

Disertační práce

Zpracování a charakterizace přírodních kompozitů

Processing and Characterization of Natural Composites

Autor: **Ing. Přemysl Strážnický**

Studijní program: P3909 / Procesní inženýrství

Studijní obor: 3909V013 / Nástroje a procesy

Školitel: doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.

Oponenti: prof. Dr. Ing. Libor Beneš
doc. Ing. Jakub Javořík, Ph.D.
doc. Ing. Miroslav Greger, CSc.

Zlín, červen 2021

© Přemysl Strážnický

Vydala **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně** v edici **Disertační práce**.

Publikace byla vydána v roce 2021.

Klíčová slova: kompozit, ovčí vlna, vlákno, akustika, pohltivost, odrazivost, elektrická vodivost, polyuretan, epoxid, polyester

Key words: composite, sheep wool, fibre, acoustics, absorption, reflectance, electrical conductivity, polyurethane, epoxy, polyester

Poděkování:

V první řadě bych rád poděkoval své školitelce doc. Ing. Soně Rusnákové, Ph.D. a konzultantovi doc. Ing. Martinovi Vašinovi, Ph.D. za velkou ochotu, vstřícnost, pozitivní přístup, cenné praktické rady a odborné vedení.

Poděkování patří všem profesorům, docentům, doktorům, inženýrům a všem pracovníkům, které jsem měl během svého studia nejen na Fakultě technologické tu čest potkat a získat od nich cenné rady a poznatky.

V neposlední řadě patří můj velký dík rodině, zejména manželce, která mě ve studiu podporovala a motivovala.

Tato disertační práce byla spolufinancována z projektu Interní grantové agentury Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně IGA/FT/2018/004.

ABSTRAKT

Ovčí vlna je známá především jako materiál využívaný již od pradávna, zejména v oděvním, ale i ve stavebním a strojírenském odvětví. Používá se především pro výborné termoizolační vlastnosti, v lidovém užívání sloužila nejen k výrobě obuvi, ale také příkrývek. V pozdější době našla také své uplatnění ve výrobě filců pro obráběcí a testovací zařízení například pro testování otěru.

Kompozitní materiál s polymerní matricí z fenol formaldehydové pryskyřice a plnivem z dřevěných pilin vynalezl v roce 1907 chemik Leo Hendrik Baekeland, přičemž se tento materiál vryl do paměti pod jménem Bakelit a používal se zejména pro výrobu lehkých dílů například krytů elektroniky, automobilů, dále se z něj vyráběly i rukojeti nástrojů a nářadí.

Tématem disertační práce je zpracování a charakterizace přírodních kompozitů. Hlavní částí práce je výzkum přípravy přírodních kompozitů z ovčích vláken. Tato problematika řeší především komplexní přístup využití přírodních vláken v kompozitních materiálech. Výzkum v této disertační práci se zabývá zpracovatelskými vlastnostmi a experimentálním testováním mechanických, akustických, a elektrických vlastností navržených kompozitních vzorků se stejným procentuálním zastoupením plniva a vyhodnocením dosažených výsledků.

Práce přináší nové poznatky z oblasti kompozitů s organickými plnivy na bázi ovčích vláken.

Tato disertační práce navazuje na tradici využití ovčí vlny s možnou aplikací ve stavebnictví jako akustické a elektricky nevodivé bariéry se zachováním mechanických vlastností srovnatelných s běžně dostupnými stavebními materiály jako jsou například termo-akusticky izolační polyuretanové panely. Ovčí vlna, zejména plemen s nízkou jakostí vláken se stala odpadem, který není využit, především i díky nízké výkupní ceně, což by mohla být výhoda oproti vyšším nákladům na výrobu s vysokými vstupními náklady.

Disertační práce si klade za cíl najít uplatnění pro ovčí vlákna jako plniva v polymerních matricích a rozšířit poznatky o jejich statických a fyzikálních vlastnostech. Především pro ekologický potenciál srovnatelný vlastnostmi s produkty v cenově přijatelnější hladině na recyklaci a údržbu krajiny.

ABSTRACT

Sheep wool is known primarily as a material used since ancient times, especially in the clothing industry, but also in the construction and engineering industries. It is used mainly for excellent thermal insulation properties, in popular use, it was used not only for the production of footwear but also blankets.

The composite material with a polymer matrix of phenol-formaldehyde resin and a filler from wood sawdust was invented in 1907 by the chemist Leo Hendrik Baekeland, and this material was etched in memory under the name Bakelit and was mainly used for the production of light parts such as electronics, cars, he also made handles for tools and implements.

The topic of the dissertation is the processing and characterization of natural composites. The main part of the work is research into the preparation of natural composites from sheep fibers. This issue is mainly addressed by a comprehensive approach to the use of natural fibers in composite materials. The research in this dissertation deals with the processing properties and experimental testing of mechanical, acoustic, and electrical properties of designed composite samples with the same percentage of filler and evaluation of the achieved results.

The work brings new knowledge in the field of composites with organic fillers based on sheep fibres. This dissertation continues the tradition of using sheep wool with a possible application in construction as an acoustic and electrically non-conductive barrier while maintaining mechanical properties comparable to commonly available building materials.

This dissertation builds on the tradition of using sheep wool with a possible application in construction as an acoustic and electrically non-conductive barrier while maintaining mechanical properties comparable to commonly available building materials such as thermo-acoustically insulating polyurethane panels. Sheep wool especially breeds with low fibre quality, has become a waste that is not used, mainly due to the low purchase price, which could be an advantage over higher production costs with high input costs.

The dissertation aims to find applications for sheep fibres as fillers in polymer matrices and to expand knowledge about their static and physical properties. Especially for ecological potential comparable in properties with products at a more affordable level for recycling and landscape maintenance.

OBSAH

| | |
|--|----|
| ABSTRAKT | 4 |
| ABSTRACT | 5 |
| ÚVOD..... | 10 |
| SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY | 12 |
| 1. VLÁKNA | 12 |
| 1.1 Vlákna jako výztuž polymerních materiálů | 14 |
| 1.1.1 Druhy, zpracování a aplikace vláken..... | 14 |
| 1.1.2 Rostlinná vlákna | 14 |
| 1.1.3 Živočišná vlákna..... | 15 |
| 1.2 Kompozitní materiály | 15 |
| 1.2.1 Definice kompozitu obecně | 15 |
| 1.2.2 Základní rozdělení kompozitních materiálů | 15 |
| 1.2.3 Vláknové kompozity..... | 16 |
| 1.3 Ovčí vlna, úpravy a zpracování | 16 |
| 1.3.1 Vlna..... | 18 |
| 1.3.2 Potní vlna | 20 |
| 1.3.3 Mechanické a fyzikální vlastnosti vlny | 20 |
| 1.3.4 Vlhkost vlny..... | 20 |
| 1.3.5 Praní vlny..... | 21 |
| 1.4 Ovčí vlna jako izolační materiál | 23 |
| 1.4.1 Cena vlny a její uplatnění | 23 |
| 2. Rešerše v oblasti kompozitů s přírodními vlákny | 25 |
| 3. Kritické zhodnocení současného stavu z toho vyplývající cíle a hypotézy .. | 43 |
| 4. Cíle disertační práce | 44 |
| 5. Praktická část..... | 46 |
| 5.1 Prototyp přírodního kompozitního materiálu, návrh tvaru a následná specifikace výrobních podmínek..... | 46 |
| 5.1.1 Postup výroby testovacích vzorků..... | 46 |
| 5.1.2 Mikroskopická diagnostika ovčího rouna a vláken | 46 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.2 | Zvolené metody testování | 53 |
| 5.2.1 | Statická zkouška třibodovým ohybem | 53 |
| 5.2.2 | Návrh rozměru zkušebního tělesa pro ohybovou zkoušku | 54 |
| 6. | Mikroskopická diagnostika zkušebních vzorků po zkoušce třibodovým ohybem dle ČSN EN ISO 14125 | 58 |
| 7. | Měření elementárního průměru vlákna ovčích vláken | 63 |
| 7.1 | Krátká a sférická vlákna | 63 |
| 8. | Elektrické a dielektrické vlastnosti kompozitů z ovčích vláken | 67 |
| 8.1 | Základní vztahy v elektrotechnice..... | 67 |
| 8.2 | Použité přístrojové vybavení | 67 |
| 8.3 | Volba parametrů měření, použití vlastní elektrody | 68 |
| 8.4 | Kontrola homogenity vlastností připravených vzorků | 71 |
| 8.5 | Teplotní stabilita, desorpce vlhkosti..... | 74 |
| 8.6 | Vliv obsahu ovčích vláken v různých matricích | 76 |
| 8.6.1 | System EP – ovčí vlákna..... | 76 |
| 8.6.2 | System UP – ovčí vlákna | 77 |
| 8.6.3 | System PU – ovčí vlákna | 78 |
| 8.6.4 | System LATEX – ovčí vlákna | 79 |
| 8.6.5 | Vzájemné srovnání a zhodnocení přídatku ovčích vláken v EP, PU, UP a LATEX matrici | 80 |
| 8.7 | Střídavá elektrická konduktivita, ztrátový činitel, permitivita..... | 81 |
| 8.7.1 | <i>Frekvenční závislosti střídavé elektrické konduktivity</i> | 81 |
| 8.7.2 | Frekvenční závislosti reálné části komplexní permitivity | 82 |
| 8.7.3 | Frekvenční závislosti ztrátového činitele..... | 87 |
| 8.7.4 | Teplotní závislosti střídavé elektrické konduktivity | 90 |
| 8.7.5 | Teplotní závislosti reálné části komplexní permitivity | 93 |
| 8.7.6 | Teplotní závislosti ztrátového činitele | 95 |
| 9. | Akustické vlnění | 98 |
| 9.1 | Základní pojmy v akustice | 98 |
| 9.1.1 | βHluk..... | 98 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 9.1.2 | Druhy zvuku | 98 |
| 9.1.3 | Kmitočet | 99 |
| 9.2 | Ochrana zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací | 99 |
| 9.3 | Opatření snižující nepříznivé účinky hluku | 102 |
| 9.3.1 | Urbanistická ochranná opatření | 102 |
| 9.3.2 | Technická zařízení | 102 |
| 10. | Akustická pohltivost stavebních materiálů a konstrukcí | 103 |
| 10.1 | Činitele zvuku | 103 |
| 10.2 | Neprůzvučnost | 104 |
| 10.2.1 | Vzduchová neprůzvučnost | 104 |
| 10.2.2 | Kročejevá neprůzvučnost | 104 |
| 11. | Měření zvukové pohltivosti materiálů | 105 |
| 11.1 | Koeficient redukce hluku | 107 |
| 12. | Měření přenosu mechanického kmitání | 112 |
| 12.1 | Naměřené hodnoty | 115 |
| 13. | Měření propustnosti a absorpce vodní páry | 117 |
| 13.1 | Měření a výpočet absorpce vodní páry | 117 |
| 13.2 | Naměřené hodnoty | 118 |
| 13.3 | Měření propustnosti vodní páry | 119 |
| 13.4 | Naměřené hodnoty | 120 |
| 14. | Měření činitele prostupu světla | 121 |
| 14.1 | Světelné ztráty při průchodu světla osvětlovacím otvorem | 121 |
| 15. | Ekonomické zhodnocení | 124 |
| 16. | PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU | 128 |
| 17. | PŘÍNOS PRÁCE PRO PRAXI | 129 |
| 18. | ZÁVĚR | 130 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 133 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK | 141 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 144 |
| | SEZNAM TABULEK | 148 |

| | |
|-----------------------------------|-----|
| ODBORNÝ ŽIVOTOPIS AUTORA | 149 |
| PUBLIKAČNÍ AKTIVITY STUDENTA..... | 151 |

ÚVOD

Ovčí vlna a vlákna jsou obnovitelným zdrojem od počátku chovu ovcí, kdy jsou z archeologických nálezů známy části oblečení a obuvi s touto aplikací. Vlivem šlechtění jednotlivých plemen ovcí bylo dosaženo jakosti vlny s vyšší hustotou vláken a podsady, což umožňuje také zvýšení hebkosti a délky jednotlivých vláken. Jsou to především plemena typu Merino chovaná v Austrálii, ale také na Novém Zélandu, a i v Evropě. V České republice je chováno toto plemeno převážně v nížinách, v horských oblastech se vyskytuje méně. Vysoký vliv na jakost ovčí vlny, respektive vláken má především vyvážená výživa a starost o zdraví ovcí obecně.

Veškeré náklady na chov ovcí se následně odráží i v cenách výkupu ovčí vlny i ve výrobcích samotných. Jedná se například o luxusní oděvy či využití těchto materiálů při výrobě sportovních potřeb v podobě surfařského prkna vynalezeného v Austrálii.

