonán polyesterem a výrobní cenou dále polypropylenem.

Polyamid 6 (PAD 6) je znám pod obchodními názvy Perlon (Německo), Kapron (Rusko) či Nylon 6 (USA). Pod názvem Silon se vyráběl až do začátku 90. let minulého století také v Československu. Surovinou pro jeho výrobu je Fenol, který se dále upravuje na kaprolaktam. Směs kaprolaktamu s vodou se zahřívá v inertní atmosféře a při 270 °C se bez přístupu vzduchu taví. Tavenina se tvaruje v protlačovacích tryskách a je odtahována chladicí šachtou. Následně se dluží za tepla či za studena.

Polyamid 6.6 (PAD 6.6), dodávaný pod názvy Nylon (USA) či Anid (Rusko), se vyrábí mísením metanolových roztoků kyseliny adipové a hexametyléndiaminu za varu. Vzniká nylonová (AH) sůl. Polykondenzace probíhá v roztoku 60% AH soli ve vodě, ohřevem v autoklávu na 260 – 280 °C. Reakce trvá 4 – 16 hodin. Při 270 °C dochází k tavení a poté opět k průchodu protlačovacími tryskami. Oproti PAD 6 krystalizuje výrazně rychleji, proto je třeba jej v chladicí šachtě ofukovat vodní párou. Posledním krokem je opět dlužení.

Z technického hlediska je výhodnější vlákno PAD 6.6. Vyniká vyšší pevností, menší nasákavostí a také vyšší teplotou tání (256 °C oproti 220 °C) Společnými vlastnostmi jsou vysoká odolnost proti odření a trhání a snadná tvarovatelnost, naproti tomu ale také sklony k fotodegradaci (již zmiňované působení UV záření) a značná citlivost k vyšším teplotám (již při 90 – 100 °C dochází k poklesu pevnosti). V plameni snadno a rychle hoří, přičemž mají tendenci tát. Jsou samozhášivá, ale vznikající tavenina, stejně jako unikající dým, je velmi nebezpečná. Po hoření nevzniká popel, pouze tvrdé černé kuličky. Uvolňovaný zápach připomíná celer.

Polyamidová vlákna se využívají ve velmi široké škále aplikací, od kobereců a dopravních pásů, přes spací pytle a lezecké karabiny až po svrchní oblečení, jemné dámské punčochy, spodní prádlo a plavky. Jejich modifikací dále vznikají **Aramidová vlákna** (napojením aromatických struktur na polyamidový řetěz), která vynikají zvýšenou odolností proti teplotám (bod tání kolem 400 °C) a vysokou pružností (obchodní značka Nomex). Dalším vývojovým stupněm jsou tzv. para-aramidy, které mají mimořádně vysokou pevnost a využívají se pro speciální aplikace (obchodní značky Kevlar a Twaron).

4.4.2. Polyesterová vlákna

Polyester je současně nejvíce rozšířeným textilním vláknem s více než 40% zastoupením na trhu a jeho obliba stále stoupá. Roční produkce překročila 32 milionů tun. Klasickým PES vláknem rozumíme **polyetylentereftalát (PET)**. Jeho výrobní surovinou je opět ropa, konkrétně z ní získaná kyselina tereftalová a etylenglykol. Způsob výroby je obdobný jako v případě polyamidu, tedy katalyzovaná polykondenzace při 220 – 270 °C. Vláknem získáváme zvlákňováním z taveniny přes protlačovací trysky a následným dloužením a fixací. Dalšími, méně rozšířenými PES vlákny, jsou například polytrimetylentereftalát (PTT) či polybutylentereftalát (PBT).

Stejně jako PAD vlákna má také PES velmi dobré mechanické vlastnosti a odolnost proti oděru, na rozdíl od něho ale lépe odolává teplotám (teplota měknutí je až 230 °C, teplota tání 258 °C), je stáejší na světle a povětrnosti a také lze velmi snadno modifikovat jeho vlastnosti přidáním malého množství různých chemikálií. V ohni rychle hoří, čímž se smršťuje a stejně jako PAD tvoří tvrdé černé kuličky. Uvolňuje lehce nasládlý, chemický zápach. Nezanedává žádný popel, ale jeho černý dým a zplodiny jsou velmi nebezpečné.

PES je velice trvanlivý materiál, který lze použít prakticky do všech produktů textilního a oděvního průmyslu s výjimkou dámských punčoch, například pro výrobu dámského i pánského svrchního ošacení (často ve směsi s jinými textilními vlákny), na záclony a závěsy, kravaty či výplně do bund. Duté vlákno se užívá pro výplně do dek a polštářů, kde nahrazuje peří. Vlákna se zvýšenou orientací molekul se využívají pro velmi namáhané materiály, například pneumatikové kordy či dopravní pásy. Používají se obchodní názvy Terylene, Tesil, Diolen, Dacron, Trevira, Slotera a podobně.

4.4.3. Akrylová vlákna

Základní složkou těchto vláken jsou akrylonitrilové jednotky (PAN). Výchozí surovinou je Akrylonitril $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CN}$, jedovatá kapalina, která se dále zpracovává polymerací. PAN nelze zvlákňovat z taveniny, protože se rozkládá. Zvlákňování probíhá za sucha z roztoku v dimethylformamidu (DMF) při 80 – 150 °C, za mokra v koagulační lázni s vodou a DMF, či kombinací uvedených způsobů (metoda dry-jet-wet).

Akrylátová vlákna mají oproti ostatním syntetickým vláknům menší odolnost proti oděru a sklon ke žmolkování, vynikají však dobrými tepelně izolačními vlastnostmi, dostatečnou odolností proti UV záření a také nižší cenou. Při teplotě 235 °C začínají měknout, postupně dochází ke srážení. Jsou vysoce hořlavá. V žáru mají tendenci odkapávat. Tavenina je, stejně jako dým a zplodiny, vysoce nebezpečná. Při hoření vydávají silný, štiplavý zápach, podobný rybímu pachu.

Rozeznáváme dva základní druhy PAN vláken. **Vlákna pravá** obsahují více než 85% PAN jednotek. Svými vlastnostmi se velmi podobají vlně, proto je nejčastější využití právě ve

směsi s vlnou pro pletářské příze a pletené výrobky, ale kromě toho také na pokrývky, čalounické výrobky, koberce či plyšové hračky. Kvůli špatné barvitelnosti jsou často vyráběny jako kopolymery (**modakrylová vlákna**) s obsahem PAN jednotek 50 – 85%, přičemž zbytek tvoří nositel barvitelné složky, zpravidla metakrylát. Můžeme se setkat s obchodními názvy Orlon, Acrilan, Leacryn N, Dralon X či Dolan.

4.4.4. Další syntetická vlákna

Syntetických vláken existuje i vzhledem k současným trendům velké množství a celá řada z nich má velmi specifické vlastnosti pro konkrétní účel použití. Uvedeno bude pouze několik významnějších materiálů.

Polypropylen (PP) se vyrábí koordinační stereospecifickou polymerací propylénu $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH}_3$ při 100 °C a tlaku 3 MPa. Zvláknuje se z taveniny, dále probíhá chlazení v dlouhé šachtě a dloužení. Je trvanlivý, odolný proti oděru a velmi lehký, ale také teplotně nestabilní a málo odolný proti UV záření. Používá se pro výrobu technických textilií, koberců, pleteného termoprádla či jemných ponožek.

Elastan je polymer s obsahem nejméně 85% segmentovaného polyuretanu. Vyznačuje se tím, že se po natažení protáhne až na trojnásobek své původní délky a po uvolnění se opět vrátí do původního stavu. Vyrábí se zvláknováním za sucha (převážně) či tavným zvláknováním. Používá se na svrchní či sportovní oděvy, potahy, dámské spodní prádlo, plavky či punčochy. Používají se výhradně ve směsích v podílech do 10%. Do směsí se zatkávají napjaté až k mezi průtažnosti. Dostupně jsou pod obchodními značkami Spandex, Lycra či Dorlastan [39].

5. Technologie pojení vláken

Existuje celá řada způsobů netkaného spojování textilních vláken. Pro úplnost bude proveden výčet všech základních možností, podrobněji rozvedeny budou pouze technologie, vhodné pro výrobu izolačních materiálů ve stavebnictví. Rozeznáváme pojení mechanické, chemické a termické [40].

5.2. Mechanické pojení

Principem mechanického zpevnování je působení mechanické energie na rouno. Nejrozšířenější technologií je vpichování (needlepuching), které se hodí i pro účely výroby izolačních materiálů a proto o něm bude pojednáno podrobněji. Okrajově budou zmíněny také další mechanické technologie zpevnování paprsky vody (spunlanced) a proplétání (stitchbond).

5.2.1. Vpichování

Vpichování patří k nejstarším a dosud nejpoužívanějším způsobům netkaného spojování vláken. Podstatou vpichování je provazování vlákenné vrstvy svazky vláken, vzniklými přeorientací části vláken účinkem průniku jehel s ostny. V průběhu vpichování dochází také k podstatné redukci tloušťky vlákenné vrstvy, k výrazné přeorientaci všech vláken a ke změnám délky i šířky útvaru.

Vlákenná vrstva je přiváděna vstupním zařízením mezi dva perforované rošty. Otvory v roštích pronikají periodicky vpichovací jehly umístěné v jehelné desce. Ostny jehel zachytávají skupiny vláken vrstvy, přeorientovávají je kolmo k vrstvě a protahují vrstvou. Vrstva je posunována odtahovými válci po spodním roštu, tzv. opěrném. Při zpětném pohybu soustav jehel zabezpečí vrchní, tzv. stěrací rošt vysunutí jehel z vlákenné vrstvy.

Výkon vpichovacího stroje závisí na počtu jehel v jehelné desce a také na frekvenci jehelné soustavy. Síla, působící na jehlu při průchodu materiálem může být značná (až 10 N), což vyvolává potřebu masivní konstrukce roštů, jehelné desky i pohybového ústrojí. K dosažení vysokých frekvencí těžké jehelné desky (běžně 800 zdvihů za minutu, nejlepší stroje až 2200) jsme nuceni redukovat amplitudu výkyvu a tedy i vzdálenost roštů, potažmo tloušťku vyráběného materiálu na 40 – 60 mm. Před vlastní jehelnou soustavou tedy musí být umístěno zařízení, redukuje tloušťku přiváděného materiálu, která může být až 250 mm, na hodnotu menší, než je vzdálenost roštů, při dodržení vysoké rovnoměrnosti. Tuto úlohu může zastávat přiváděcí zařízení, tvořené dvěma válci, dvojicí šikmých dopravníků či vibračním roštem, nebo předvpichovací stroje s malým počtem jehel v úzkých jehelných deskách.