Z rešerše na stav techniky vyplývá, že uplatnění přírodních vláken v průmyslové praxi je mnoho, známy jsou především z posledních let u výzkumu Technické univerzity v Liberci pana profesora Petra Lenfelda, jehož výzkum byl zaměřen především na vstřikované díly z polypropylenu pro automobilový průmysl. Byly zde použity především vláknité materiály na přírodní bázi například celulózy, buničiny, lnu, kokosu, juty, ale i ovčí vlny. Motivací tohoto výzkumu byla především biodegradabilita materiálu, ale také částečná nezávislost na výrobcích z ropy.

Ve dvacátém století, zejména v době druhé světové války, byly vynalezeny materiály s obsahem skelných vláken, ale také kompozitních materiálů v automobilovém průmyslu, například vozů Citroen, u něhož byly použity na části karoserie. S rozvojem výroby nanovláken se v poslední době používá kompozitních materiálů s uhlíkovými a grafenovými nanovláknami. Přičemž narůstá zatížení přírodního prostředí při výrobě těchto materiálů, především skleníkových plynů, jež je snaha dlouhodobě snižovat i vlivem globálního oteplování a snížení množství odpadu.

Cirkulární ekonomikou a s rozvojem biodegradabilních kompozitů se kromě rostlinných a živočišných vláken využívá i minerálních vláken. Nalezené publikace a průmyslová práva, pochází z celého světa, velká část například z Indie, Číny, Ruska, dále z Evropy a Spojených států Amerických.

Kompozity na bázi ovčích vláken umožňují absorbovat hluk už při plnění několika hmotnostními procenty, při měření bylo zjištěno, že za určitých podmínek jsou izolanty, což bylo prokázáno měřením elektrických a dielektrických vlastností. Některé z použitých reaktoplastových matric dosahují lepších tlumících vlastností oproti plněné matici.

Výše uvedené zjištěné vlastnosti jsou nutné k určení, jaké budou mít výrobky možnosti použití, jak bude možné výrobky vyrábět.

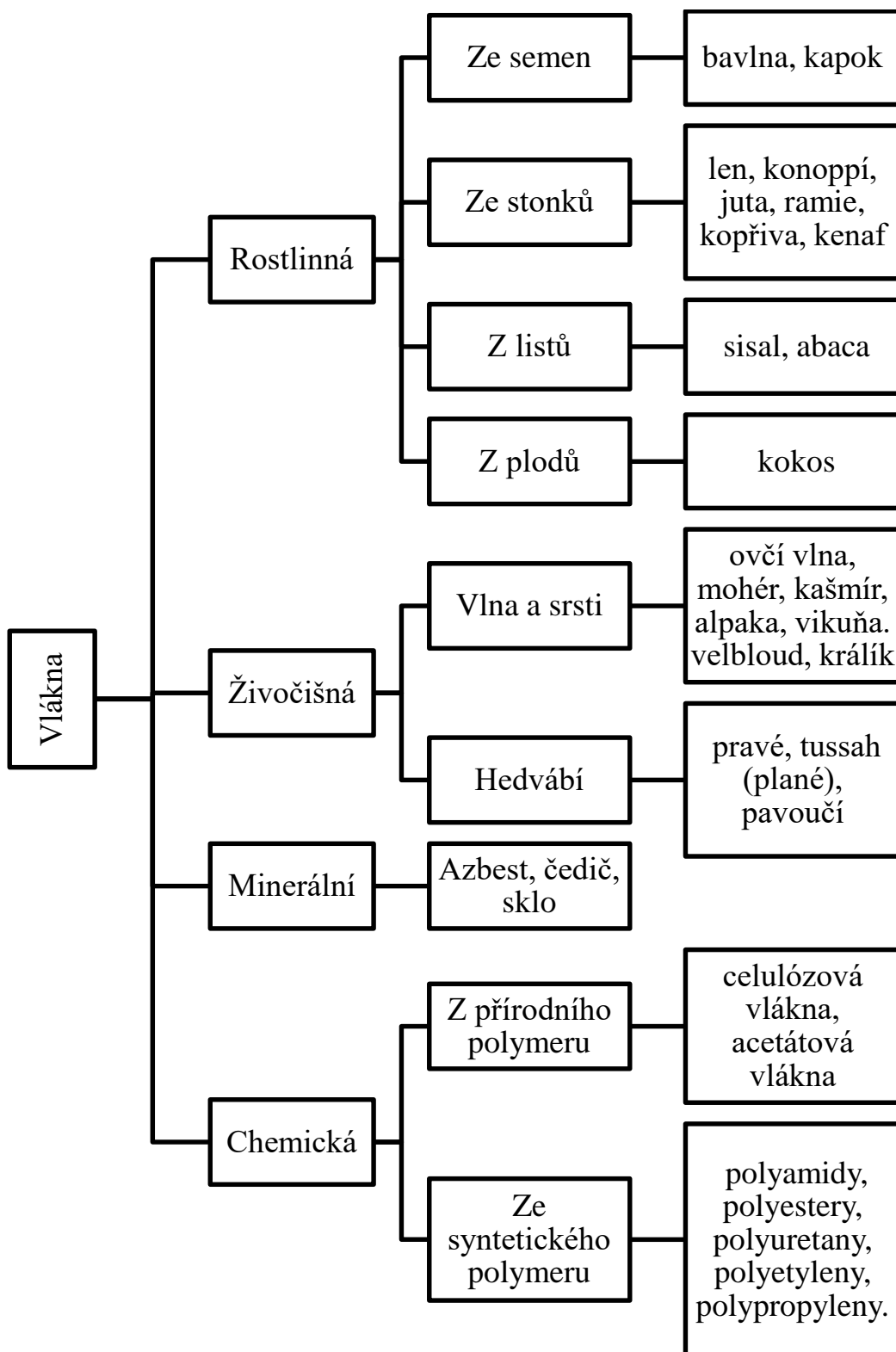
Hlavní částí práce je testování připravených přírodních kompozitů z ovčích vláken. Testování bylo provedeno metodou tříbodovým ohybem, elektrické a dielektrické vlastnosti, akustickou pohltivost, přenosový útlum, prostup světla, absorpce a prostupu vodních par. Pro plnění od 1 do 5 hmotnostních procent. Tato měření bylo potřeba provést z důvodu možné aplikace v automobilovém průmyslu. Tato měření mají vliv například na statické zatížení v ohybu či schopnost povrchové úpravy kompozitních dílů. Měřeními byly zhodnoceny výhody a nevýhody těchto kompozitních materiálů. Výhodou jsou dobré akustické vlastnosti a možnost povrchové úpravy. Mezi možné aplikace lze zařadit protihlukové bariéry ve výrobě, dopravě i domácnosti. Nevýhodou je křehkost kompozitů, aplikace v automobilovém průmyslu není pro namáhané díly možná.

SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

1. VLÁKNA

Vlákna jsou výchozí suroviny, které dalším technologickým zpracováním přecházejí v příze a z nich v tkaniny, pleteniny a další speciální plošné textilie. Nesprádatelná i některá sprádatelná vlákna jsou používána jako výplňový materiál, pro výrobu netkaných textilií, popřípadě jsou upravovány tvarováním pro další použití především v pletářském průmyslu. Zpracování plošných textilií je především konfekční postup, a to jak pro průmysl oděvní, tak technický sektor. Přestože každou surovinu můžeme použít na všechny textilní výrobky, přece jenom některé z nich mají pro svoje vlastnosti deklarované použití. [1,2]

Z hlediska mechanických vlastností mají některá vlákna vlastnosti převyšující vlastnosti konvenčně používaných materiálů. Vlákna dělíme na krátká a dlouhá. Krátká vlákna jsou definována od 0,1 mm do 5 mm délky, dlouhá vlákna jsou tedy definována od délky 5 mm. Aktuálně se využívají vlákna přírodní a chemická. Přírodní vlákna vynikají zejména svou obnovitelností, a to jak u rostlinného, tak i živočišného původu. [3]



Obr. 1: Schématické rozdělení vláken [2]

1.1 Vlákna jako výztuž polymerních materiálů

1.1.1 Druhy, zpracování a aplikace vláken

Kromě toho se na trhu objevují nová vlákna, a to jak strukturálně nová. Žádná textilní surovina však nevyniká nejvyšší dokonalostí ve všech vlastnostech. V některých je nadprůměrná, popřípadě i podprůměrná. I když se mnohé vlastnosti dají konečnou úpravou zlepšit, přesto v první řadě záleží na chemickém složení, povrchové a vnitřní struktuře, konstrukci a celkové geometrii vlákna. Podrobnější schéma a rozdělení druhů vláken je na obrázku 1. [1,2]

1.1.2 Rostlinná vlákna

Pro vyztužování plastů se v současné době používají především rostlinná vlákna, která mají jako základ celulózu. Mezi ně patří len, konopí, sisal, juta, ramie a bavlna. Jejich výhodou je odolnost proti stárnutí a čichová nezávadnost při měnících se klimatických podmínkách. Pozoruhodné jsou i pevnosti v tahu. Vzhledem k nízké měrné hmotnosti jsou tato přírodní rostlinná vlákna zajímavou surovinou pro lehké konstrukce. Jako přednosti je nutno uvést zejména nízkou hustotu, malou abrazi při mechanickém opracování a výhodnou likvidaci spalováním. Problémy naopak působí v závislosti vlastností vláken na podmínkách jejich růstu, citlivosti na působení vlhkosti, omezené možnosti volby matrice vzhledem k nebezpečí rozkladu vláken při vysoké teplotě zpracování, kdy odolnost je jen do 200 °C, u lnu i více, nákladná předběžná úprava pro zlepšení vazby s matricí, omezená délka vláken a možnost změn vyvolaných biologickým napadením. Mezi nejrozšířenější druhy přírodních vláken patří len a juta. [3]

Tab. 1 Porovnání mechanických vlastností přírodních a skleněných vláken [3]

| Vlákno Vlastnosti | Sklo | Konopí | Len | Juta | Sisal |
|--|-------------|---------------|------------|-------------|--------------|
| E-modul [N.mm ⁻²] | 75000 | 70000 | 30000 | 55000 | 20000 |
| Mez pevnosti v tahu [N.mm ⁻²] | 3500 | 600 | 750 | 550 | 600 |
| Tažnost [%] | 4 | 1,6 | 2 | 2 | 2 |
| Hustota [g.cm ⁻³] | 2,54 | 1,45 | 1,48 | 1,4 | 1,45 |

1.1.3 Živočišná vlákna

Základní stavební jednotkou živočišných vláken jsou bílkoviny. U vláken ze srsti se tato bílkovina nazývá keratin, proto se jim často říká keratinová. Bílkovina bource morušového, který produkuje přírodní hedvábí, se nazývá fibroin, odtud fibroinová vlákna. [4]

Do této kategorie spadají vlákna, která jsou získávána nejčastěji ze srsti zvířat, jako např. ovčí vlna, srst kozy angorské, kašmírské, srst velbloudí, králičí a zaječí, atd. Dále sem také patří hedvábí získávané z kokonů bource morušového - pravé hedvábí, tussah - plané hedvábí získávané z divoce žijících motýlů - lišajů. Ale můžeme sem začlenit i pavoučí hedvábí. [4]

Ovčí vlna vyniká zejména v nehořlavosti, je samozhášivá a nad 560 °C se škvaří a doutná. [5]