Hlavním parametrem, ovlivňujícím míru zpevnění, je počet jehel na jednotku plochy, dalšími parametry jsou hloubka vpichu, typ a způsob rozmístění jehel a samozřejmě vlastnosti zpracovaného vlákna. Obecně lze říci, společně se stupněm zpevnění stoupá objemová hmotnost a pevnost výrobku a zvětšují se jeho objemové změny, naopak se zmenšuje tloušťka a propustnost produktu. Při extrémní míře zpevnění se může naopak pevnost snižovat z důvodu značného mechanického poškození vláken ostny vpichovacích jehel.

Vpichované výrobky se využívají jako geotextilie, papírenské odvodňovací plstěnce, podklady pro výrobu syntetických usní, filtry, dekorační materiály, oděvní a obuvnické vložkové materiály, podlahové krytiny a podobně.

5.2.2. Další způsoby mechanického zpevnování

Při **zpevnování paprsky vody** je využito proudu vody k provázání jednotlivých vláken rovinně, jako je tomu u technologie vpichování. Technologický proces zahrnuje vlastní zpevnování, následné odvodňování a sušení. Touto technologií je vyráběn široký sortiment textilií, využívaných například jako podklady pro povrstvování, oděvní vložky, dekorace, filtry, čistící textilie, izolace, geotextilie a stavební textilie. Textilie mají vynikající

mechanické vlastnosti, prodyšnost a absorpční vlastnosti. Pro svou naprostou zdravotní nezávadnost jsou významně využívány také ve zdravotnictví. Využití ve stavebnictví by však pro vysoké investiční náklady a energetickou náročnost (zejména na sušení) bylo neefektivní.

Principem **proplétání** je mechanické provazování vlákenné vrstvy soustavou vazných nití. Jako výplň je možné použít prakticky jakýkoliv druh vláken přírodních, umělých i recyklovaných a vytvořit lze libovolný plošný útvar. Proplety lze použít jako čisticí textilie a mycí hadry, technické i oděvní izolační materiály, bytové textilie či obalové materiály. Širšímu využití ve stavebnictví opět brání značně technicky náročná a nákladná výroba.

5.3. Chemické pojení

Chemické pojení se provádí zpravidla disperzemi a zpěněnými disperzemi polymerů. Pojivo se nanáší impregnační (nasycením v nádrži s vhodnou disperzí) a následným ždímáním průchodem mezi dvěma válci či stříkáním, jehož účinnost je menší. Pojivo vytvrzuje koagulací, kterou způsobuje odpaření disperzního prostředí (vody) či přidavek termosenzibilizátorů. Účinnost chemického pojení je relativně vysoká a vyrobené tkaniny dosahují zajímavých mechanických vlastností, které jsou však vykoupeny velmi vysokou spotřebou pojiva pro docílení spojitého nánosu na povrchu vláken (20 – 30 % hmotnostních), s čímž jsou spojeny jednak vysoké výrobní náklady a jednak značná ekologická zátěž. Proto je využití na velkoobjemovou produkci ve stavebnictví nepravděpodobné.

5.4. Termické pojení

K pojení vlákenných vrstev mohou sloužit také pojiva ve formě pevných nízkotavitelných polymerů či kopolymerů. Principem je buďto nanesení pojiva ve formě prášku či pasty na vlákennou vrstvu, vrstvení vlákenných vrstev společně plošným pojivým útvarem (mřížka, fólie) či mísení vláken se speciálními pojivými vlákny, následné tavení pojiva za zvýšené teploty a vytvrzení spojeného výrobku jeho ochlazením. Výběru vhodného pojiva je třeba věnovat značnou pozornost, na rozdíl od chemických způsobů totiž dochází k pojení pouze mezi některými vlákny a relativně malá plocha těchto spojů musí zajišťovat stabilitu celé struktury. Při vhodné volbě pojiva však lze takto spojovat takřka jakýkoliv vláknitý materiál.

Nejčastější formou pojiv jsou nízkotavitelná monokomponentní a bikomponentní vlákna. Následné zpevnění se provádí kalandrem či teplovzdušně. Při **zpevňování kalandrem** prochází směs vláken a pojiva štěrbinou mezi dvěma válci, z nichž je jeden či oba vyhříván na teplotu, při které pojivo taje. Působením tlaku je pojivo transportováno do pojících míst. Vzhledem velmi krátkému úseku s odpovídající teplotou (pouze mezi válci) je tato technologie značně omezena, což se plošné hmotnosti výrobků týče. Pro účely stavebnictví je tedy výhodnější **pojení teplovzdušné**.

Kromě výše uvedených existují také způsoby pojení ultrazvukem či infračerveným zářením, ty jsou však omezeny pro speciální účely.

5.4.1. Teplovzdušné pojení bikomponentními vlákny

Principem teplovzdušného pojení je průchod dokonale promíchané a rovnoměrně rozvrstvené směsi vláken spojovaných a pojících horkovzdušnou pojící komorou s cirkulujícím horkým vzduchem. Ohřev vrstvy je velmi rychlý (kolem 10 s). Uvnitř či u výstupu z komory může být umístěna dvojice kalandrovacích válců, sloužící ke zvýšení pojícího efektu vlivem tlaku na taveninu pojiva. To je však zpravidla doprovázeno snížením objemnosti výrobku a také snížením rychlosti postupu vlákně vrstvy a tím i výkonu linky.

Bikomponentní vlákna se vyrábí zvlákňováním nejčastěji dvou různých polymerů pomocí zvláštní zvlákňovací hubice. Zpravidla jsou tvořena jádrem z výše tavitelného polymeru (nejčastěji polyester) a níže tavitelným pláštěm (obvykle kopolyester či levnější polypropylen). V průběhu pojení se vlákno (na rozdíl od vláken monokomponentních) díky výše tajícímu jádru nezbortí a výrobky mají vyšší objemnost. 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, taveninu s nízkou viskozitou, nízkou srážlivost za tepla a dobrou adhezi k základním vláknům. Množství přidaných pojivých vláken závisí na požadavcích na mechanické vlastnosti a odolnost výrobku, pro účely výroby stavebních izolačních hmot postačí přídavek do 15 %.

Nevýhodami technologie je nutnost správného výběru pojiva, jeho vyšší cena a potřeba dokonalého rozptýlení v hmotě výrobku, k výhodám naopak patří celková jednoduchost procesu, vysoká produktivita, možnost pojit téměř jakákoliv základní vlákna a pro stavebnictví velmi důležitá možnost produkovat výrobky větších tloušťek (až do 180 mm). U nás tuto technologii provozuje například břevclavská firma Canabest s.r.o., vyrábějící izolační materiály z technického konopí, či firma JUTA a. s..

5.4.2. Technologie kolmého vlákna (STRUTO)

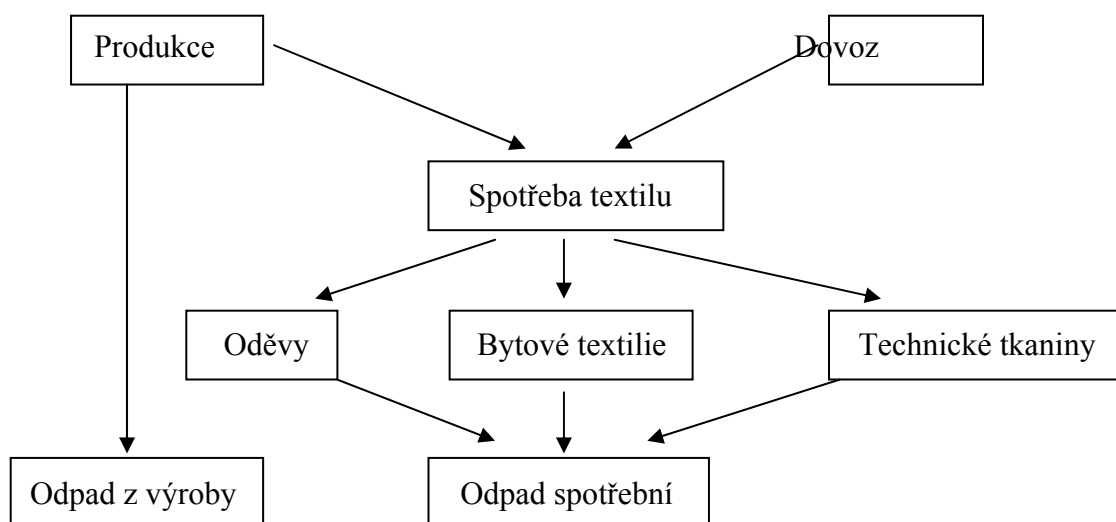
Zajímavou alternativou k technologiím s vodorovným kladením vlákna tvoří technologie STRUTO [41]. Takto lze zpracovat opět téměř jakákoliv vlákna. Prvním krokem je dokonalé promísení s bikomponentními pojivými vlákny. Kolmé kladení je zajišťováno vibračním kolmým kladečem. Do něho je shora přiváděná pavučina stahována vibrující pilkou k pohybujícímu se dopravníku. Tím se vytvoří sklad pavučiny, který je z hrany pilky sejmut soustavou hladkých jehel, umístěných na spřaženě vibrující pýchovací liště. Sejmutý sklad je pýchovací lištou dorazen k vlákně vrstvě tvořící se a postupující mezi dopravníkem a drátovým roštem. Alternativou je rotační kolmý kladeč. Vlákenná pavučina je přiváděná k soustavě pracovních kotoučů, jejichž hroty je formována do vlákně vrstvy tvořené

kolnými sklady. Sklady jsou snímány z hrotů soustavou drátů roštu, umístěných mezi jednotlivými pracovními kotouči. V obou případech následuje zpevnění v teplovzdušné pojící komoře a vytvrzení ochlazováním.

Největší výhodou takto vyrobené textilie je výrazně vyšší odolnost proti stlačení a vysoký stupeň zotavitelnosti po stlačení. Zvýšení odolnosti proti stlačení se u textilií s kolmo kladeným vláknem dosahuje tím, že vlákna jsou v průběhu stlačování namáhána spíše na vzpěr než na ohyb, na rozdíl od výrobků s vlákny uloženými převážně horizontálně. Další výhodou je menší spotřeba vláken v porovnání s textiliemi s vodorovným kladením. Lze vyrábět textilie o tloušťce 15 – 40 mm, větších tloušťek je možné dosáhnout pouze slepením více textilií. Kolmá orientace vlákna také způsobuje mírné zhoršení tepelně izolačních schopností. Produkty se používají na výrobu matrací, spacích pytlů, v čalounictví jako náhrada pěn, v automobilovém průmyslu, ale také pro filtraci, výrobu geotextilií a tepelně i akusticky izolačních materiálů. U nás je technologie provozována jihlavskou firmou Jilana [42].