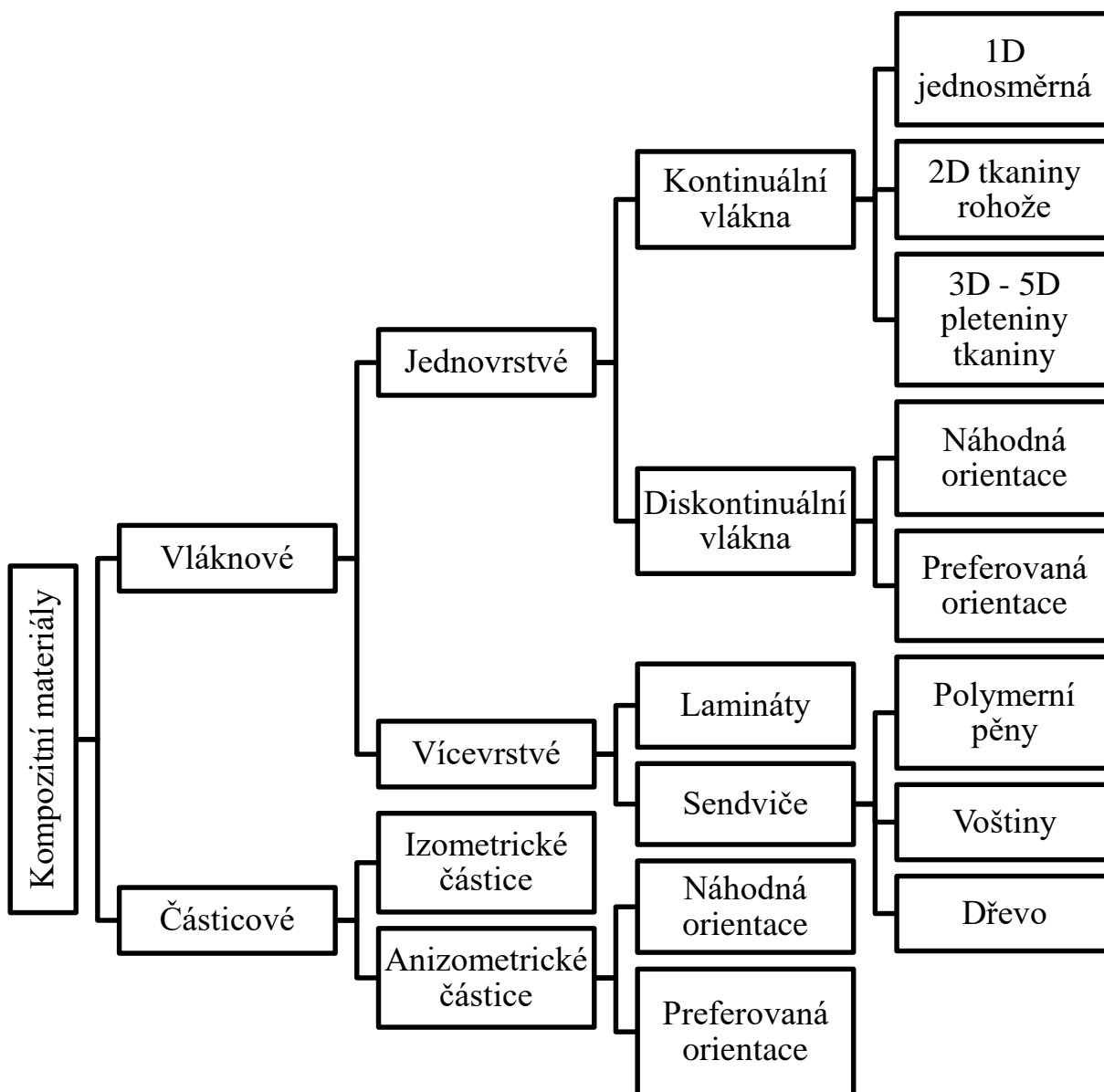
1.2 Kompozitní materiály

1.2.1 Definice kompozitu obecně

Kompozitní materiály nejsou v pravém slova smyslu hotovým materiálem, ale surovinou, tzv. stavebním prvkem, skládajícím se z určitého množství vyztužujících vláken, orientovaných přednostně v určitých směrech a matrice neboli pojiva. Kompozit ve tvaru plošného výrobku z jednotlivých rozlišitelných vrstev, který vzniká spojením vláken a pryskyřice nezávisle na formě konstrukčního prvku nebo stavu výroby nazýváme laminát, z latinského výrazu lamina = vrstva. Lamináty mohou být nevytvrzené a vytvrzené. Dále mohou být lamináty jednosměrné, které obsahují vyztužující vlákna orientovaná pouze v jednom směru nebo více vrstvé, což je kompozitní vrstva skládající se z rozdílných nebo různě orientovaných vrstev. [3]

1.2.2 Základní rozdělení kompozitních materiálů

Většina kompozitů je vyráběna za účelem zlepšení mechanických vlastností, jako je pevnost, tažnost, tuhost či odolnost proti vysokým teplotám. Vlastnosti kompozitu jsou závislé na typu použité vyztuže a matrice, ale také na geometrii vyztuže. Základní rozdělení je tedy na vláknové kompozity a částicové (partikulární) kompozity. Podle velikosti příčného rozměru vyztuže jsou rozděleny na makro kompozity, mikro kompozity a nano kompozity. Podrobnější členění kompozitních materiálů je na obrázku 2. [3]



Obr. 2: Schématické rozdělení kompozitních materiálů [3]

1.2.3 Vláknové kompozity

Vláknové kompozitní materiály se cíleně využívají již řadu let. Příkladem jednoduchých kompozitů mohou být dříve vyráběné cihly vyztužené celulóзовými vlákny, dřevotříska a železobeton. Hlavním tahounem vývoje kompozitů však byla a je vojenská a letecká technika.

1.3 Ovčí vlna, úpravy a zpracování

Ovčí vlna je velmi specifickou surovinou závislou především na plemeni ovcí, ale i na péči o ně, zejména krmivo, ustájení i místo chovu. Kvalitní vlnu mají plemena merino a jejím šlechtěním vytvořená podobná plemena. Plemena

chovaná na Valašsku jsou často určena na kombinovanou užitkovost, popřípadě na maso a mléko, ovčí vlna tak není prioritním výsledkem chovu. Tato vlna bývá často kazová. Špatná kvalita vlny může mít vliv na výsledný produkt, proto jsou pro textilní výrobu vybírány jen ta nejkvalitnější vlákna.

Ostatní méně kvalitní vlákna bývají chovateli likvidována. Některé společnosti vykupují i nekvalitní ovčí vlnu a po vyprání z ní vyrábějí izolační materiál pro zateplení střešních a roubených konstrukcí. Pro toto využití je používána již odnepaměti, zejména pro udržení objemu. Suchá vlna vyniká i v dobrém nasákavosti vzdušné páry, kterou následně postupně uvolňuje do ovzduší.

Ovčí vlna je přírodní materiál s dlouhou životností a ve vlhku nepodléhá tlení a vyznačuje se vysokou hydroskopijí až 30 %, kdy se vzrůstající vlhkostí se její izolační schopnost zvyšuje vlivem sorpčního tepla. Do České republiky se dováží také ovčí vlna z Rakouska, Austrálie a Nového Zélandu, což má negativní vliv na životní prostředí vlivem dopravy. Vlna se průmyslově zpracovává do formy tepelněizolačních rohoží tloušťek 40 až 160 mm, technologií kolmého kladení mykaného ovčího rouna, bez použití pojiv. Součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,038 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Třída hořlavosti dle DIN 4102 – část 1 je B2, dle ČSN 730862 je C3, objemová hmotnost $\rho = 12,5$ až $25 \text{ kg}/\text{m}^3$. [1]

Tab. 2 Užité vlastnosti vlny plemen ovcí chovaných v České republice [5]

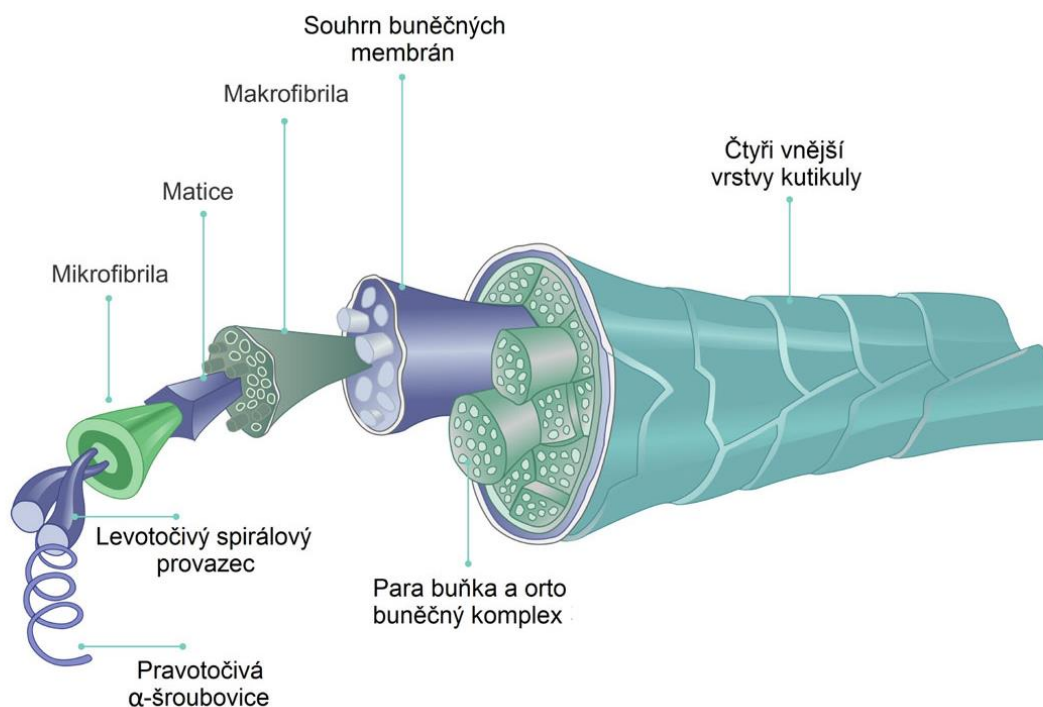
| Plemeno | Průměr vláken vlny [μm] | Roční délka vlny [cm] | Výtěžnost vlny [%] | Roční stráž potní vlny [kg] | |
|---------------------|--------------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------------|------------|
| | | | | Bahnice | Berani |
| Původní valaška | nad 40 | 20 | 65 až 70 | 1,5 až 2,0 | 2,0 až 3,0 |
| Zušlechtěná valaška | 33 až 40 | 15 až 20 | 60 až 65 | 3,0 až 3,5 | 4,5 až 5,5 |
| Šumavská | 33 až 45 | 15 až 20 | 60 až 65 | 3,0 až 3,5 | 4,0 až 5,5 |
| Cigája | 29 až 35 | 10 až 12 | 55 až 65 | 3,0 až 3,5 | 4,0 až 5,5 |
| Bergschaf | 33 až 40 | 15 až 20 | 60 až 65 | 4,0 až 5,0 | 5,0 až 6,0 |
| Merinolandschaf | 23 až 27 | 10 až 15 | 50 až 55 | 4,5 až 5,0 | 5,0 až 7,0 |
| Merino | 23 až 27 | 7 až 9 | 48 až 50 | 5,0 až 5,5 | 7,0 až 9,0 |

Tab. 3 Jemnost vláken ovčích vláken [5]

| Jemnost vláken | Průměr vláken vlny [μm] |
|-----------------------|--------------------------------|
| Superjemné | méně než 18 |
| Jemné | 18 až 22 |
| Střední | 22 až 30 |
| Hrubé | 30 až 36 |
| Velmi hrubé | 36 a více |

1.3.1 Vlna

Vlna je vláknitý rohovitý produkt kůže. Roste nepřetržitě z primárních a sekundárních vlasových folikulů, které se zakládají ve škáře v období embryonálního vývoje. Na jejich počet, kromě vlivu plemene, má zásadní význam výživa matky ve druhé polovině březosti. Podstatnou část vlny tvoří bílkoviny, mezi ně patří keratin. Keratin obsahuje asi 20 aminokyselin, umělé vlákno jen max. 3, proto specifické vlastnosti vlny nelze plně synteticky nahradit. Na tvorbu vlny mají rozhodující vliv aminokyseliny obsahující síru: cystein, cystin a metionin. Vlastní vlas se na příčném řezu skládá ze šupinaté vlasové pokožky (epidermis), blány (subcutis) a kory (cutis). Odumřelé buňky kory tvoří dřeň, která je typická pro pesíkaté chlupy. Sušina vlny v průměru obsahuje 50 až 52 % uhlíku, 22 až 25 % vodíku, 15 až 17 % kyslíku, 6 až 8 % dusíku a 3 až 5 % síry. [5]



Obr. 3: Struktura ovčího vlákna. [6]

Výroba firmy Naturwool s.r.o., jsou zejména v místním dosahu, kdy vykupují vlnu od chovatelů ze Zlínského a Trenčínského kraje. Výhodou oproti minerální vlně je, že ovčí vlna působí jako prostorový filtr a přírodní čistička vzduchu, kdy pohlcuje škodliviny z interiéru a udržuje tak optimální úroveň vlhkosti v místnosti. Velkou výhodou je také, že ovčí vlna nedráždí pokožku ani dýchací cesty a je zcela zdravotně nezávadná. Je také dokonalým izolačním materiálem. Důkazem toho jsou ovečky samotné, neboť byly a jsou schopné se adaptovat těm nejhorším klimatickým podmínkám, a právě jejich vlna je schopná ochránit je před extrémním chladem, horkem či vlhkostí. Ovčí vlna je tvořena miliony vláken, které díky svému specifickému tvaru vytváří vzduchové kapsičky, zachycující ohřátý vzduch a perfektně tím izolují a chrání tělo ovečky během chladných období, a naopak při vysokých teplotách v příjemném chladu. Ovčí vlna neobsahuje žádné škodlivé látky. Naopak, v interiéru působí jako prostorový filtr, který na sebe dokáže vázat a efektivně absorbovat například ozón, který je vedlejším produktem všech tiskáren, kopírek a počítačů. Další látkou, kterou je vlna schopná vstřebávat je formaldehyd, jež je považován za nejnebezpečnější škodlivou látku v interiérech domů a bytů. Formaldehyd je uvolňován z některých dřevotřískových materiálů a lepenek, koberců, lepidel a tmelů, tabákového kouře nebo nedokonalým spalováním fosilních paliv, proto se dá ovčí vlna nazývat jakousi přírodní čističkou vzduchu. Vlna prokazatelně udržuje optimální úroveň vlhkosti v interiéru. Je totiž schopná na sebe přebytečnou vlhkost z prostoru vázat

(bez jakéhokoliv vlivu na její izolační vlastnosti) a v závislosti na aktuální vlhkosti interiéru ji postupně uvolňuje, čímž ji dokáže udržovat na optimální hodnotě 40 až 60 %, v závislosti na aktuálním ročním období. Ovčí vlna je zcela zdravotně nezávadná a jako materiál je vhodná i pro alergiky. Zároveň neobsahuje žádná ostrá vlákna, která by dráždila dýchací cesty nebo pokožku, proto samotná manipulace s ní je velmi příjemná a zcela bez nutnosti použití jakýchkoliv ochranných pomůcek. Vlna navíc nehoří, má samozhášivou schopnost a teprve až při 560 stupních celsia se začíná škvařit. Díky svému specifickému tvaru a struktuře vláken je maximálně pružná, její vlákna se za žádných okolností nelámou a jsou odolná vůči opakovanému napínání a stlačování, díky čemuž je po aplikaci schopná zcela vyplnit izolovaný prostor. Výsledná izolace není připevněna na žádnou nosnou mřížku, ze které by se mohla izolace po nějaké době uvolnit. Při výrobě se k ovčí vlně přidá malé množství dvousložkového vlákna (max. 10 %), které se horkem roztaví a spojí jednotlivá vlákna ovčích vláken. Izolace je tak daleko pružnější a pevnější. [7]

Ovčí vlna je klasická textilní surovina s řadou specifických vlastností, pro které si zachovává nezastupitelné místo v textilním průmyslu. Pojem „vlna“ se běžně spojuje s chovem ovcí, avšak kromě ovčích vláken má shodné využití také srst z alpaky, gazely, králíků, angorská vlna z koz např. kašmír, mohér, ale také lam a velbloudů. Sprádat vlnu se lidé naučili již v neolitu. [5]

1.3.2 Potní vlna

Potní vlna obsahuje v průměru 15 až 72 % vlastní vlny, 12 až 47 % tuku a potu, 3 až 24 % nečistot rostlinného původu a prachu a 4 až 24 % vlhkosti. Její množství a kvalitu ovlivňuje řada činitelů např. plemenná příslušnost, pohlaví, věk, výživa, ustájení, genetické faktory apod. Z technologického hlediska je důležitý termín a způsob stříže, ošetření, uskladnění a způsob zpracování vlny. [5]

1.3.3 Mechanické a fyzikální vlastnosti vlny

K nejdůležitějším vlastnostem vlny patří jemnost, délka, zkadeření, barva, lesk, vyrovnanost, charakter, pevnost, tažnost, výtěžnost, pružnost, vlhkost, hygroskopičnost atakdále [5]

1.3.4 Vlhkost vlny

Největší podíl vlhkosti ve vlně je vázán mechanicky nikoliv chemicky, přičemž po vysušení při 105 °C již není vlna z okolního prostředí nebo úplným namočením pohlit vlhkost zpět. [5]

1.3.5 Praní vlny

Před praním se vlna skládá na drátěná síta a ty se ukládají do barelu s vodou a následně se ukládají na sebe, ta se nechají maximálně nasáknout. Tento proces je nezbytný pro úsporu vody při praní a zbavení se nečistot. Použitá voda se používá opakovaně. Tuto technologii zpracování ovčí vlny využívají na Farmě Vrbětice ve Zlínském kraji. Technologie praní vlny spočívá v mechanickém očištění surové ovčí vlny od hrubých nečistot, jako jsou zbytky krmiva, rostlin, exkrementů, dále se namáčí v nádobách na sítěch po dobu jednoho nebo dvou dnů. Voda je pak dále použita při praní vlny, které probíhá ve dvou krocích. Při praní vlny se používá prací prostředek, detergent, který odstraňuje lanolin. Lanolin je znám z kosmetického průmyslu a farmacie. Z lanolinu se vyrábí pro-vitamín D3 a z něho následně vitamín D3. Takto vypraná vlna se suší vzduchem. Následně může být ve formě vlny samotné nebo je dále zpracována do rouna, které může být dále zpracováno ve formě rohoží na různé tloušťky. Materiály pro tepelnou izolaci jsou opatřeny postříkem proti parazitům, zejména molům. Podobná technologie ochranného prostředku se používá při výrobě plstěných výrobků například klobouků.



Obr. 4: Technologie máčení před praním ovčí vlny (foto autora)



Obr. 5: Technologie praní ovčí vlny (foto autora)

V textilním průmyslu se vytríděná vlna pere v pracích vanách (leviathanech) a pračkách při teplotě 40 °C. Vypraná vlna se suší a následně se mechanicky čistí od rostlinných příměsí a krátkých vláken. [7]

Další možností je využití technologie karbonizace ve 3 % roztoku H_2SO_4 s následnou neutralizací nebo pomocí pracích přípravků k tomu určených. Nevýhodou karbonizace je zhoršení mechanických a fyzikálních vlastností vlny,

kteřou lze pak pouŹít jen na m3n3 kvalitn3 v3řobky. Z kvalitn3 vlny se vyr3b3j3 3esance, kter3 slouŹ3 k v3řob3 kvalitn3ch fin3ln3ch v3řobk3, v3etn3 pletac3ch p3ř3z3. [5]

1.4 Ov33 vlna jako izola3n3 m3teri33l

Jako izola3n3 m3teri33ly pro zateplen3 pl33ř33 budov a st3řech jsou pouŹ3v3ny p3ř3rodn3, polymern3 a kompozitn3 m3teri33ly. P3ř3rodn3mi m3teri33ly jsou nap3ř3klad ov33 vlna, sl3ma, konop3 a celul3za. Polymern3mi m3teri33ly jsou polyuretanov3 a polystyrenov3 p3ny. Kompozitn3mi m3teri33ly mohou b3t polyuretanov3 p3ny pln3n3 vl3kny nap3ř3klad z celul3zy a pap3ru. Z3kladn3mi vlastnostmi tepeln3-izola3n3ch m3teri33l3 jsou difuzn3 odpor μ a velmi mal3 schopnost veden3 tepla. Veden3 tepla je vyj3d3řeno pomoc3 sou3initele tepeln3 vodivosti λ . 33m je sou3initel tepeln3 vodivosti men33, t3m lep33 tepeln3-izola3n3 vlastnosti m3teri33l m3. [8]

Tab. 4 Tepeln3 izola3n3 vlastnosti p3ř3rodn3ch a polymern3ch m3teri33l3 [8]

| M3teri33l | λ [W.(m. K) ⁻¹] |
|-------------------------|-------------------------------------|
| Ov33 vlna | 0,04 |
| Sl3ma | 0,052 aŹ 0,08 |
| Konop3 | 0,035 aŹ 0,050 |
| D3řevovl3knit3 desky | 0,038 aŹ 0,05 |
| Skeln3 vata | 0,030 aŹ 0,035 |
| Miner3ln3 vlna | 0,035 aŹ 0,042 |
| P3nov3 sklo | 0,041 aŹ 0,048 |
| P3nov3 polyuretan PUR | 0,03 |
| Extrudovan3 polystyren | 0,034 |
| Ťed3 polystyren | 0,033 |
| P3nov3 polystyren – EPS | 0,035 aŹ 0,04 |

1.4.1 Cena vlny a jej3 uplatn3n3

Cenu surov3 vlny ur3uje jej3 kvalita, p3r3m3rn3 v3řkupn3 cena potn3 vlny v sou3asnosti 4 aŹ 14,- K3 za kg. [9] Vypranou vlnu lze koupit od 125,- K3 za kg, mykanou od 160,- K3 za kg, rouno z pran3 vlny od 220,- K3 za kg, rouno z 3esan3 vlny od 290,- K3 za kg. [10]

Tradi3n3mi v3řobky na trz3ch a jarmarc3ch s rukod3ln3mi v3řobky jsou v3řobky z ov33ch vl3ken. Vlna vyn3k3 hlavn3 svou jemnost3, proto se pouŹ3v3

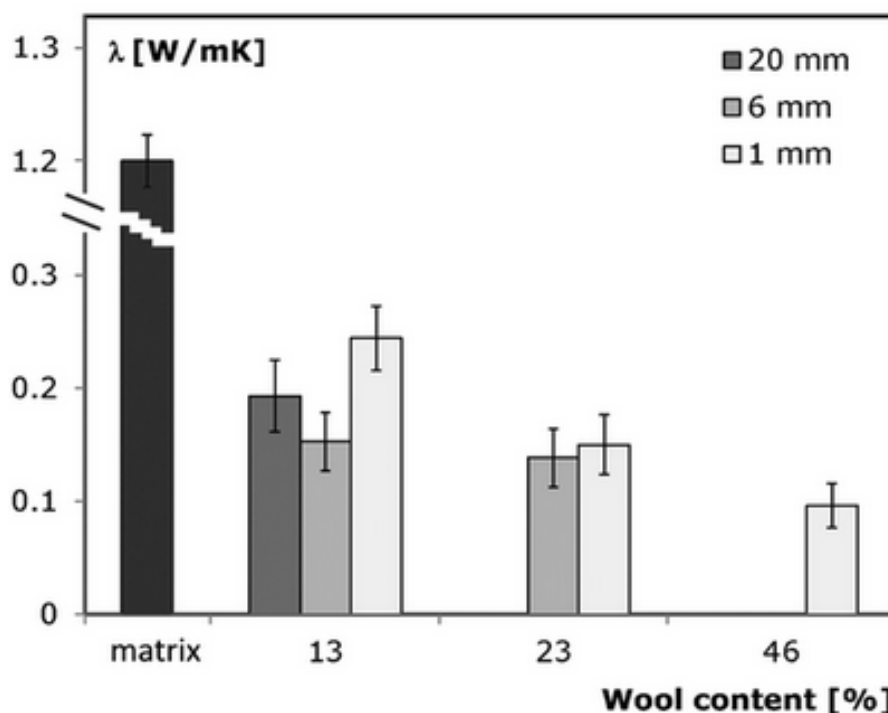
hlavně na svetry, ponožky, rukavice, deky a podobné textilie, hrubší pak např. na koberce. Dále se z ní vyrábějí některé další specifické materiály jako je plst, běžně zvaná také filc (klobouky, kulečnickové plátno, technické a výrobky ve stavebnictví, při výrobě hudebních nástrojů, ale také třeba celé jurty ve střední Asii nebo známé ruské válenky). Jiným specifickým materiálem je tvíd (obleky, uniformy).

Bohužel v poslední době není zájem o výkup tuzemské ovčí vlny, proto se hledají inovace, které by ji mohly využít. Zatím je využívána ve stavebnictví pro velmi dobré izolační vlastnosti. Velký potenciál má, ale i v plastikářském potažmo automobilovém průmyslu, což by, ale znamenalo vyřešit otázku hořlavosti, tedy nějaký kompozitní materiál na bázi ovčích vláken s retardéry hoření a polymerní matricí, popř. ošetření vlny proti zahoření, což není jediný problém k řešení, například čištění surové vlny, což je velmi nákladný proces zejména ve spotřebě vody. Řešením jsou průmyslové pračky, v České republice jsou již farmy, které tuto službu poskytují.

2. Rešerše v oblasti kompozitů s přírodními vlákny

V článku [11] autoři popisují kompozit na bázi epoxidové matrice vyztužené 40 % a 50 % tkaniny z ovčích vláken, testovaný metodami, zkouškou tahem, ohybem, absorpcí vody, zkouška chemické absorpce a biologické rozložitelnosti. Výzkum byl zaměřen na fyzikální a chemickou charakterizaci kompozitů z polymerní matrice, vyztužené vlákny z ovčí vlny. Výsledek ukazuje, že zkoušky tahem a ohybem u tkaného kompozitu z ovčích vláken (50–50) mají vysokou pevnost a maximální ohyb ve srovnání s tkaným kompozitem z ovčích vláken (60–40). Složení (50–50) má větší absorpci vlhkosti než složení (60–40), zatímco složení (60–40) má větší chemickou absorpci než složení (50–50). Biologicky odbouratelný test ukazuje, že kompozice (50–50) a (60–40) po několika dnech získávají téměř stejnou hmotnost. Lomové povrchy byly zkoumány pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu.