6. Možné surovinové zdroje z textilního průmyslu

Surovinami, které lze zpracovat, mohou být jednak odpady z textilní výroby a jednak odpady ze spotřeby, tedy vyřazené textilie, které již nejsou schopny plnit původní účel. Odpady z výroby mohou být nejrůznější odstřižky a odřezky, příze, či jinak nezpracovatelná textilní vlákna (zejména určitý podíl z produkce přírodních vláken), odpady spotřební lze dále dělit na oděvy, bytový textil a technické tkaniny [43].



U nás, na rozdíl například od sousedního Německa, není textilní odpad složkou odděleného sběru, nýbrž pouze součástí komunálního odpadu, proto velká část jinak potenciálně využitelného materiálu končí na skládkách či ve spalovnách. Z tohoto důvodu

také není k dispozici žádná relevantní statistika, udávající množství produkovaného textilního odpadu, odhaduje se však, že jeden občan naší republiky ročně odloží zhruba 10 – 15 kg textilu (což je asi 5 % z celkového vyprodukovaného odpadu), z čehož 40 – 66 % tvoří oděvy a zbytek koberce, posteloviny, záclony, apod. Celkově se tedy jedná cca o 158 000 tun ročně (při počtu 10 504 203 obyvatel v ČR – aktuální počet obyvatel k 31.12.2011; zdroj: Český statistický úřad). Přestože se v posledním desetiletí situace významně zlepšila a v mnoha větších městech již funguje oddělený sběr textilního odpadu, zajišťovaný městskými sběrnými dvory či soukromými firmami (například v Brně působí firma E+B textil [44], která ze získaného textilu vyrábí čisticí tkaniny), prostor pro zlepšení je však v tomto směru stále značný. V menších městech je totiž často jedinou možností shromažďování vytríděného textilu některá z organizací charity.

Shromážděný textil se ručně třídí. Nejlepší kusy míří do obchodů s použitými oděvy (second handů), oděvy v poněkud horším stavu se zpravidla zasílají jako pomoc do rozvojových zemí. Nepoužitelný textil odchází k recyklaci. Aby jej bylo možné opět použít, je třeba jej rozvláknit. Nejprve se třídí podle materiálu (přírodní, syntetické, celulózové), dále podle pevnosti a barvy. Následuje čištění (nejčastěji mechanicky vyklepáváním nevlákněných částic) a odstranění knoflíků a zipů. Zvláště znečištěné kusy je třeba prát, případně karbonizovat (ovčí vlna) což však proces značně prodražuje. Následně se tkanina seká v rotačních či gilotinových sekacích strojích. Dalším krokem může být směšování (například mísení odpadů z výroby a odpadů spotřebních, pokud se jedná o stejný materiál) a poté směs prochází trhacím strojem, sestávajícím z několika ocelových válců, opatřených ocelovými kolíky. Ty z materiálu, přidržovaného podávacími válečky, vytrhávají chomáčky vláken. Pro nízkou účinnost jsou trhací stroje řazeny do linek. Výsledným produktem jsou vlákenné chomáče – **trhanina** [45]. Tu lze dále zpracovávat klasickými textilními metodami, avšak výsledná tkanina nikdy nedosáhne takových mechanických vlastností, jako původní výrobek. Jedná se ale o velmi kvalitní surovinu pro výrobu stavebních izolačních materiálů.

V následujícím textu bude zmíněno několik konkrétních výrobků z odpadního textilu, produkovaných s větším či menším úspěchem zahraničními firmami.

6.1. Odpadní bavlna

První pokusy o zpracování odpadní bavlny se datují do 90. let minulého století. Nejprve se využívala nízkohodnotná přírodní bavlna, brzy však vyšlo najevo, že zpracováním odpadního bavlněného textilu se dosáhne zajímavějších ekologických i ekonomických výsledků. V současnosti jsou hlavní surovinou vyrazené džínsy a odpady z jejich výroby. Výhoda spočívá v tom, že jsou složeny z téměř čisté bavlny a velmi snadno se třídí.

Zpracování na trhaninu probíhá postupem, popsáním výše. Dále se surovina mísí s bikomponentními vlákny a solemi kyseliny borité, které jsou málo toxické a biologicky

odbouratelné. Působí jako účinný zpomalovač hoření a také ochrana proti plísni a škůdcům. Následuje proces teplovzdušného pojení.

Výsledný izolační materiál obsahuje minimálně 85% recyklovaných bavlněných vláken. K výhodám patří kromě velmi dobrých tepelně a akusticky izolačních vlastností také 100% recyklovatelnost, nízká energetická náročnost výroby, nulový obsah formaldehydů a dalších silně toxických látek. Při práci nejsou zapotřebí žádné ochranné pomůcky, nedráždí kůži ani sliznice.

Tento materiál v zahraničí postupně získává na oblibě. Jeho výrobou se zabývají například americké firmy Bonded Logic (materiál s názvem UltraTouch) [46] a Applegate insulation (Cotton Armor) [47] nebo britský Recovery Insulation Ltd. (INNO-THERM) [48]. Z aplikací převládá výplňová tepelná izolace stěn v dřevostavbách, izolace podlah a šikmých střech, a to jak pro individuální, tak pro bytovou výstavbu. Například Bonded Logic, jeden z prvních producentů, udává pro své výrobky při objemové hmotnosti $19,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,0366 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

6.2. Odpadní ovčí vlna

Produkt zpracovávající odpad z výroby vlněného textilu v současnosti prodává například skotská firma Kraft Architecture ve spolupráci se Scottish Enterprise pod obchodním názvem Thermobond [49]. Jedná se o směs textilního odpadu, z něhož nejméně 60% tvoří právě odpad ze zpracování ovčí vlny na vlněné vlákno a stříž, který je v textilním průmyslu jinak velmi špatně využitelný, a 7 – 8% polyesterových bikomponentních pojivových vláken. Ovčí vlna je přirozeně samozhášivá, přesto se však přidávají soli kyseliny borité, které dále zlepšují požární odolnost a také odolnost proti plísním a škůdcům. Pojení je opět teplovzdušné.

Stejně jako přírodní ovčí vlna má i ta odpadní schopnost vlhkostní regulace vnitřního prostředí. Může absorbovat až 15% vlhkosti bez negativního vlivu na tepelně technické parametry a později v případě potřeby opět neškodně uvolňovat do prostoru. Proto se s výhodou užívá jako výplňová izolace do různých difúzně otevřených konstrukčních systémů obvodových stěn, lehkých příček a šikmých střech. Výrobce udávaná hodnota součinitele tepelné vodivosti λ dosahuje hodnoty $0,034 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

6.3. Odpad z výroby matrací

V roce 2011 tým portugalských vědců zveřejnil výsledky svého výzkumu využití odpadu z výroby matrací ve stavebnictví. Na rozdíl od odpadu z textilního průmyslu (stříže či vlákna), který lze dále využít například jako výplňový materiál v automobilovém průmyslu, další využití pro zkoumaný materiál neexistuje a ten proto končí na skládkách. Vzhledem k jeho nekonzistentní struktuře se jako nejjednodušší aplikace nabízí foukaná tepelná izolace

do dutin ve stěnách či půdních prostorech. Zkoumáno bylo využití pro tepelnou izolaci dvojitě obvodové stěny. Vlastnosti materiálu závisí na složení vlákna. Nejčastější jsou vlna, bavlna či akryl. Zkoumaný vzorek byl tvořen především akrylem s tloušťkou vlákna 8 – 15 μm .

Vzhledem k obtížné přípravě zkušebních vzorků bylo v tomto případě provedeno měření alternativní metodou pro stanovení tepelně technických vlastností konstrukce in situ. Měření probíhalo ve zkušební místnosti o rozměrech 4 x 3 x 2,54 m z betonových tvárníc samostatně a následně se 110 mm tlustou přízdívkou z keramických tvarovek, vzdálenou od původní konstrukce 60 mm, vyplněných zkoumaným textilním odpadem. Měřicí zařízení sestávalo ze dvou měřících čidel tepelného toku a čtyř snímačů povrchové teploty, převádějících hodnoty do počítače.

Měření prokázalo, že součinitel prostupu tepla U se při použití dvojitě stěny s 60 mm tlustou výplní z odpadu z výroby matrací snížil z hodnoty $0,42 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ na $0,14 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, tedy přibližně na třetinu. Lze tedy konstatovat, že materiál je pro tyto účely velmi dobře použitelný. Otázkou ale zůstává, nakolik by v prostředí našeho trhu bylo jeho využití ekonomické [50].

7. Zhodnocení možností výroby izolačních rohoží

Na moderní izolační materiály klademe požadavky podle účelu jejich budoucího použití. Od tepelně izolačních výrobků požadujeme zejména, aby jimi zateplená konstrukce splnila požadavky ČSN 73 0540-2 v oblasti maximální hodnoty součinitele prostupu tepla (viz příloha 1). Proto je třeba docílit co nejmenší hodnoty součinitele tepelné vodivosti. Akusticky izolační materiály by měly zejména dosahovat vysokých hodnot činitele zvukové pohltivosti a naopak nízkých hodnot dynamické tuhosti tak, aby výsledná konstrukce splňovala požadavky ČSN 73 0532 (viz příloha 2) na minimální hodnotu vzduchové a kročejové neprůvzdušnosti. Speciálně materiály pro užití v plovoucích podlahách by měly dosahovat dobrých výsledků napětí při 10% deformaci. Od všech materiálů dále požadujeme zdravotní nezávadnost a odpovídající třídu reakce na oheň.

Pokud chceme vyrábět izolační výrobky pro využití ve stavebnictví z odpadního textilu, musí také surovina splňovat některé specifické požadavky. Samozřejmostí jsou velmi dobré tepelně a akusticky izolační vlastnosti, které lze nepřímo odvozovat z tloušťky vláken. Dále musí mít vlákna odpovídající vlastnosti za vyšších teplot (při požáru) a v neposlední řadě musí být dostupné v dostatečném množství a stejnoměrném složení, aby bylo jejich průmyslové zpracování ekonomické a aby bylo možné garantovat určité vlastnosti finálního výrobku. Zejména poslední požadavek je vzhledem k nevelkému objemu našeho trhu velmi důležitý.

Nejrozšířenějším vláknem na trhu je se zhruba 30% bavlna, která je však stále více a více nahrazována vlákny syntetickými, zejména polyesterem a méně těž polyamidy. Navíc

do budoucna lze očekávat další nárůst podílu těchto vláken. Pro výrobu stavebních izolačních materiálů však nejsou syntetická vlákna příliš vhodná. Z hlavních nedostatků jmenujme velmi špatné chování při požáru (při zvýšené teplotě měknou a bortí se jejich struktura, hořením zpravidla uvolňují toxické zplodiny). Oproti přírodním vláknům vykazují lepší mechanické vlastnosti, proto by jejich zpracování na trhaninu stálo větší úsilí. V textilních aplikacích se navíc vyskytují povětšinou ve směsích s přírodními či jinými umělými vlákny, proto je zajištění stejnoměrné kvality problematické. Je také třeba zmínit, že již existuje a je provozována technologie, rozkládající syntetické polymery na původní monomery, které jsou následně opět polymerizovány, čímž vzniká nové vlákno, stejných vlastností, jako vlákno původní a podíl odpadů tedy není tak vysoký, jako u přírodních vláken, která recyklací ztrácí na kvalitě. Některých zmiňovaných vlastností sice s výhodou využíváme (například nízká teplota tavení syntetických polymerů je základním principem teplovzdušného pojení bikomponentními vlákny), širší využití pro výrobu stavebních izolačních materiálů však nemá opodstatnění.