V článku [12] autoři popisují použití ovčích vláken jako plniva do cementu pro výrobu malty nebo do sádry, což přináší několik výhod pro životní prostředí, zejména úsporu odpadu. Zkoumali vliv vlněných vláken na tepelnou vodivost a mechanické vlastnosti cementu, kdy bylo použito vzorků z plemene sicilských ovcí se třemi délkami 1,6 a 20 mm. Dále testovali vliv obsahu vláken připravenou změnou hmotnostního podílu. Tepelná vodivost vzorků byla testována pomocí měřiče tepelného toku a mechanické chování pomocí kompresních testů. Experimentální výsledky ukázaly, že vlněná vlákna mohou být použita v cementových maticích pro použití u malt a omítek, ale s výrazným snížením pevnosti v tlaku.



Obr. 6: Tepelná vodivost malt plněných vlákeny z ovčí vlny. [12]

V užitém vzoru [13] je popsán polymerní kompozit s přírodními vláknými plnivými na bázi buničiny pro výroby plastových dílů, kompozit obsahuje od 58,5 do 88,5 hmotnostních % polypropylenu, 10 až 40 hmotnostních % přírodních vláken buničiny s délkou vláken od 0,2 do 2 mm a 1 až 5 hmotnostních % aditiva na bázi peroxidických dialkylů.

V užitém vzoru [14] je popsán polymerní kompozit s přírodními vláknými plnivými na bázi buničiny pro výroby plastových dílů, kompozit obsahuje od 56 do 86 hmotnostních % polypropylenu, 10 až 40 hmotnostních % přírodních vláken buničiny s délkou vláken od 0,2 do 2 mm a 2 až 6 hmotnostních % aditiva na bázi maleinanhydridu.

V užitém vzoru [15] je popsán polymerní kompozit s přírodními vláknými plnivými na bázi kokosu pro výroby plastových dílů, kompozit obsahuje od 58,5 do 88,5 hmotnostních % polypropylenu, 10 až 40 hmotnostních % přírodních vláken kokosu s délkou vláken od 0,2 do 2 mm a 1 až 1,5 hmotnostních % aditiva na bázi silikonu a od 0,1 do 0,4 hmotnostního % aditiva na bázi peroxidických dialkylů.

V užitém vzoru [16] je popsán polymerní kompozit s přírodními vláknými plnivými na bázi konopí pro výroby plastových dílů, kompozit obsahuje od 58 do 88 hmotnostních % polypropylenu, 10 až 40 hmotnostních % přírodních vláken

konopí s délkou vláken od 0,2 do 2 mm a 2 až 6 hmotnostních % aditiva na bázi maleinanhydridu.

V užitém vzoru [17] je popsán polymerní kompozit s přírodními vláknennými plnivými na bázi lnu pro výroby plastových dílů, kompozit obsahuje od 58,5 do 88,5 hmotnostních % polypropylenu, 10 až 40 hmotnostních % přírodních vláken lnu s délkou vláken od 0,2 do 2 mm a 1 až 1,5 hmotnostních % aditiva na bázi silikonu a od 0,1 do 0,5 hmotnostního % aditiva na bázi peroxidických dialkylů.

V patentu [18] je popsán polymerní kompozit s přírodními vláknennými plnivými pro výrobu plastových dílů, kompozit obsahuje od 64 do 86 hmotnostních % polypropylenu, 5 až 25 hmotnostních % přírodních vláken celulózy nebo kokosu, 4 až 6 hmotnostních % aditiva na bázi maleinanhydridu a 5 až 15 hmotnostních % plynné složky obsažené v dutinách.

V užitém vzoru [19] je popsán polymerní kompozit s přírodními vláknennými plnivými na bázi ovčích vláken pro výroby plastových dílů, kompozit obsahuje od 68,5 do 88,5 hmotnostních % polypropylenu, 10 až 40 hmotnostních % přírodních vláken ovčích vláken průměru od 16 do 40 μm s délkou vláken od 0,2 do 2 mm a 1 až 1,5 hmotnostních % aditiva na bázi silikonu a 0,1 až 0,5 hmotnostního % aditiva na bázi peroxidických dialkylů. „Získaný kompozit je standardně dodáván ve formě granulí a je určen pro širokou oblast technologií pro zpracování plastů, například vstřikování.“

V užitém vzoru [20] je popsán hybridní polymerní kompozit s přírodním vláknenným plnivem a skleněnými dutými mikrokuličkami pro výrobu plastových dílů, kompozit obsahuje od 42 do 86 hmotnostních % polypropylenu, 5 až 38 hmotnostních % přírodních celulóзовých nebo kokosových vláken, 4 až 15 hmotnostních % skleněných dutých mikrokuliček a 5 až 8 hmotnostních % aditiva na bázi maleinanhydridu pro zvýšení kompatibility na mezifázovém rozhraní.

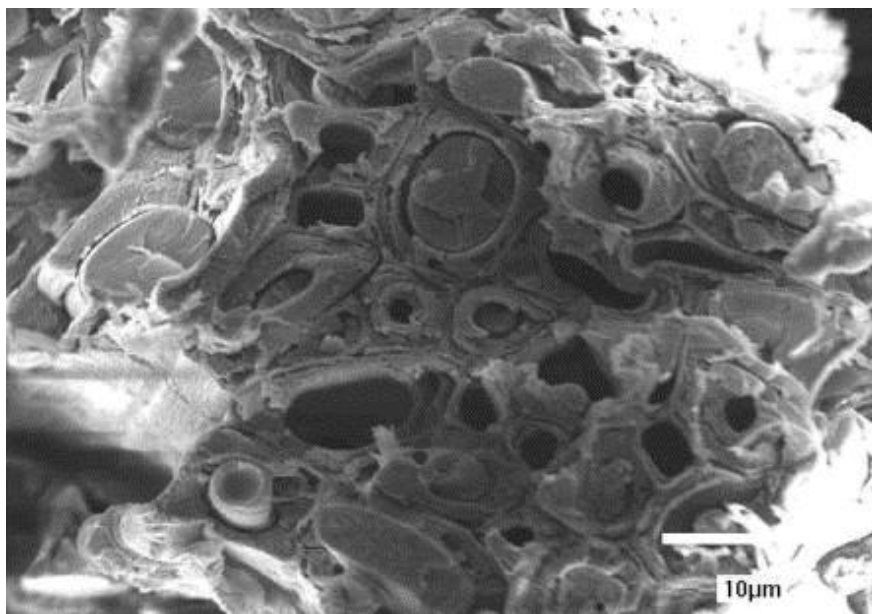
V článku [21] je popsána přírodní vláknenná výztuž. Materiálem jsou lněná vlákna a kyselina polymléčná (PLA). PLA je termoplastický polymer vyrobený z kyseliny mléčné a používá se hlavně pro biologicky rozložitelné produkty, jako jsou plastové sáčky a výsadbové kelímky. Kvůli křehké povaze PLA byl triacetin testován jako změkčovadlo kompozitů PLA a lnu, aby se zlepšily rázové vlastnosti. Studované kompozitní materiály byly vyrobeny pomocí extrudéru se dvěma šneky s obsahem lněných vláken 30 a 40 hmotnostních %. Pevnost kompozitu je asi o 50 % lepší ve srovnání s podobnými kompozity z polypropylenu a lněných vláken. Přidání změkčovadla nevykazuje žádný vliv na

rázovou pevnost kompozitů. Studie mezifázové adheze ukazuje, že je třeba zlepšit adhezi, aby se optimalizovaly mechanické vlastnosti kompozitů PLA a lnu.

V užitém vzoru [22] je popsán hybridní polymerní kompozit s přírodními a skleněnými vlákny, kompozit obsahuje od 47 do 81% hmotnostních % polypropylenu, 5 až 20 hmotnostních % přírodních celulóзовých nebo kokosových vláken, 10 až 25 hmotnostních % skleněných vláken a 4 až 8 hmotnostních % aditiva na bázi meleinahydridu pro zvýšení kompatibility na mezifázovém rozhraní.

V patentu [23] je popsán kompozit s PLA maticí a vlákny banánovníku pro výrobu plastových dílů, kompozit obsahuje od 50 do 90 hmotnostních % PLA polymeru, 10 až 50 hmotnostních % přírodních vláken banánovníku s délkou vláken od 0,2 do 3 mm.

V článku [24] je popsána nenasycená polyesterová pryskyřice upravena tak, aby byla kompatibilnější s celulóзовými vlákny. Dlouhá kenafová vlákna byla alkalizována 6% roztokem NaOH kombinována se čtyřmi různými formulacemi polyesterové pryskyřice, *A*, *B*, *C* a *D*, a lisována za tepla za vzniku kompozitů z přírodních vláken. Polyesterová pryskyřice *A* byla konvenční nenasycená polyesterová pryskyřice v styrenovém monomeru, Crystic 2-406PA. Molekulární struktura polyesteru *B* byla založena na polyesteru *A*, modifikovaném tak, aby byl více polární, aby lépe reagoval s povrchem přírodních vláken, a tato modifikace vedla k nejlepším mechanickým vlastnostem. Modul ohybu a pevnost v ohybu kompozitů polyester *B* vykazovaly nejvyšší hodnoty a nemedifikovaná polyesterová pryskyřice (polyester *A*) nejnižší. Opačný trend byl získán pro rázovou zkoušku podle očekávání. Dynamická mechanická analýza (DMA) ukázala, že kompozity polyester *B* vykazovaly nejvyšší hodnoty ztrátového modulu (*E*) a nejnižší hodnoty $\tan \delta$.



Obr. 7: SEM povrchu kompozitu TLK – polyester B po rázové zkoušce [24].

V článku [25] autoři uvádí, že v současných tržních trendech zažívají polymery vyztužené přírodními vlákny komplexní růst s dobrými vyhlídkami v automobilovém a stavebním průmyslu. Odpadní vlákna, jako je konopí, kenaf, len, bambus a další rostliny jsou pro automobilové aplikace preferovány. Na druhé straně je dřevo-plastový materiál používán ve stavebnictví. Při pohledu na vývoj současných trendů se předpokládá, že Evropa zůstane největším trhem kompozitů zpevněných přírodními vlákny díky vysoké úrovni přijatelnosti ekologických kompozitních materiálů v automobilovém průmyslu, vládních agentur a růstu malých průmyslových odvětví šetrných k životnímu prostředí. Kompozity z přírodních vláken jsou nové v elektrotechnickém, elektronickém a sportovním segmentu na trhu.

V článku [26] autoři uvádí, že díky univerzální charakteristice epoxidů a jeho rozmanitosti je vhodný pro různé průmyslové aplikace, jako jsou desky s laminovanými obvody, zapouzdření elektronických součástek, povrchové vrstvy, zalévání, vyztužení vlákna a lepidla. Všudypřítomné aplikace v mnoha vysoce výkonných oborech však omezovaly použití epoxidů kvůli jejich delaminaci, nízké odolnosti vůči nárazu, vlastní křehkosti a chování při lomové houževnatosti. Omezení epoxidů lze překonat začleněním a úpravou před jejich průmyslovými aplikacemi. V současné době jsou modifikované epoxidové pryskyřice široce používány při výrobě kompozitů zpevněných přírodními vlákny a při výrobě různých průmyslových produktů, protože mají vynikající mechanické, tepelné a elektrické vlastnosti. Tento článek obsahuje komplexní zdroj literatury o

epoxidové struktury, syntéze, modifikované epoxidové pryskyřici, bio-epoxidové pryskyřici a jejich aplikacích.