Co se týče přírodních vláken, jak již bylo řečeno, světově nejrozšířenějším materiálem je bavlna. U nás mají tradici také lýkové rostliny len a konopí a částečně i ovčí vlna, jejich využití v textilním průmyslu je však v současnosti díky rozšíření umělých vláken mizivé. Tyto suroviny se dají zpracovat na kvalitní izolační materiály také v přírodním stavu, což však není náplní této práce. Pro naše účely je tedy nejvhodnější surovinou **bavlna**. Vzhledem k malé tloušťce vlákna (12 – 17 μm) lze usuzovat na dobré tepelně technické vlastnosti. Bavlna má vysokou zápalnou teplotu a je samozhášivá. Je také dostupná v dostatečném množství a čistotě (již byla řeč o vyřazených džínsech, které jsou velmi dobře tříditelné a jsou tvořeny téměř výhradně bavlnou, ale z relativně čisté bavlny se skládá také například významná část pánských svrchních oděvů, některé ložní prádlo, posteloviny, ručníky či utěrky). Vhodnou technologií pro pojení odpadních bavlněných vláken po jejich zpracování na trhaninu je **teplovzdušné pojení bikomponentními vlákny**. Výhodné je pro své velmi univerzální využití, malou technologickou náročnost, nízkou spotřebu energie a velkou variabilitu co se objemové hmotnosti a zejména tloušťky výrobku týče.

C. PRAKTICKÁ ČÁST

8. Cíl práce

Cílem práce je zhodnocení možností využití jinak obtížně zpracovatelného textilního odpadu ve stavebnictví, konkrétně pro výrobu izolačních materiálů s velmi dobrými vlastnostmi a vysokou přidanou hodnotou. Na základě teoretických poznatků byl vytipován vhodný materiál, který bude dále podroben experimentálnímu stanovení vybraných vlastností, zejména tepelně technických a akustických.

9. Metodika práce

Zkušební vzorky byly zhotoveny z $\pm 85\%$ z odpadní bavlny ve formě trhaniny, získané ze starých džínů a dalších bavlněných výrobků, s příměsí $(15 \pm 1) \%$ pojivových bikomponentních vláken, teplovzdušným pojením klasickou technologií vodorovného vlákna, břeclavskou firmou Canabest. Výzkum byl proveden na 3 druzích zkušebních vzorků, lišících se od sebe tloušťkou a objemovou hmotností.

Základní sledovanou tepelně technickou charakteristikou byl součinitel tepelné vodivosti, který byl stanoven ve vysušeném stavu, za laboratorních podmínek a dále pak při expozici v různých prostředích s měnící se teplotou a relativní vlhkostí vzduchu, aby bylo možné stanovit závislost tepelně izolačních vlastností materiálu na vlhkosti a související sorpční vlastnosti. Dále byly stanoveny klíčové akustické vlastnosti, reprezentovány činitelem zvukové pohltivosti a dynamickou tuhostí. Provedeno bylo také stanovení tloušťky a objemové hmotnosti.

10. Zkušební metody

10.1. Stanovení tloušťky

Měření bylo provedeno dle ČSN EN 823 [51]. Podstatou zkoušky je stanovení vzdálenosti mezi tvrdým, rovinným, referenčním povrchem, na kterém spočívá zkušební vzorek, a přitlačnou deskou, volně spočívající na horním povrchu zkušebního vzorku. Měřicí přístroj je vybaven číselníkovým úchytkoměrem a pravoúhlou přitlačnou deskou. Úchytkoměr s přesností měření nejméně 0,5 mm je uchycen na tuhém rámu, spojeném s tuhou základní deskou pro umístění vzorku. Přitlačná čtvercová deska působí na vzorek celkovým přitlakem 50 nebo 250 Pa. Pro provedení zkoušky byl použit přitlak 50 Pa.

10.2. Stanovení objemové hmotnosti

Objemová hmotnost je dle ČSN EN 1602 [52] definována jako podíl hmotnosti zkušební vzorku a jeho objemu. Zkušební vzorek musí být kondicionován při teplotě vzduchu (23 ± 2) °C a relativní vlhkosti vzduchu (50 ± 5) % do konstantní hmotnosti. Následně jsou stanoveny lineární rozměry dle ČSN EN 12085 (konkrétně délka a šířka dle ČSN EN 822 a tloušťka dle ČSN EN 823) pro stanovení objemu a také hmotnost, vše s přesností na 0,5 %.

10.3. Stanovení součinitele tepelné vodivosti

Součinitel tepelné vodivosti je stanoven v souladu s ČSN 727006 a souvisejícími normami. Použit je přístroj **Lambda 2300** od americké firmy Holometrix Micromet, pracující na principu stacionární metody měřidla tepelného toku (ČSN 72 7012-3 [53]). Vzorek zkoušeného materiálu o rozměrech 300 x 300 mm se umístí do přístroje mezi dvě desky, které jsou během zkoušky otápěny na rozdílnou teplotu (teplotní spád dosahuje hodnoty 10 K). Po dosažení ustáleného tepelného toku se zaznamená výstupní napětí na měřidlech tepelného toku a následně se ze znalosti teplot vztažné plochy ohřívajícího a ochlazovaného povrchu vzorku, tloušťky vzorku, již zmiňovaného výstupního napětí měřidel tepelného toku a kalibrační konstanty měřidla stanoví hledaný součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$].

10.4. Stanovení činitele zvukové pohltivosti

Princip stanovení činitele zvukové pohltivosti v souladu s ČSN ISO 10534-1 [54] spočívá ve vytvoření stojatého vlnění v trubici, na jejímž konci je vzorek. Při měření dochází k interferenci vlnění přicházejícího z akustického zdroje s vlněním odraženým od zkoumaného vzorku. Hledaná veličina se určí z maxima a minima akustického tlaku stojaté vlny.

K měření bude užita měřicí soustava s názvem **Kuntova trubice** (akustický interferometr). Je tvořena reproduktorem, odnímatelnou kovovou trubicí, držákem vzorku a akustickou sondou, která se skládá z vozíčku, mikrofonu a sondy. Obecně se měří na kmitočtech třetinooktávové řady v rozsahu 250 – 6300 Hz. Na kmitočty 250 – 1800 Hz se používají trubice o vnitřním průměru 85 – 115 mm a délce 690 – 1000 mm (velká trubice), na kmitočty 1801 – 6300 Hz pak trubice o vnitřním průměru 24 – 33 mm a délce 190 – 280 mm (malá trubice). Na zkušebních vzorcích bylo provedeno měření v třetinooktávových pásmech v rozsahu 100 – 5000 Hz.

10.5. Stanovení dynamické tuhosti

Princip stanovení dynamické tuhosti dle ČSN ISO 9052-1 [55] spočívá ve zjištění rezonančního kmitočtu mechanické soustavy, tvořené plošným zkušebním vzorkem a zatěžovací deskou, která simuluje podlahovou konstrukci. Při zkoušce je vzorek o rozměrech 200 x 200 mm umístěn mezi dvě vodorovné desky – základnu v podobě betonového bloku a zatěžovací těleso, tvořené ocelovou deskou s definovanou plošnou hmotností, opatřenou elektromagnetem. Obě desky musí být rovné a dostatečně tuhé, aby se vyloučily ohybové kmitý v pásmech měřených rezonančních kmitočtů. Nad elektromagnetem je na stavěcím šroubu pevně umístěn permanentní magnet. Tyto dva magnety působí jako budiče svislých kmitů sinusového signálu o konstantní amplitudě. Vibrace se budí ve vertikálním směru kolmo na plochu vzorku. Snímač přenáší údaje o hodnotě rezonančního kmitočtu soustavy měřeného vzorku a zatěžovací desky do zobrazovacího zařízení. Rezonanční kmitočet se projeví maximální výchylkou analyzátoru.

11. Výsledky zkoušek

11.1. Stanovení tloušťky

Tloušťka byla stanovena dle ČSN EN 823 na vzorcích o rozměrech 300x300 mm, kondicionovaných v prostředí s teplotou 23 °C a relativní vlhkostí vzduchu 55% s celkovým přitlakem 50 Pa. Každý vzorek byl měřen 3x a výsledná hodnota byla stanovena jako aritmetický průměr z těchto tří měření.

Tab. 1: Stanovení tloušťky

| Vzorek | Tloušťka 1 [mm] | Tloušťka 2 [mm] | Tloušťka 3 [mm] | Průměrná tloušťka [mm] |
|--------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|
| A | 47,467 | 47,154 | 47,641 | 47,4 |
| B | 63,121 | 63,744 | 62,903 | 63,3 |
| C | 77,185 | 77,050 | 77,111 | 77,1 |

11.2. Stanovení objemové hmotnosti

Objemová hmotnost byla stanovena dle ČSN EN 1602 na vzorcích o rozměrech 300x300 mm, kondicionovaných v prostředí s teplotou 23 °C a relativní vlhkostí vzduchu 55%.