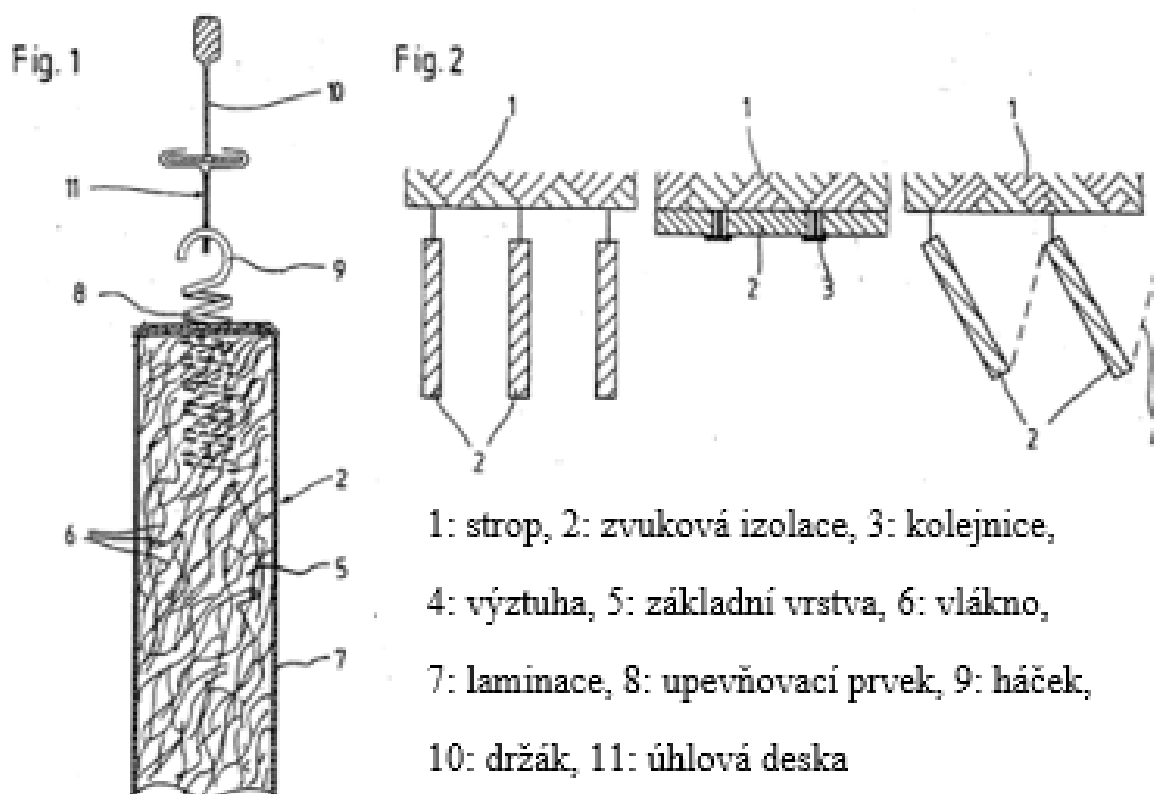
V článku [27] autoři porovnávají hedvábná vlákna, která mají dobrou biologickou rozložitelnost, vynikající biologickou kompatibilitu a tuhost se lněnými vlákny. Lněná vlákna mají nízkou cenu, jsou to obnovitelná přírodní vlákna s vysokou měrnou pevností a modulem. Zde představují ekonomická lněná vlákna pro modulaci tuhosti a rázových vlastností přírodních epoxidových kompozitů vyztužených hedvábnými B. mori vyrobených vakuovým formováním pryskyřice. Nejdůležitější je, že experimenty s dopadem na klesající hmotnost odhalují, že hedvábná vlákna mohou účinně zabránit šíření trhlin, zatímco lněná vlákna mohou výrazně zvýšit rázové zatížení.

V článku [28] autoři popisují lněná vlákna a celulózová vlákna, použitá k výrobě kompozitů s částicemi modifikovanými epoxidovými matricemi, aby se vyvinuly „zelené“ kompozity. Použitý len měl jednosměrnou architekturu spojitých přízí spředených z krátkých, vzájemně spojených vláken. Epoxidová polymerní matrice byla modifikována (a) křemičitými nanočásticemi, (b) pryžovými mikročásticemi a (c) kombinací obou těchto typů částic za vzniku hybridně ztužené epoxidové matrice. Kompozity byly vyrobeny infuzí pryskyřice v procesu flexibilního zpracování (RIFT). Předběžné studie o kompozitech NFRP vyrobených za použití procesu počátečního RIFT jasně ukázaly škodlivý účinek, že vlhkost přítomná v přírodních vláknech měla na vlastnosti kompozitů NFRP negativní vliv, protože zachycená voda nemůže uniknout z kompozitního panelu. Proto byl vyvinut optimalizovaný proces RIFT, při kterém byla přírodní vlákna před použitím v procesu RIFT sušena ve ventilátorové peci. To snížilo obsah vody ve vláknech přibližně o 1 % hmotnosti. U kompozitů vyrobených pomocí tohoto optimalizovaného procesu byla zaznamenána významná zlepšení fyzikálních a mechanických vlastností.

V článku [29] autoři uvádí potřebu prodloužit životnost fasád budov. Instalace větrané fasády je jedním ze způsobů, jak toho dosáhnout z důvodu estetických a technických výhod. Keramické dlaždice jsou hlavními produkty používanými jako krytina. Na zadní straně dlaždice je pomocí epoxidové pryskyřice přilepeno obousměrné síto ze skleněných vláken. Tato sada tvoří kompozit z bezpečnostních důvodů. Během posledního desetiletí došlo ke zvýšení substituce kompozitů syntetických vláken přírodními vlákny. Tento článek porovnává chování ohnivzdorných skleněných vláken s jutovými vlákny aplikovanými na keramiku instalovanou ve větrané fasádě. Byly vyrobeny tyto kompozity: glazované

porcelánové dlaždice, epoxidová pryskyřice, skleněná vlákna a jutová vlákna. Bylo ověřeno, že jutové vlákno nepředstavuje výhody, pokud jde o vystavení ohni ve srovnání se skleněnými vlákny.

V Evropské patentové přihlášce [30] je popsán deskový izolační prvek pohlcující zvuk pro montáž pod strop, který se sestává z porézního vláknitého materiálu, který absorbuje zvukové vlny. Jádrem je opatřeno porézní laminací alespoň na jedné ploché straně. Jádrem sestává ze stlačených ovčích vláken a syntetické pryskyřice.



Obr. 8: Deskový izolační prvek a způsob zavěšení na stropu [30]

V užitém vzoru [31] je popsán kompozit s PLA maticí a vlákny kokosu pro výrobu plastových dílů, kompozit obsahuje od 50 do 90 hmotnostních % PLA polymeru, 10 až 50 hmotnostních % přírodních vláken kokosu s délkou vláken od 0,2 do 3 mm.

V užitém vzoru [32] je popsán kompozit s PLA maticí a vlákny kokosu pro výrobu plastových dílů, kompozit obsahuje od 50 do 90 hmotnostních % PLA polymeru, 10 až 50 hmotnostních % přírodních vláken konopí s délkou vláken od 0,2 do 3 mm.

V užitém vzoru [33] je popsán kompozit s PLA matricí a vlákny sóji pro výrobu plastových dílů, kompozit obsahuje od 50 do 90 hmotnostních % PLA polymeru, 10 až 50 hmotnostních % přírodních vláken sóji s délkou vláken od 0,2 do 3 mm.

V článku [34] autoři popisují použití rostlinných a živočišných biologicky rozložitelných vláken jako výztuže v polymerních kompozitech. To má nesporné výhody ve srovnání s kompozity ze syntetických vláken. K výhodám patří nízká hustota, nízké náklady, snadná a bezpečná manipulace. Tyto výhody výrazně zvyšují aplikační potenciál. V současném výzkumu byla připravena vlákna ovčí vlny a hybridní polypropylenové kompozity vyztužené jutovými vlákny. Jejich mechanické vlastnosti byly zkoumány nejprve změnou poměru vláken a polypropylenu a poté změnou poměru vlny a jutových vláken, přičemž se množství polypropylenu nezměnilo. Zde se 5 %, 10 % a 15 % vláken v poměru 1:1 kopulovalo s polypropylenem při lisování za tepla. Pro mechanickou charakterizaci byly provedeny zkoušky tahem, ohybem, rázem a tvrdostí. Z těchto testů bylo zjištěno, že kompozit s obsahem 15 % vláken měl nejlepší vlastnosti. Pro další zlepšení byly připraveny dva oddělené vzorky s poměry vláken 1:3 a 3:1 a 85 % polypropylenu. Při provádění výše uvedených testů bylo zjištěno, že vzorek s vlnou a jutovým vláknem, v poměru 1:3 měl nejlepší vlastnosti.

V článku [35] autoři zkoumali mechanické i bakteriální vlastnosti chemicky zpracovaného odpadního přírodního vlákna s vloženými trojrozměrnými strukturami (NF_i3DS) vytvořeného pomocí depozice roztaveného vlákna (FFD) pro biomedicínské aplikace.

V článku [36] autoři uvádí přehled různých kompozitních materiálů pro aplikace absorpce zvuku. To zahrnuje kompozity vyrobené z polymerní matrice vyztužené syntetickými a přírodními vlákny, vyrobenými z recyklovaných materiálů, matricí na bázi bio a vláknitých materiálů na bázi bio, hybridních biologicky rozložitelných materiálů a kompozitních vláknitých kompozitů pro aplikace absorpce zvuku. Jsou zde uvedeny nové trendy týkající se kompozitních materiálů vyrobených z lignin-celulózových vláken a výhody a nevýhody syntetických a přírodních vláken.

V článku [37] autoři analyzovali proveditelnost použití přírodních vláken ovčí vlny na vyztužení malty s cílem zlepšit její chování při praskání. Za tímto účelem byla použita dvě různá pojiva: cementové a cemento-vápenné malty. Analyzovalo se vyztužení v objemu 10 % a 20 % vlněných vláken o délce 1,5 cm a 3 cm.

Výsledky ukazují, že začlenění vlněných vláken zvýšilo tažnost malty a zlepšilo jejich mechanické vlastnosti.

V článku [38] jsou popsány polymerní materiály vyztužené přírodními, živočišnými a dřevěnými vlákny. Tento článek se zabývá významem živočišných vláken při výrobě kompozitu. Nejrozšířenější polyesterová pryskyřice se používá jako matrice a vlákna z ovčí vlny jednotné velikosti (10 až 20 mm) se používají jako vyztužné materiály pro výrobu kompozitu vyztuženého ovčí vlnou. Náhodná orientace vláken byla použita pro tři různá hmotnostní % a to 20 %, 30 % a 40 %.

V článku [39] autoři popisují přínosy v možnosti výroby materiálu ve formě pevných desek, které lze snadno aplikovat na stěny a podlahy, a vyhnout se tepelným mostům vytvořenými dřevěnými rošty používanými pro desky z ovčí vlny a konopí. Pro testování použili hrubou vlnu, která má uvnitř vlákna několik vzduchových prostorů, za účelem zvýšení tepelné izolace materiálu. Ekonomickou analýzou trhu s tepelně izolačními výrobky z přírodních vláken, zejména z ovčí vlny a konopí dovážených z Rumunska se ukazuje, že jejich cena je dvojnásobná než cena analyzovaných kompozitních materiálů. Receptura WG, která má nejnižší vodivost, je způsobena skutečností, že vlákna hrubé vlny obsahují více vzduchových buněk než jemná vlna v důsledku přítomnosti vrstvy dřene (medully). Mezery mezi vlákny uvnitř receptury HGC jsou mnohem menší, protože množství lisovaného konopného vlákna je o 100 % vyšší než u ostatních dvou receptur, což vedlo ke zvýšené hustotě a tepelné vodivosti. Ovčí vlna se generuje každoročně, komercializuje se globálně a její různá použití se neustále rozšiřují, například stavební materiál, letectví, architektura, lékařské použití, móda a ochranné oděvy. Na základě výsledků experimentálně získaných měření lze konstatovat, že ovčí vlna a konopná vlákna jsou vynikající pro stavební materiály. Přírodní termo-izolace má oproti běžným materiálům mnoho výhod, včetně environmentálních vlastností, snadného použití, malého dopadu, vlivu na lidské zdraví při manipulaci s materiálem a energeticky účinné výroby.

Ve studii [40] autoři porovnávají vlákna z krátké vlny, která nejsou vhodná pro většinu aplikací, ale mají vynikající tepelnou izolaci a další vlastnosti. Kompozity s nízkým podílem vlny a přísad zpomalujících hoření, které zvyšují náklady, nejsou ekonomicky udržitelné. V této studii byly levné kompozity z vláknového polypropylenu (PP) obsahující až 90 % vlněných vláken s PP vlákny jako matrice lisovány a porovnávány s komerčně dostupnými stropními deskami. Kompozity měly nejlepší samozhášivost V_0 , tepelnou vodivost v rozmezí 0,058–0,083 W/mK a součinitel pohlcování hluku až 0,86. Kompozity ovčí vlna-PP měly vynikající

tepelnou stabilitu až do 250 °C, přičemž úbytek hmotnosti byl jen 1,2 %. Nejvyšší absorpce vody z kompozitů ovčí vlny s PP po 24 hodinách byla 34 % hmotnosti oproti 84 % pro sádkartonovou desku. Potenciální aplikace kompozitů z vlny a PP zahrnují automobilový průmysl, interiéry budov a další použití.

Ve studii [41] je popsáno použití celého vlněného vlákna k přípravě termoplastického bio-kompozitu bez předběžného zpracování, které může snížit náklady na konečné kompozitní produkty. Materiály bohaté na keratin, včetně ovčí vlny a drůbežního peří, mohou mít přidanou hodnotu částečnou náhradou syntetických polymerů při výrobě bio-kompozitů se zlepšenými mechanickými vlastnostmi. Silné intermolekulární disulfidy, vodík, iontové a hydrofobní interakce keratinu způsobují, že se chová jako termosetový materiál, který není snadno zpracovatelný a tepelně mísitelný s jinými polymery. Proto byla zkoumána různá změkčovadla, kompatibilizátory a spojovací činidla, aby se keratin stal zpracovatelným materiálem. Některé výzkumné skupiny však také zkoumaly dekonstrukci struktury vlny za účelem izolace keratinového proteinu pro začlenění do biokompozitu. Proces dekonstrukce vlákna pro rozrušení kompaktní vláknité struktury a izolace keratinu však může být nákladný, není komerčně zajímavý a může mít negativní dopad na životní prostředí v závislosti na zvolené metodě zpracování.