Tab. 2: Stanovení objemové hmotnosti

| Vzorek | Délka [m] | Šířka [m] | Tloušťka [m] | Hmotnost [kg] | Objemová hmotnost [kg.m ⁻³] |
|----------|--------------|--------------|-----------------|------------------|--|
| A | 0,307 | 0,308 | 0,0474 | 0,289 | 64,5 |
| B | 0,314 | 0,322 | 0,0633 | 0,204 | 31,9 |
| C | 0,313 | 0,302 | 0,0771 | 0,302 | 41,4 |

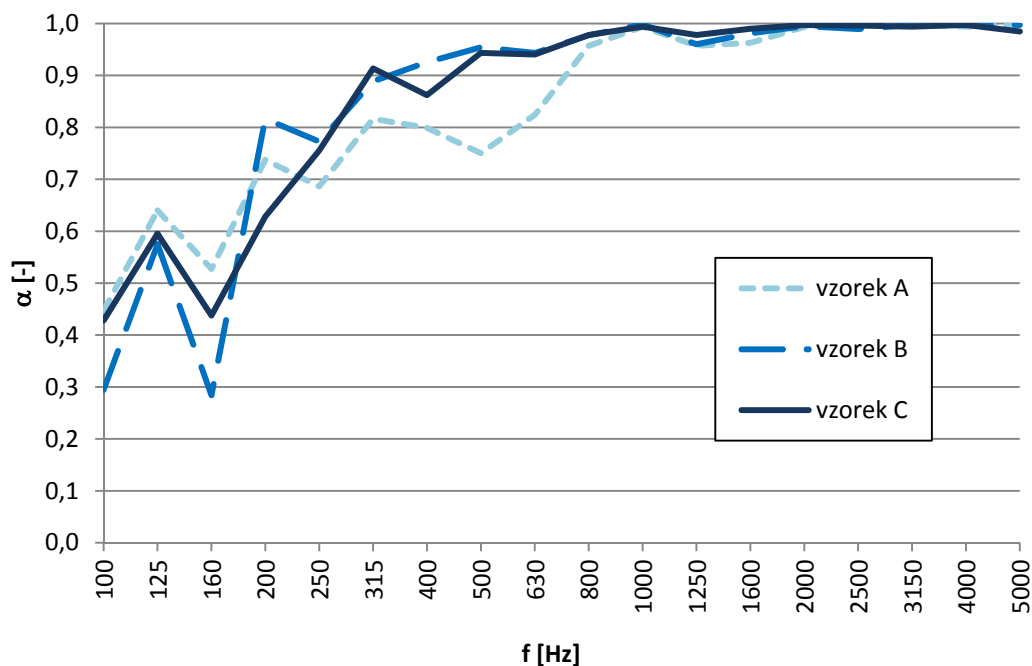
11.3. Stanovení akustických vlastností

Činitel zvukové pohltivosti α byl stanoven metodou poměru stojaté vlny dle ČSN ISO 10534-1 v třetinooktávových pásmech v rozsahu 100 – 5000 Hz. Z naměřených hodnot byla následně stanovena hodnota **váženého činitele zvukové pohltivosti α_w** , což je kmitočtově nezávislá, jednočíselná hodnota, rovná hodnotě směrné křivky na 500 Hz po jejím posuvu. Postup jeho stanovení je uveden v ČSN EN ISO 11654 [56]. Tato veličina byla použita pro vzájemné zhodnocení akustických vlastností jednotlivých zkušebních vzorků.

Dynamická tuhost byla stanovena rezonanční metodou dle ČSN ISO 9052-1. Měření bylo provedeno na každém ze vzorků 3x, uvedené hodnoty jsou aritmetickým průměrem výsledků měření.

Tab. 3: Přehled akustických vlastností

| Vzorek | Vážený činitel zvukové pohltivosti [-] | Dynamická tuhost [MPa.m ⁻¹] |
|----------|--|---|
| A | 0,85 | 5,69 |
| B | 0,90 | 5,01 |
| C | 0,90 | 5,51 |



Graf 1: Průběh činitele zvukové pohltivosti v závislosti na frekvenci

11.4. Stanovení tepelně izolačních vlastností

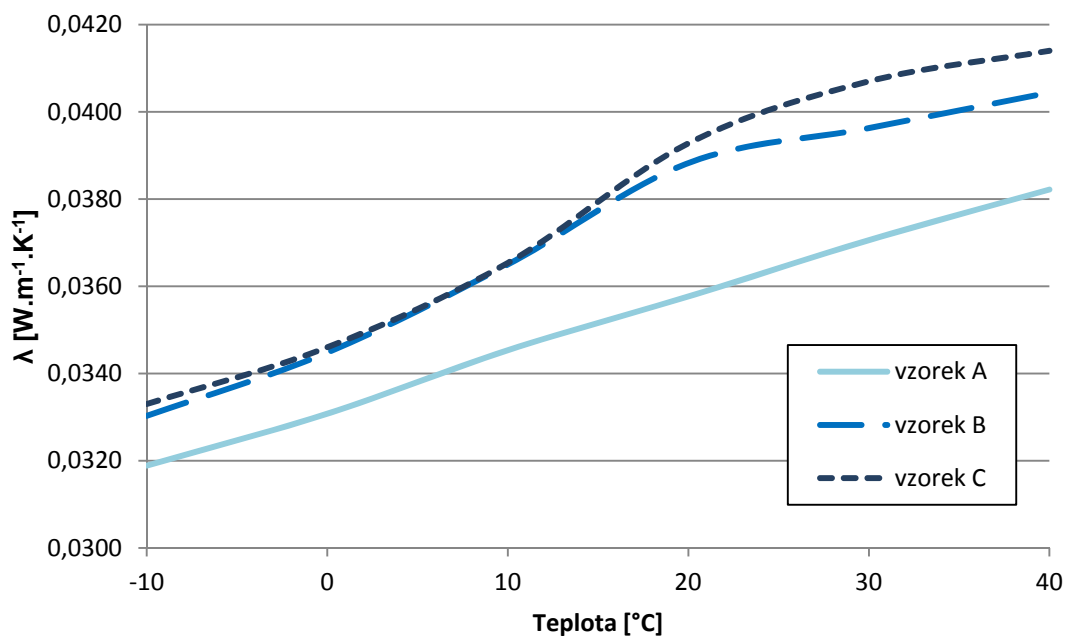
Tepelně izolační vlastnosti jsou definovány součinitelem tepelné vodivosti λ . Měření probíhalo stacionární metodou desky dle ČSN 72 7012-3 (ISO 8301) na přístroji Lambda 2300 při teplotním spádu 10 K.

11.4.1. Závislost tepelně izolačních vlastností na teplotě

Měření bylo provedeno za laboratorní vlhkosti při středních teplotách -10, 0, +10, +20, +30 a +40 °C. Výsledky jsou uvedeny níže.

Tab. 4: Přehled tepelně izolačních vlastností v závislosti na teplotě

| Vzorek | Součinitel tepelné vodivosti λ [W.m-1.K-1] | | | | | |
|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| | -10 °C | 0 °C | 10 °C | 20 °C | 30 °C | 40 °C |
| A | 0,0319 | 0,0331 | 0,0346 | 0,0358 | 0,0371 | 0,0382 |
| B | 0,0330 | 0,0345 | 0,0365 | 0,0388 | 0,0396 | 0,0404 |
| C | 0,0333 | 0,0346 | 0,0365 | 0,0393 | 0,0407 | 0,0414 |



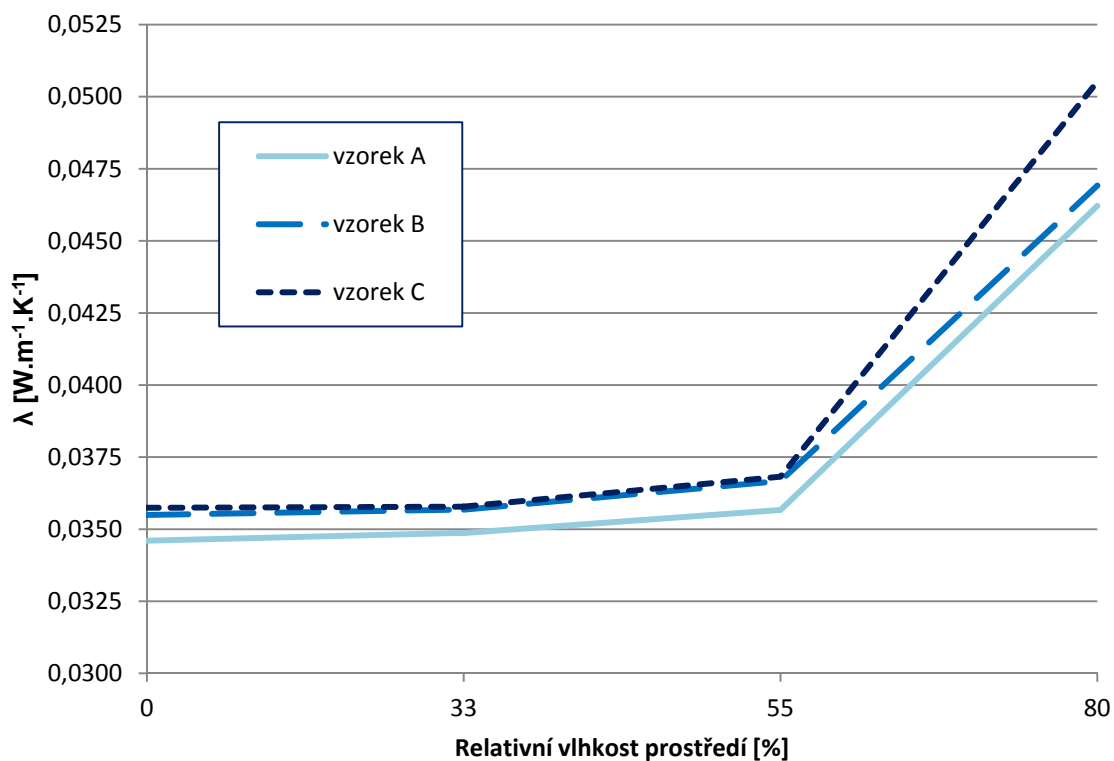
Graf 2: Závislost součinitele tepelné vodivosti na teplotě

11.4.2. Závislost tepelně izolačních vlastností na vlhkosti

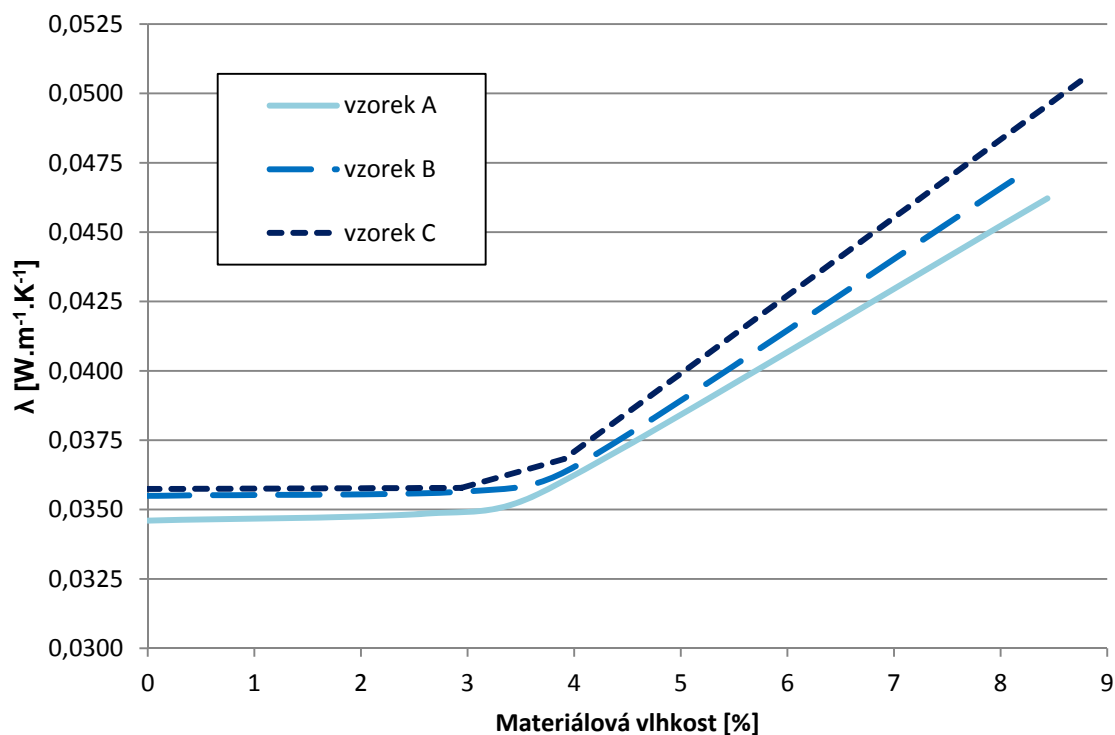
Měření bylo provedeno při střední teplotě 23 °C na vzorcích zcela vysušených a dále na vzorcích, kondicionovaných v prostředí s relativní vlhkostí 33, 55 a 80 %.