V článku [42] autoři popisují vlněné vlákno, které je měkké, trvanlivé, bezpečné k přírodě a má vysokou odolnost proti opotřebení. Má dobré vlastnosti, jako je elasticita, odolnost, špatná odolnost vůči zásadám, dobrá odolnost vůči kyselinám a dobrá izolační vlastnost. Tato studie se zaměřuje na analýzu poruch kompozitů vyztužených vlněnými vlákny. Tento kompozitní materiál obsahuje 60 % tkaniny z ovčí vlny (vyztužení) a 40 % epoxidové pryskyřice (matrice), zpracování se provádí konvenční metodou ručního nanášení. Tahová zkouška byla provedena podle normy ASTM D 5766.

V článku [43] autoři uvádí vyhodnocení analýzy omezené tloušťky kompozitu a objemové hustoty, v níž lze predikovat spolehlivé výsledky k predikci koeficientu absorpce zvuku přírodních vláken. Protože je tento model celkově nejpřesnější, jsou pro něj prezentovány mezní hodnoty z hlediska tloušťky kompozitu a objemové hustoty. Tento model je nejspolehlivější při predikci součinitele absorpce zvuku u kompozitů o tloušťce ≥ 40 mm a sypané hmotnosti ≥ 50 kg/m³. Nedoporučuje se používat tento model k predikci hodnot koeficientu absorpce zvuku pro vláknité kompozity z přírodních vláken, které mají tloušťku

≥ 20 mm a sypanou hmotnost ≥ 40 kg/m³. Je tomu tak proto, že přesnost tohoto modelu se při snižování tloušťky a hustoty stává nespolehlivým.

V článku [44] autoři uvádí, že v poslední době se přírodní vlákna stávají stále populárnějšími a jejich význam pro průmysl roste. V posledních dvou desetiletích se přírodní vlákna využívají při výrobě tepelně-akustických izolačních materiálů. Tyto vláknité materiály mají ve srovnání se skleněnými vlákny dobré tepelné a akustické vlastnosti. Produkt vyrobený z přírodních vláken může být několikrát recyklován a snadno použitelný, když se stane nerecyklovatelným. Proto za účelem implementace těchto inovativních řešení v oblasti životního prostředí a stavebnictví, např. k instalaci energeticky účinných tepelně-akustických izolačních materiálů ve stavebnictví je nutný vědecký výzkum. Předmětem tohoto výzkumu byla produkce vláknitých kompozitů vyrobených z přírodních vláken (konopná vlákna a odpad z ovčí vlny) a pojiva z polylaktidových vláken, která byla vyrobena z kukuřice biotechnologickou metodou. V současném výzkumu byl stanoven součinitel tepelné vodivosti a absorpce zvuku vláknitých kompozitů. Rovněž byla zkoumána mikrostruktura vláknitých kompozitů. Článek popisuje výrobní možnosti s ohledem na tepelně-akustické izolační materiály na bázi konopných vláken a odpadu z ovčí vlny ze snadno obnovitelných materiálových zdrojů poskytovaných v zemědělství.

V článku [45] autoři popisují mastnou ovčí vlnu, která je v současné době kvůli své vysoké bakteriální zátěži považována za zvláštní odpad. Z tohoto důvodu je vlna často spálena nebo zakopána do země, což má závažné důsledky pro životní prostředí. Na druhé straně je ovčí vlna díky svým termo-hygrometrickým a akustickým vlastnostem považována za nejúčinnější přírodní izolační přírodních vlákno a ve stavebnictví splňuje ovčí vlna požadavky na ekologické stavební prvky. Protože se jedná o ekologický materiál, jeho přebytek je každoročně obnovitelný a zcela recyklovatelný. Pokud se ovčí vlna používá místo běžných izolačních materiálů (například skleněných vláken, minerální vlny, polyuretanové pěny, polystyrenu), nabízí významné výhody pro udržitelnost, jako je snížení výrobních nákladů na nové izolační materiály a znečištění životního prostředí. Mechanické a fyzikální vlastnosti ovčí vlny zkoumané v předchozích studiích byly zhodnoceny a diskutovány s cílem poskytnout organizovaný rámec možných aplikací vlněných vláken ve stavebních prvcích.

V článku [46] autoři popisují, že v posledních letech se přírodní materiály stávají platnou alternativou k tradičním tlumičům hluku, a to díky sníženým výrobním nákladům a ochraně životního prostředí. Tato studie zkoumá

alternativní použití ovčí vlny jako stavebního materiálu se zlepšenými vlastnostmi pohlcování zvuku nad rámec jeho tradičního použití jako pohlcovače zvuku v textilním průmyslu nebo využití odpadní vlny v textilním průmyslu jako suroviny. Cílem této studie bylo získat materiály se zlepšenými vlastnostmi pohlcování zvuku pomocí ovčí vlny jako suroviny. Sedm materiálů bylo získáno lisováním za tepla (60 až 80 °C a 0,05 až 6 MPa) vlněných vláken a jeden lisováním za studena. Výsledky ukázaly, že pouhým lisováním vlny za horka byl získán jiný produkt, který mohl být zpracován a snadno manipulován. Získané materiály měly velmi dobré vlastnosti absorpce zvuku, s hodnotami akustického absorpčního koeficientu přes 0,7 pro frekvenční rozsah 800 až 3150 Hz. Výsledky dokazují, že ovčí vlna má srovnatelnou účinnost pohlcování zvuku jako minerální vlna nebo recyklovaná polyuretanová pěna.

V článku [47] autoři představují sendvičový panel, který by byl vhodný pro pohlcování zvuku a zvukovou izolaci ve vzduchu, používaný jako aplikovaný plášť nebo nezávislá lehká příčka. Jedná se o sendvičový panel na bázi ovčí vlny, který používá pouze přírodní materiály. Struktura byla připravena s použitím hydratovaných vápenných kompozitních čelních listů a jádra na bázi ovčí vlny. Bylo určeno několik parametrů sendvičového panelu, včetně koeficientu absorpce zvuku, vzduchové izolace zvuku, tepelné vodivosti, tepelného odporu, pevnosti v tlaku a pevnosti v ohybu. Výsledky ukazují, že maximální hodnota absorpce zvuku 0,903 byla získána při frekvenci 524 Hz v případě neperforovaného vzorku, 0,822 při 536 Hz v případě vzorku s 10 % perforací, 0,780 při 3036 Hz v případě vzorek s 20 % perforacemi a 0,853 při 3200 Hz v případě vzorku s 30 % perforacemi. Registrovaný zvukový izolační index panelu byl 38 dB. Na základě získaných dat lze konstatovat, že studovaný panel zaznamenal srovnatelné hodnoty s jinými syntetickými řešeními pro regulaci šumu, která jsou vhodná jako aplikovaný plášť nebo nezávislá lehká příčka, s dobrými akustickými vlastnostmi.

V článku [48] je popsáno, že dostupnost přírodních vláken, nízké náklady a snadná výroba podnítily pozornost výzkumných pracovníků k možnosti vyztužení přírodních vláken za účelem zlepšení jejich mechanických vlastností a studia rozsahu, v jakém splňují požadované specifikace dobrého vyztuženého polymerního kompozitu pro průmyslové a strukturální účely aplikace. Chemicky ošetřené přírodní vlákno vykazuje lepší zlepšení vlastností než neošetřené vlákna. Chemicky ošetřené přírodní vlákno má zlepšenou mezifázovou adhezi mezi povrchem vlákna a polymerní maticí. Zesílení z přírodních vláken vykazovala lepší výsledky v rázové houževnatosti a únavové pevnosti. Cílem tohoto přehledu

je vysvětlit výzkum a vývoj ve zlepšování vlastností polymerních kompozitů vyztužených přírodními vlákny spolu s jejich aplikací.

V článku [49] je popsána rostoucí průmyslová poptávka po udržitelných materiálech, která vedla k posunu paradigmatu v zaměření od syntetických polymerů k přírodním vláknům. Tento článek se zabývá výzvami a příležitostmi spojenými s použitím polymerních kompozitů vyztužených přírodními vlákny v různých průmyslových aplikacích. Přírodní vlákna, která jsou biologicky odbouratelná, lehká, hospodárná a šetrná k životnímu prostředí, jsou vhodnými materiály pro moderní průmyslové aplikace. Bylo diskutováno použití přírodních vláken v různých průmyslových odvětvích se zaměřením na automobilový a nábytkářský průmysl. V tomto článku jsou uvedeny běžně používaná přírodní vlákna v polymerních kompozitech včetně juty, konopí, sisalu, kenafu, bambusu, bavlny, lnu, abaky, kokosových vláken. Literatura odhalila, že pevnost v tahu a další mechanické vlastnosti těchto vláken jsou srovnatelné se syntetickými vlákny, jako jsou skleněná nebo uhlíková vlákna. Teplotní stabilita polymerů však omezuje jejich rozsáhlé použití a zůstává předmětem řešení.

V článku [50] autoři představují polotuhý termo-akustický izolační panel nazvaný Fitness, který je vyrobený z kompozitního materiálu, skládající se z vlny a konopných vláken. Dvě hlavní komponenty si uchovávají své vlastní chemické a fyzikální vlastnosti, protože zůstávají oddělené, díky čemuž nejsou panely homogenní. Přesto přidávání konopných vláken dává produktu relativně vysokou hustotu ve srovnání s Cartonlanou, 100 % polotuhý panel z ovčí vlny se zlepšenou tuhostí díky pevnosti v tahu u konopných vláken. Vlna pochází z ovcí z oblasti Piemonte, které díky jejich tmavé barvě nelze použít v textilním průmyslu a/nebo špatná jakost, kdy vlákna jsou příliš silná a nepravidelné délky vláken. Ovčí vlna se obvykle pere a suší, ale přesto obsahuje úlomky rostlin zachycené mezi vlákny.

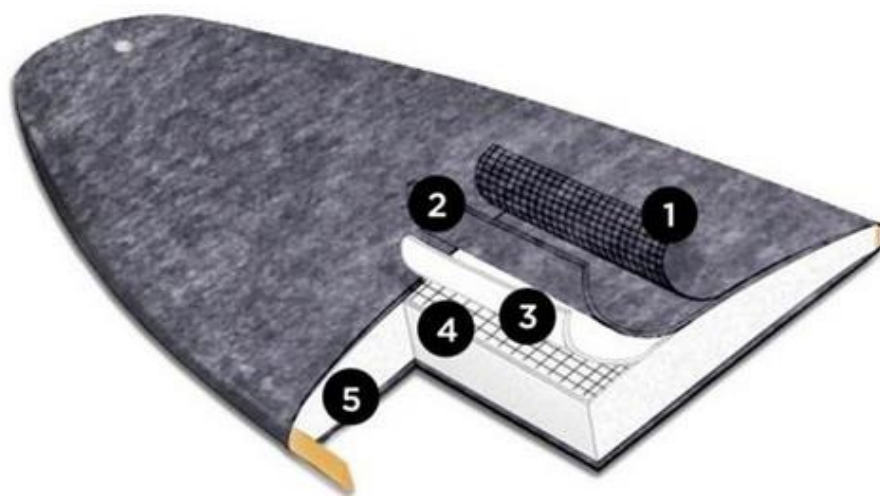


Obr. 9: a) Vypraná ovčí vlna, b) konopná vlákna, c) panel Fitness. [50]

V článku [51] jsou popsány konopné a lněné vláknové kompozity s velkým objemem frakcí, které byly vyrobeny pomocí epoxidových a fenolových

pryskyřic s nízkou viskozitou. Použitím 80 % objemového podílu lněných vláken v epoxidové pryskyřici byly vyrobeny kompozity se střední tuhostí 26 GPa a střední pevností 378 MPa. Snížením poškození zpracování rostlinných vláken bylo možné zvýšit mechanické vlastnosti o 40 %. Bylo zjištěno, že pruhy z máčené vláknité tkaniny jsou pro vyztužení stejně účinné jako svazky vláken a jednotlivá vlákna. Fenolová pryskyřice plněná dekorovanými lněnými vlákny měly velmi špatné vlastnosti. Při použití 40 % objemového podílu vláken byla průměrná tuhost 3,7 GPa a střední pevnost byla 27 MPa. Byly navrženy dvě předběžné úpravy vláken ke zlepšení přilnavosti pryskyřic. První „6 M“ močovina se používala pouze v přírodních vlákno-epoxidových kompozitech, kde zvyšovala tuhost, ale ne pevnost. Druhou předúpravu tvořil roztok o 50 % polyvinylalkoholu (PVA), který byl vytvrzen před přidáním pryskyřice pro vyplňování prostoru. Ošetření PVA zlepšilo tuhost a pevnost jak přírodních vlákno-epoxidových kompozitů, tak přírodních vláken a fenolických kompozitů.