Tab. 5: Přehled tepelně izolačních vlastností v závislosti na vlhkosti

| Součinitel tepelné vodivosti λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹] | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|
| Vzorek | 0 % | 33 % | 55 % | 80 % |
| A | 0,0345 | 0,0349 | 0,0357 | 0,0462 |
| B | 0,0355 | 0,0357 | 0,0367 | 0,0469 |
| C | 0,0357 | 0,0358 | 0,0368 | 0,0505 |
| Obsah vlhkosti [%] | | | | |
| Vzorek | 0 % | 33 % | 55 % | 80 % |
| A | 0 | 2,68 | 3,72 | 8,44 |
| B | 0 | 3,11 | 4,06 | 8,13 |
| C | 0 | 2,94 | 3,91 | 8,78 |



Graf 3: Závislost součinitele tepelné vodivosti na relativní vlhkosti prostředí



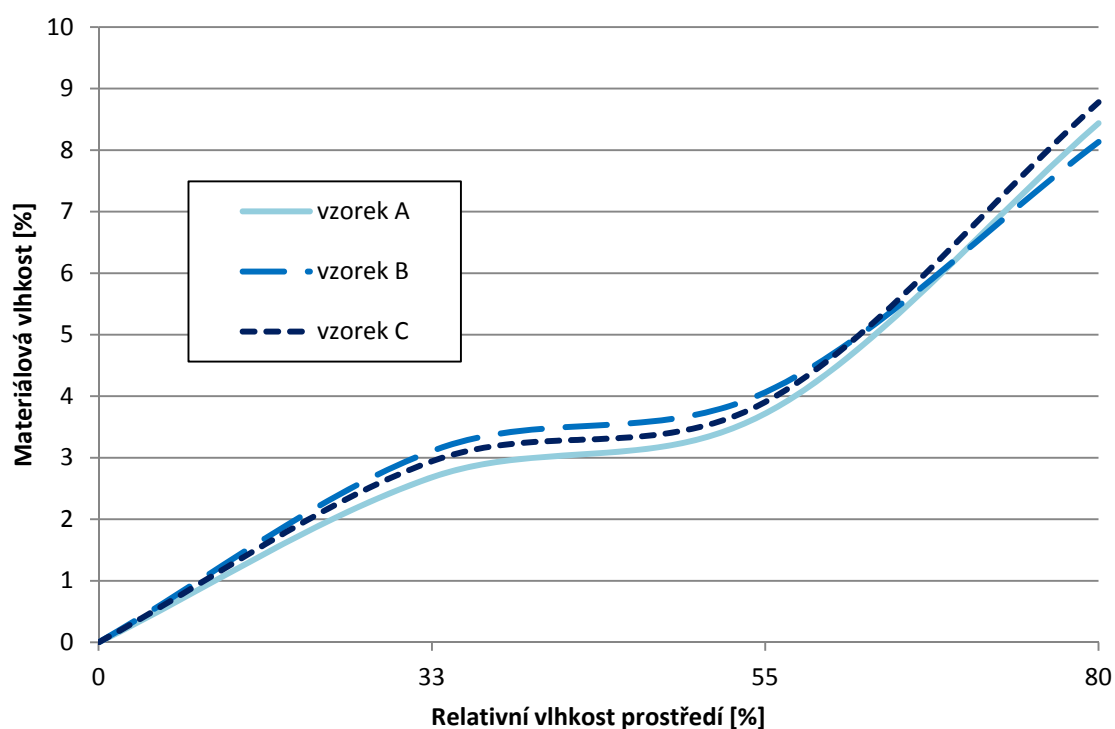
Graf 4: Závislost součinitele tepelné vodivosti na materiálové vlhkosti

11.5. Stanovení sorpčních vlastností

Sorpční vlastnosti materiálu byly stanoveny společně se stanovením závislosti tepelně izolačních vlastností na vlhkosti na základě změny hmotnosti zkoumaných vzorků v jednotlivých prostředích (0, 33, 55 a 80 % relativní vlhkosti).

Tab. 6: Přehled sorpčních vlastností

| Hmotnost vzorku [g] | | | | |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|
| Vzorek | 0 % | 33 % | 55 % | 80 % |
| A | 278,82 | 286,30 | 289,19 | 302,35 |
| B | 196,08 | 202,18 | 204,05 | 212,03 |
| C | 290,84 | 299,40 | 302,20 | 316,37 |
| Obsah vlhkosti [%] | | | | |
| Vzorek | 0 % | 33 % | 55 % | 80 % |
| A | 0 | 2,68 | 3,72 | 8,44 |
| B | 0 | 3,11 | 4,06 | 8,13 |
| C | 0 | 2,94 | 3,91 | 8,78 |



Graf 5: Sorpční izotermy (závislost vlhkosti zkušebních vzorků na relativní vlhkosti prostředí při teplotě +23 °C)

12. Diskuze výsledků

V rámci praktické části bakalářské práce byla provedena studie vlastností a chování 3 druhů zkušebních vzorků tepelných izolací na bázi odpadního textilu, lišících se vzájemně tloušťkou a objemovou hmotností. Vzorek A vykazoval při nejmenší tloušťce 47,4 mm zároveň nejvyšší objemovou hmotnost $64,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, danou nejvyšší mírou zhutnění. Vzorek B dosahoval při tloušťce 63,3 mm nejnižší objemové hmotnosti z daného souboru, a to $31,9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a vzorek C s největší tloušťkou 77,1 mm objemové hmotnosti $41,4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Z akustických vlastností byla stanovena dynamická tuhost, klíčová veličina v oblasti kročejové neprůzvučnosti konstrukcí, a dále činitel zvukové pohltivosti, důležitý pro hodnocení neprůzvučnosti vzduchové. Nejnižší dynamickou tuhost ($5,01 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{-1}$) vykazoval vzorek B s nejnižší objemovou hmotností. Nutno ovšem poznamenat, že i ostatní zkoušené vzorky dosáhly velmi dobrých výsledků (vzorek A $5,69 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{-1}$ a vzorek C $5,51 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{-1}$). Velmi zajímavých výsledků bylo dosaženo také v případě činitele zvukové pohltivosti. Vzorky B a C vykazaly shodně hodnotu 0,90, vzorek A mírně horší hodnotu 0,85. Vzhledem k různé tloušťce vzorků však nelze naměřené hodnoty přímo srovnávat.

Tepelně izolační vlastnosti materiálu byly hodnoceny na základě součinitele tepelné vodivosti, stanoveného stacionární metodou desky. Při střední teplotě $+10 \text{ }^\circ\text{C}$ ve vysušeném stavu vykazovaly vzorky B a C nízkou hodnotu 0,0355, resp. 0,0357 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a vzorek A s nejvyšší objemovou hmotností ($64,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) dokonce ještě nižší hodnotu $0,0345 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Se vzrůstající teplotou se součinitel tepelné vodivosti zvyšuje takřka lineárně. Dále bylo zjištěno, že se vzrůstající relativní vlhkostí prostředí součinitel tepelné vodivosti stoupá nejprve mírně, výrazný nárůst je patrný až při 80%. Pokud tento údaj vyjádříme v množství vlhkosti v materiálu, začíná se nárůst součinitele tepelné vodivosti markantně projevovat zhruba při 3% sorbované vlhkosti. Při teplotě $23 \text{ }^\circ\text{C}$ a srovnávací vlhkosti 80% dosahuje vzorek A hodnoty $\lambda = 0,0462 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, dále vzorek B $0,0469 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a vzorek C $0,0505 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Co se týče sorpčních vlastností, bylo potvrzeno očekávání, že nejrychlejší nárůst vlhkosti se projevuje v oblasti nízkých vlhkostí a dále také v oblasti vlhkostí vysokých.

V další etapě výzkumu by bylo vhodné věnovat se stanovení ideální objemové hmotnosti materiálu, vedoucí k dosažení nejlepších tepelně izolačních vlastností, k čemuž bude zapotřebí většího počtu zkušebních vzorků. Účelným se jeví také stanovení základních mechanických vlastností materiálu. Bylo by též vhodné zabývat se studiem očekávaných negativních vlastností materiálu (vlivu vlhkosti na tepelně izolační schopnost a nízké požární odolnosti) a opatření proti nim a také zhodnocení ekonomické výhodnosti vlastní výroby.

13. Závěr

Cílem práce bylo zhodnocení možností využití textilního odpadu ve stavebnictví, konkrétně pro výrobu izolačních materiálů s velmi dobrými vlastnostmi a vysokou přidanou hodnotou. Na základě teoretických poznatků byl jako vhodný materiál vytipován odpadní textil s vysokým obsahem bavlny, zpracovaný na trhaninu a spojený pomocí bikomponentních vláken technologií teplovzdušného pojení.

Pro studium vlastností byly zhotoveny 3 druhy zkušebních vzorků s odlišnou tloušťkou a objemovou hmotností. Co se týče tepelně izolačních vlastností, byla u všech vzorků zjištěna nízká hodnota součinitele tepelné vodivosti (nejnižší hodnotu $\lambda = 0,0345 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ vykazoval vzorek A, u vzorků B a C byla zjištěna hodnota $\lambda = 0,0355$, resp. $0,0357 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$). V oblasti vlastností akustických vykazují vzorky velmi nízké hodnoty dynamické tuhosti (konkrétně vzorek A $5,69 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{-1}$, vzorek B $5,01 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{-1}$ a vzorek C $5,51 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{-1}$) a naopak vysoké hodnoty zvukové pohltivosti (vzorky B a C shodně 0,90, vzorek A mírně horší hodnotu 0,85). Lze konstatovat, že z hlediska tepelně izolačních schopností jsou zkoumané materiály plně srovnatelné se v současnosti široce využívanými izolačními materiály z pěnoplastických látek či anorganických vláken, v oblasti stavební akustiky je dokonce převyšují.

Nejvhodnější aplikace izolačních materiálů na bázi textilních vláken je v nezátížených konstrukcích v prostředí s nízkou relativní vlhkostí, tedy zejména v interiéru. Nízká hodnota součinitele tepelné vodivosti činí z materiálu vhodný výplňový tepelný izolant například do rámců dřevostaveb, do podhledů či mezi krokve v zateplených střešních konstrukcích. Díky velmi nízké dynamické tuhosti se jedná o ideální izolant kročejového hluku, zajišťující velmi dobré akustické vlastnosti plovoucích podlah. Vysoká hodnota činitele zvukové pohltivosti umožňuje také použití materiálu jako akustické izolace do dělicích konstrukcí a lehkých příček.

O výhodných tepelně izolačních a akustických vlastnostech zkoumaného materiálu již byla řeč, jeho hlavní devizou oproti materiálům z polystyrenu či minerálních vláken je však přínos k trvale udržitelnému rozvoji, zejména díky snížení spotřeby primárních surovin a ropy a nižší energetické náročnosti. Zároveň se tak zpracovává odpad, který je obtížně recyklovatelný a v současnosti neexistuje mnoho aplikací, umožňujících jeho další využití.

POUŽITÁ LITERATURA

-
- [1] KATKAR, P. M. a S. M. BAIRGADAR. Textile Waste Recycling. *Textile Review*. 2010, June.
- [2] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy: principy a příklady*. 1. vyd. Praha: Grada, 2005, 193 s. ISBN 80- 247-1101-X.
- [3] Zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). In: 63. 2006.
- [4] Vyhláška č. 268/2009 o technických požadavcích na stavby. In: 81. 2009.
- [5] Vyhláška č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb. In: 10. 2008.
- [6] Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. In: 74. 2000.
- [7] Zákon č. 102/2001 Sb. o obecné bezpečnosti výrobků a o změně některých zákonů. In: 41. 2001.
- [8] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In: 97. 2011.
- [9] Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií ve znění pozdějších předpisů. In: 115. 2000.
- [10] Vyhláška č. 148/2007 Sb. o energetické náročnosti budov. In: 53. 2007.
- [11] Zákon č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů. In: 6. 1997.
- [12] Nařízení č. 163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky. In: 67. 2002.
- [13] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov: Požadavky*. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [14] ŠŤASTNÍK, Stanislav a Jiří ZACH. *Zkoušení izolačních materiálů*. Brno: CERM, 2002, 95 s. ISBN 80-214-2253-X.
- [15] ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: ČNI, 1995
- [16] ŠŤASTNÍK, Stanislav a Jiří ZACH. *Stavební akustika a zvukoizolační materiály*. Brno: CERM, 2002, 209 s. ISBN 80-214-2117-7.
- [17] ČSN 73 0532. *Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních materiálů: Požadavky*. Praha: ÚNMZ, 2010.
- [18] PYTLÍK, Petr. *Vlastnosti a užití stavebních výrobků*. Brno: VUTIUM, 1998, 399 s. ISBN 80-214-1123-6.
- [19] ČSN EN 826. *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví: Zkouška tlakem*. Praha: ČNI, 1998.
- [20] ČSN EN 1607. *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví: Stanovení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky*. Praha: ČNI, 1998.

- [21] CHYBÍK, Josef. *Přírodní stavební materiály*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 2009, 268 s. ISBN 978-80-247-2532-1.
- [22] Zákon č. 17/1992 Sb. o životním prostředí. 1992.
- [23] Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů. In: *71*. 2001.
- [24] Vyhláška č. 381/2001 Sb., katalog odpadů. In: *145*. 2001.
- [25] Vyhláška č. 383/2001 Sb., Vyhláška Ministerstva životního prostředí o podrobnostech nakládání s odpady. In: *145*. 2001.
- [26] Nařízení vlády č. 197/2003 Sb., o Plánu odpadového hospodářství České republiky. In: *70*. 2003.
- [27] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Typy vláken: Učební texty Fakulty textilní*. Liberec. Dostupné z: <http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/?q=cs/materialy>
- [28] ZACH, Jiří. FAST VUT BRNO. *Possibilities of using waste sheep wool for manufacture of thermo-insulating material*. Brno, 2009.
- [29] Fabric Identification The Burn Test. *Textile exchange* [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://www.teonline.com/knowledge-centre/fabric-identification.html>
- [30] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Rostlinná vlákna: Učební texty Fakulty textilní*. Liberec. Dostupné z: <http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/?q=cs/materialy>
- [31] Bavlna. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 21. 2. 2012 v 21:01 [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Bavlna>
- [32] CHYBÍK, Josef. *Přírodní stavební materiály*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 2009, 268 s. ISBN 978-80-247-2532-1.
- [33] Canabest [online]. © 2010 [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://www.canabest.cz/>
- [34] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Živočišná vlákna: Učební texty Fakulty textilní*. Liberec. Dostupné z: <http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/?q=cs/materialy>
- [35] Ovce domácí. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 13. 5. 2012 v 16:46 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Ovce_domáci
- [36] *Izolace z ovčí vlny* [online]. © 2008 [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://www.isolena.cz/>
- [37] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Vlákna z přírodních polymerů: Učební texty Fakulty textilní*. Liberec. Dostupné z: <http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/?q=cs/materialy>
- [38] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Syntetická vlákna: Učební texty Fakulty textilní*. Liberec. Dostupné z: <http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/?q=cs/materialy>
- [39] Elastická vlákna. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 16. 3. 2012 v 21:22 [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Elastan>
- [40] JIRSÁK, Oldřich a Klára KALINOVÁ. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI.

Netkané textilie: Skriptum Fakulty textilní. Liberec. Dostupné z: <http://www.ft.vslib.cz/depart/knt/web/index.php>

[41] *Struto* [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://www.struto.com/index.htm>

[42] *Jilana non-woven* [online]. 2011 [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://www.jilana.cz/>

[43] KATKAR, P. M. a S. M. BAIRGADAR. Textile Waste Recycling. *Textile Review*. 2010, June.

[44] *E+B textil* [online]. © 2005 [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://www.ebtextil.cz/index.php>

[45] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Zpracování odpadů 3 a 4 (textilní zpracování): Učební texty Fakulty textilní.* Liberec. Dostupné z: <http://www.ft.vslib.cz/depart/knt/web/index.php>

[46] *Bonded Logic* [online]. © 2012 [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://www.bondedlogic.com/>

[47] *Mr Insulate* [online]. © 2011 [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://www.mrinsulate.net/>

[48] *INNO-THERM* [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://www.recovery-insulation.co.uk/>

[49] *Thermobond insulation* [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://www.closedloopscotland.com>

[50] Textile Subwaste as a Thermal Insulation Building Material. In: 2011 International Conference on Petroleum and Sustainable Development [online]. Singapore: IACSIT Press, 2011 [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://www.ipcbee.com/vol26/15-ICPSD2011-P2001.pdf>

[51] ČSN EN 823. *Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví: Stanovení tloušťky.* Praha: ČNI, 1996.

[52] ČSN EN 1602. *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví: Stanovení objemové hmotnosti.* Praha: ČNI, 1998.

[53] ČSN 72 7012-3. *STANOVENÍ SOUČiniteLE TEPELNÉ VODIVOSTI MATERIÁLŮ V USTÁLENÉM TEPELNÉM STAVU Metoda desky: Metoda měřidla tepelného toku.* Praha: ČNI, 1994.

[54] ČSN ISO 10534-1. *Akustika - Určování činitele zvukové pohltivosti a akustické impedance v impedančních trubicih: Metoda poměru stojaté vlny.* Praha: ČNI, 1998.

[55] ČSN ISO 9052-1. *STANOVENÍ DYNAMICKÉ TUHOSTI: Materiály pro izolaci plovoucích podlah v bytových objektech.* Praha: CSN, 1992.

[56] ČSN EN ISO 11654. *Akustika - Absorbéry zvuku používané v budovách: Hodnocení zvukové pohltivosti.* Praha: ČNI, 1998.

SEZNAM TABULEK

| | | |
|--------|--|----|
| Tab. 1 | Stanovení tloušťky | 50 |
| Tab. 2 | Stanovení objemové hmotnosti | 51 |
| Tab. 3 | Přehled akustických vlastností | 51 |
| Tab. 4 | Přehled tepelně izolačních vlastností v závislosti na teplotě | 52 |
| Tab. 5 | Přehled tepelně izolačních vlastností v závislosti na vlhkosti | 53 |
| Tab. 6 | Přehled sorpčních vlastností | 55 |

SEZNAM GRAFŮ

| | | |
|--------|---|----|
| Graf 1 | Průběh činitele zvukové pohltivosti v závislosti na frekvenci | 52 |
| Graf 2 | Závislost součinitele tepelné vodivosti na teplotě | 53 |
| Graf 3 | Závislost součinitele tepelné vodivosti na relativní vlhkosti prostředí | 54 |
| Graf 4 | Závislost součinitele tepelné vodivosti na materiálové vlhkosti | 54 |
| Graf 5 | Sorpční izotermy | 55 |

PŘÍLOHY

Příloha A: Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2

Tabulka A1 – Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou θ_{in} v intervalu 18 °C až 22 °C včetně

| Popis konstrukce | Součinitel prostupu tepla [W/(m ² ·K)] | | |
|---|--|------------------------------------|---|
| | Požadované hodnoty $U_{N,20}$ | Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$ | Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$ |
| Stěna vnější | 0,30 ¹⁾ | těžká: 0,25 | 0,18 až 0,12 |
| | | lehká: 0,20 | |
| Střecha strmá se sklonem nad 45° | 0,30 | 0,20 | 0,18 až 0,12 |
| Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně | 0,24 | 0,16 | 0,15 až 0,10 |
| Strop s podlahou nad venkovním prostorem | 0,24 | 0,16 | 0,15 až 0,10 |
| Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace) | 0,30 | 0,20 | 0,15 až 0,10 |
| Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace) | 0,30 ¹⁾ | těžké: 0,25 | 0,18 až 0,12 |
| | | lehké: 0,20 | |
| Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině ^{4), 6)} | 0,45 | 0,30 | 0,22 až 0,15 |
| Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru | 0,60 | 0,40 | 0,30 až 0,20 |
| Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru | 0,75 | 0,50 | 0,38 až 0,25 |
| Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí | 0,75 | 0,50 | 0,38 až 0,25 |
| Podlaha a stěna částečně vytápěného prostoru přilehlá k zemině ⁶⁾ | 0,85 | 0,60 | 0,45 až 0,30 |
| Stěna mezi sousedními budovami ³⁾ | 1,05 | 0,70 | 0,5 |
| Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně | 1,05 | 0,70 | |
| Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně | 1,30 | 0,90 | |
| Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně | 2,2 | 1,45 | |
| Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně | 2,7 | 1,80 | |
| Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří | 1,5 ²⁾ | 1,2 | 0,8 až 0,6 |
| Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí | 1,4 ⁷⁾ | 1,1 | 0,9 |
| Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu) | 1,7 | 1,2 | 0,9 |
| Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru | 3,5 | 2,3 | 1,7 |
| Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí | 3,5 | 2,3 | 1,7 |

| Popis konstrukce | Součinitel prostupu tepla [W/(m ² ·K)] | | |
|---|--|------------------------------------|---|
| | Požadované hodnoty $U_{N,20}$ | Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$ | Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$ |
| Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí | 2,6 | 1,7 | 1,4 |
| Lehký obvodový plášť (LOP), hodnocený jako smontovaná sestava včetně nosných prvků, s poměrnou plochou průsvitné výplně otvoru $f_w = A_w / A$, v m ² /m ² , kde A je celková plocha lehkého obvodového pláště (LOP), v m ² ; A _w plocha průsvitné výplně otvoru včetně příslušných částí rámu v LOP, v m ² . | $0,3 + 1,4 \cdot f_w$ | $0,2 + f_w$ | $0,15 + 0,85 \cdot f_w$ |
| | $f_w \leq 0,5$ | | |
| | $f_w > 0,5$ | $0,7 + 0,6 \cdot f_w$ | |
| Kovový rám výplně otvoru | - | 1,8 | 1,0 |
| Nekovový rám výplně otvoru ⁵⁾ | - | 1,3 | 0,9 – 0,7 |
| Rám lehkého obvodového pláště | - | 1,8 | 1,2 |
| POZNÁMKY ¹⁾ Pro jednovrstvé zdivo se nejpozději do 31.12.2012 připouští hodnota 0,38 W/(m ² K). ²⁾ Nejpozději do 31.12.2012 se připouští hodnota 1,7 W/(m ² K). ³⁾ Nemusí se vždy jednat o teplosměnnou plochu, ovšem s ohledem na postup výstavby a možné změny způsobu užívání se zajišťuje tepelné ochrana na uvedené úrovni. ⁴⁾ V případě podlahového a stěnového vytápění se do hodnoty součinitele prostupu tepla započítávají pouze vrstvy od roviny, ve které je umístěno vytápění, směrem do exteriéru. ⁵⁾ Platí i pro rámy využívající kombinace materiálů, včetně kovových, jako jsou například dřevo-hliníkové rámy. ⁶⁾ Odpovídá výpočtu součinitele prostupu tepla podle ČSN 73 0540-4, (tj. bez vlivu zeminy), nikoli výslednému působení podle ČSN EN ISO 13370. ⁷⁾ Nejpozději do 31.12.2012 se připouští hodnota 1,5 W/(m ² K). | | | |

Příloha B: Požadavky na zvukovou izolaci v místnostech dle ČSN 73 0532

Tabulka B1 – Požadavky na zvukovou izolaci mezi místnostmi v budovách

| Č. | Hlučný prostor (místnost zdroje zvuku) | Požadavky na zvukovou izolaci | | | |
|---|---|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | | Stropy | | Stěny | Dveře |
| | | $R'_{w} D_{nT,w}$ | $L'_{n,w} L'_{nT,w}$ | $R'_{w} D_{nT,w}$ | R_w |
| | | [dB] | [dB] | [dB] | [dB] |
| A. Bytové domy, rodinné domy – nejméně jedna obytná místnost bytu | | | | | |
| 1 | Všechny ostatní obytné místnosti téhož bytu | 47 | 63 | 42 | 27 |
| B. Bytové domy – obytné místnosti bytu | | | | | |
| 2 | Všechny místnosti druhých bytů, včetně příslušenství | 53 52 ¹⁾ | 55 58 ¹⁾ | 53 52 ¹⁾ | - |
| 3 | Společné prostory domu (schodiště, chodby, terasy, kočárkárny, sušárny, sklípky apod.) | 52 | 55 | 52 | 32 ²⁾ 37 ³⁾ |
| 4 | Průjezdy, podjezdy, garáže, průchody, podchody | 57 | 48 | 57 | - |
| 5 | Místnosti s technickým zařízením domu (výměníkové stanice, kotelny, strojovny výtahů, strojovny VZT, prádelny apod.) s hlukem: $L_{A,max} \leq 80$ dB $80 < L_{A,max} \leq 85$ dB | 57 ⁴⁾ 62 ⁵⁾ | 48 ⁴⁾ 48 ⁵⁾ | 57 ⁴⁾ 62 ⁵⁾ | - |
| 6 | Provozovny s hlukem $L_{A,max} \leq 85$ dB: s provozem nejvýše do 22:00 h s provozem i po 22:00 h | 57 62 | 53 48 | 57 62 | - |
| 7 | Provozovny s hlukem $85 < L_{A,max} \leq 95$ dB s provozem i po 22:00 h | 72 ⁵⁾ | 38 ⁵⁾ | - | - |
| C. Terasové nebo řadové domy a dvojdomy – obytné místnosti bytu | | | | | |
| 8 | Všechny místnosti v sousedním domě | 57 | 48 | 57 | - |
| D. Hotely a zařízení pro přechodné ubytování – ložnicový prostor ubytovací jednotky | | | | | |
| 9 | Všechny místnosti druhých jednotek | 52 | 58 | 47 | 42 ⁶⁾ |
| 10 | Společně užívané prostory (chodby, schodiště) | 52 | 58 | 45 | 32 27 ⁷⁾ |
| 11 | Restaurace a jiné provozovny s provozem do 22:00 h | 57 | 53 | 57 | - |
| 12 | Restaurace a jiné provozovny s provozem i po 22:00h ($L_{A,max} \leq 85$ dB) | 62 | 48 | 62 | - |
| E. Nemocnice, zdravotnická zařízení – lůžkové pokoje, ordinace, pokoje lékařů, operační sály apod. | | | | | |
| 13 | Lůžkové pokoje, ordinace, ošetřovny, operační sály, komunikační a pomocné prostory (chodby, schodiště) | 52 | 58 | 47 ⁸⁾ | 27 |
| 14 | Hlučné prostory (kuchyně, technická zařízení budovy) $L_{A,max} \leq 85$ dB | 62 | 48 | 62 | - |
| F. Školy a vzdělávací instituce – učebny, výukové prostory | | | | | |
| 15 | Učebny, výukové prostory | 52 | 58 | 47 | - |
| 16 | Společné prostory, chodby, schodiště | 52 | 58 | 47 | 32 27 ⁷⁾ |
| 17 | Hlučné prostory (dílny, jídelny) $L_{A,max} \leq 85$ dB | 55 | 48 | 52 | - |
| 18 | Velmi hlučné prostory (hudební učebny, dílny, tělocvičny) $L_{A,max} \leq 90$ dB | 60 ⁹⁾ | 48 ⁹⁾ | 57 ⁹⁾ | - |

| Č. | Hlučný prostor (místnost zdroje zvuku) | Požadavky na zvukovou izolaci | | | |
|--|---|-------------------------------|------------------------|---------------------|-------|
| | | Stropy | | Stěny | Dveře |
| | | R'_{w} $D_{nT,w}$ | $L'_{n,w}$ $L'_{nT,w}$ | R'_{w} $D_{nT,w}$ | R_w |
| | | [dB] | [dB] | [dB] | [dB] |
| G. Administrativní a správní budovy, firmy – kanceláře a pracovní | | | | | |
| 19 | Kanceláře a pracovní s běžnou administrativní činností, chodby, pomocné prostory | 47 | 63 | 37 | 27 |
| 20 | Kanceláře a pracovní se zvýšenými nároky, pracovní vedoucích pracovníků ¹⁰⁾ | 52 | 58 | 45 | 32 |
| 21 | Kanceláře a pracovní pro důvěrná jednání nebo jiné činnosti vyžadující vysokou ochranu před hlukem ¹⁰⁾ | 52 | 58 | 50 | 37 |

VYSVĚTLIVKY

- ¹⁾ Požadavek se vztahuje pouze na starou, zejména panelovou výstavbu, pokud neumožňuje dodatečná zvukově izolační opatření.
- ²⁾ Platí pro vstupní dveře z chodby do předsíně (vstupní haly) bytu, je-li chráněný prostor místností oddělen dalšími dveřmi.
- ³⁾ Platí pro vstupní dveře z chodby přímo do chráněné obytné místnosti bytu.
- ⁴⁾ Kromě splnění stanovených požadavků na vzduchovou a kročejovou neprůzvučnost mohou být nutná další opatření, kdy je nutné stroje a zařízení uložit, zavěsit či upravit tak, aby nedocházelo k šíření a přenosu zvuku konstrukcí (vibracemi) a instalacemi (rozvody médií, šachtami aj.) a k překročení hygienických limitů hluku ve vnitřních chráněných prostorech. V prokázaných případech, kdy zařízení nebude zdrojem hluku a vibrací, lze požadavky snížit o 5 dB. V opodstatněných případech se doporučuje provést předběžné posouzení pomocí akustické studie.
- ⁵⁾ Kromě splnění stanovených požadavků na vzduchovou a kročejovou neprůzvučnost mohou být nutná další opatření, kdy je nutné stroje a zařízení uložit, zavěsit či upravit tak, aby nedocházelo k šíření a přenosu zvuku konstrukcí (vibracemi) a instalacemi (rozvody médií, šachtami aj.) a k překročení hygienických limitů hluku ve vnitřních chráněných prostorech. Místnosti s provozním hlukem s dominantním obsahem nízkých kmitočtů nebo s tónovými složkami (např. hlučné stroje, diskotéky apod.) se zásadně nedoporučuje situovat do blízkosti bytových jednotek. Zejména přenos nízkých kmitočtů nelze v běžných obytných budovách účinně omezit. V odůvodněných případech se doporučuje provést předběžné posouzení pomocí akustické studie. Provozovny s hlukem $L_{Amax} > 95$ dB se nemají umísťovat do obytných budov.
- ⁶⁾ Platí pro spojovací dveře mezi samostatnými ubytovacími jednotkami (např. dvojité nebo zádveří).
- ⁷⁾ Platí pro vstupní dveře, je-li chráněný prostor oddělen předsíní nebo zádveřím s dalšími dveřmi.
- ⁸⁾ U stěn s prosklenými částmi, přes které je nutný vizuální kontakt lze požadavek snížit o 5 dB a u celoplošných zasklení až o 10 dB (např. operační sály, JIP).
- ⁹⁾ Vzhledem k možnému přenosu nízkých kmitočtů mohou být nutná další opatření. Situace obvykle vyžaduje individuální posouzení.
- ¹⁰⁾ Požadavky platí rovněž mezi uvedenými pracovními a přílehlými chodbami, popř. pomocnými prostory.