V článku [52] je popsáno kompozitní surfovací prkno značky Woolight, složené z matrice z epoxidové pryskyřice (1), tkaniny z ovčí vlny (2), 3 mm vrstvy expandovaného polypropylenu (3), skleněných vláken (4), expandovaného polystyrenu (5).



Obr. 10: Kompozitní surfovací prkno značky Woolight [52]

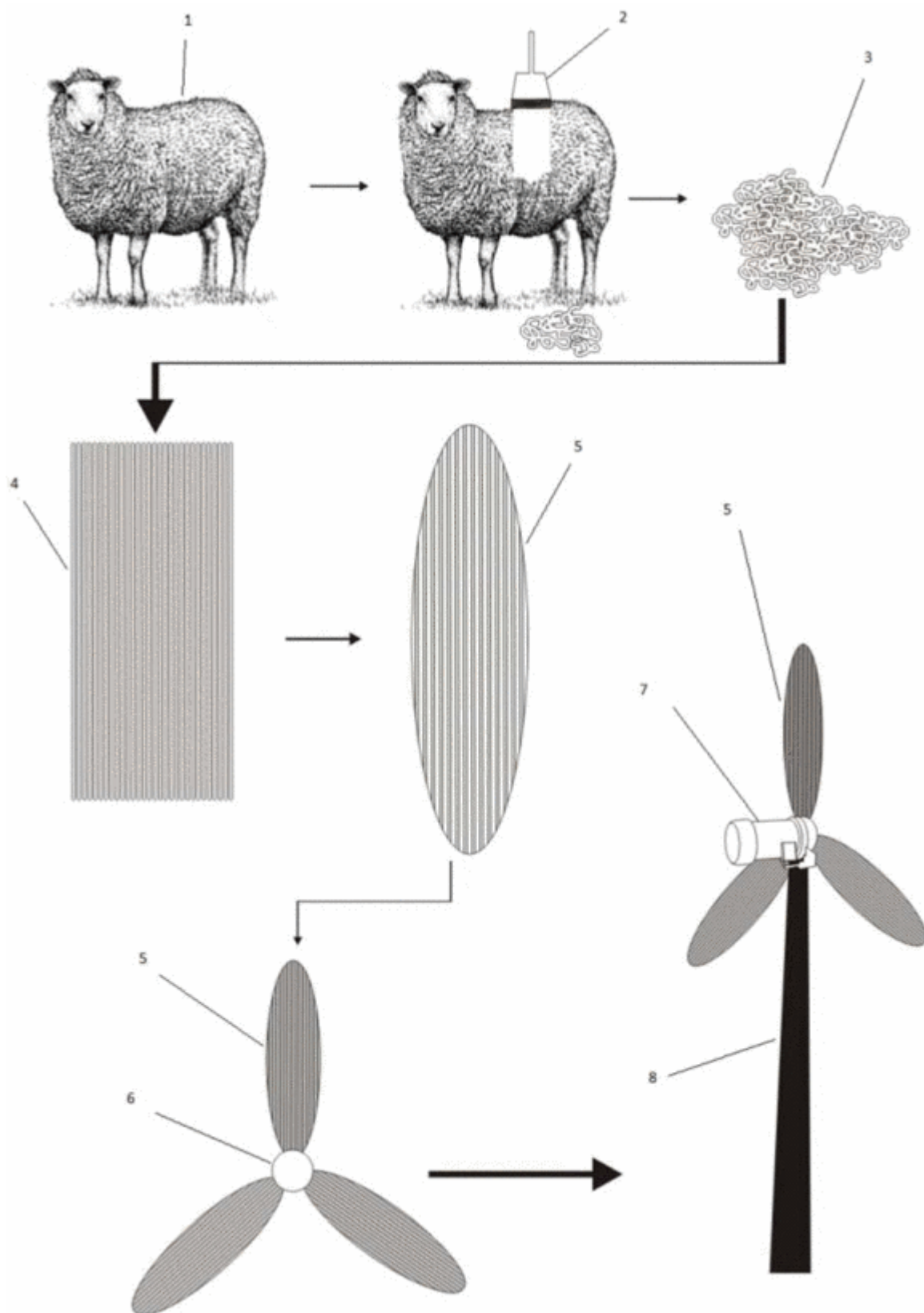
V článku [53] je popsán kompozitní materiál ze dvou typů korkových jader a výztuže z juty testovaného pomocí metody tříbodového ohybu.

V článku [54] je popsána židle Hembury jejíž sedací a opěrná část je tvořena kompozitem z ovčích vláken z britských ovcí plemena Herdwick a bio pryskyřice s o 33 % nižší uhlíkovou stopou oproti jiným běžně používaným pryskyřicím. Cena této židle činí 395,- Britských liber.



Obr. 11: Židle Hembury [54]

V článku [55] je popsán vynález kompozitních lopatek větrné turbíny z polymerní matrice a tkaniny z ovčí vlny. Přehled pozic na obrázku 12: 1 – ovce, 2 – stříhání ovčí vlny, 3 – ovčí vlna, 4 -vlněná tkanina, 5 – list větrné turbíny vyrobené z vlněné tkaniny, 6 – náboj větrné turbíny, 7 – větrný generátor, 8 – stojan větrné turbíny



Obr. 12: Větrná turbína s lopatkami z kompozitu ovčí vlny [55]

Na webové stránce [56] autor uvádí akustický izolační materiál tvořený ovčí vlnou nazvanou „Thermafleece“. Tento materiál je ekologickou alternativou k akustické minerální vlně od společnosti „Rockwool“. Vyrábí se ve Velké

Británii. Má vynikající akustický výkon, další výhodou tohoto materiálu je absorpce vzdušné vlhkosti a tepelná izolace.



Obr. 13: Akustický izolační materiál Thermafleece [56]

V článku [57] jsou popsány izolační materiály společnosti „Thermafleece“ jsou v nabídce v několika variantách od základní „CosyWool“ přes „UltraWool“ vyrobené z britské ovčí vlny až po verzi „NatraHemp“ vyrobené z britského konopí. Liší se především v účinnosti akustické izolace, respektive koeficientu redukce hluku od 1,05 do 0,9, při tloušťce materiálu 100 respektive 90 mm.

V článku [58] jsou popsány jednosměrné kompozity, které byly vyrobeny z neošetřených lněných přízí z vláken a polypropylenových fólií. S nárůstem hmotnostních frakcí složených vláken z 0,56 na 0,72 se porézností frakce zvýšily z 0,04 na 0,08; k datům byl použit teoretický model za účelem popisu kompozitní objemové interakce mezi obsahy vláken, matrice a pórovitosti. V modelu byly navrženy dvě složky pórovitosti. Složka řízená procesem a složka strukturně řízená. Kompozitní axiální tuhost byla v rozmezí 27 až 29 GPa a pevnost 251 až 321 MPa. Byla vyvinuta upravená verze „pravidla směsí“, doplněná o parametry obsahu kompozitní pórovitosti a anizotropie vlastností vláken, aby se zlepšila predikce kompozitních tahových vlastností.

V článku [59] jsou popsány přírodní a syntetické kompozity vyztužené celulózovými vlákny, které představují možné aplikace této skupiny materiálů. Fyzikální vlastnosti přírodních vláken jsou určovány hlavně chemickým a fyzikálním složením, jako je struktura vláken, obsah celulózy, úhel vláken, průřez a stupeň polymerace. Pouze několik charakteristických hodnot, ale zejména specifické mechanické vlastnosti, může dosáhnout srovnatelných hodnot

tradičních výztužných vláken. Tuto fyzickou strukturu lze upravit pomocí alkálií a acetylace. Aplikace přírodních vláken jako výztuže v kompozitních materiálech vyžaduje, stejně jako u kompozitů vyztužených skleněnými vlákny, silnou adhezi mezi vlákny a matricí, bez ohledu na to, zda se jedná o tradiční polymerní (termoplastové nebo termosetové) matrice, biologicky odbouratelnou polymerní matrici nebo cement. Dále tento článek poskytuje přehled o metodách fyzikálního a chemického zpracování, které zlepšují adhezi matrice vláken, jejich výsledcích a účincích na fyzikální vlastnosti kompozitů.

3. Kritické zhodnocení současného stavu z toho vyplývající cíle a hypotézy

Z provedené rešerše vyplývá, že v poslední době se velmi zvýšil počet publikací a patentů pro řešení problematiky uplatnění přírodních vláken v kompozitních materiálech s aplikacemi ve stavebním, automobilovém a nábytkářském průmyslu. Z hlediska použitých matric se velmi často objevují epoxidové, polyesterové, polyuretanové a fenolické pryskyřice a PLA matrice nebo matrice v podobě suchých směsí určených výhradně pro stavebnictví. Plnivo je zde jak v podobě vláken o délce od několika desetin milimetrů až po desítky centimetrů, tak i výztuže ve formě tkaniny. Například byla použita tkanina z ovčí vlny, juty, lnu, kenafu, bambusu, sóji a dalších přírodních surovin. Dalšími materiály plniv jsou například rýžové slupky, konopná vlákna, korek a kombinace těchto surovin a vláken. Plnění kompozitů je uváděno v rozmezí 10 až 90 hmotnostních procent. V některých případech se jedná o kompozit jen na bázi přírodních vláken, například ovčí a konopná vlákna. Z hlediska testovaných vlastností jsou zde uvedeny akustická pohltivost, tepelné a elektrické izolace, tahové a tlakové zkoušky, statické zkoušky tříbodovým ohybem a zkoušky rázové houževnatosti.

Ovčí vlákna se objevují nejen v průmyslových aplikacích, ale také v energetice, jako kompozitní materiál pro výrobu lopatek větrných turbín. Ve sportovním průmyslu bylo ovčích vláken využito v podobě kompozitního surfařského prkna. Ovčí vlákna byla také využita v designovém nábytku, a to ve formě kompozitní židle.

Z výše uvedeného vyplývá, že zde nebyly uvažovány ani testovány kompozitní materiály s nízkým obsahem vláken v kompozitech. Předpokládáme tedy z výše uvedeného výčtu, že přidavkem do 10 hmotnostních procent plniva dojde ke zlepšení mechanických vlastností, stejně tak i akustických a elektrických vlastností.

4. Cíle disertační práce

Aktuální řešení problematiky vzhledem na zvyšující se trend využití přírodních surovin v průmyslových aplikacích

Přírodní suroviny se v průmyslových aplikacích objevují zejména jako plniva v dílech pro automobilový a letecký průmysl, případně jako funkční médium například v separačních prostředcích pro čištění ovzduší a vody.

Ovčí vlna se pro tyto aplikace dosud používá jen zřídka.

Návrh a definice průmyslových aplikací pro zvolené kompozitní systémy plněné ovčími vlákny

Pro průmyslové aplikace bylo třeba navrhnout složení kompozitu tak, aby byl postup přípravy opakovatelný a byly zachovány dosažené vlastnosti výsledného kompozitu.

Návrh a porovnání zpracovatelských technologií vhodných pro výrobu kompozitních systémů, ověření vlivu plniva na výsledné fyzikálně – mechanické vlastnosti a možnosti zkoumaných technologií

Pomocí mechanických zkoušek tříbodovým ohybem dle ISO ČSN 178 bylo zjištěno, že materiálové složení s epoxidovou pryskyřicí má s obsahem 3 hmotnostních procent lepší vlastnosti než matrice samotná.

Experimentální testování akustické pohltivosti a přenosového útlumu pro uplatnění zvolených kompozitních systémů v izolačních prvcích moderních budov

Vyrobené zkušební vzorky byly otestovány na akustickou pohltivost a přenosový útlum. Tato měření jednoznačně prokázala lepší vlastnosti u plněných matic.

Ověření využití měření elektrických vlastností, zejména jednosměrné elektrické konduktivity a střídavé elektrické vodivosti, permitivity a ztrátového činitele jako metod vhodných pro ověření vlivu plnění organickým plnivem na vodivost výsledných prvků

Při ověření jednosměrné elektrické konduktivity a střídavé elektrické vodivosti bylo zjištěno, že téměř všechny kompozitní materiály s rozdílnými maticemi jsou izolanty. Tuto vlastnost lze využít zejména u výrobků krytů elektrických zařízení.

Vyhodnocení mikrostruktury kompozitních systémů pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu (SEM)

Pomocí SEM analýzy bylo zjištěno množství vzduchových bublin uvnitř kompozitů, zejména kolem vláken. Tyto vzduchové bubliny mají patrně vliv i na zlepšené vlastnosti při měření akustiky.

Formulace a diskuse dosažených výsledků

Dosažené výsledky lze shrnout do tří částí. V první řadě především akustické vlastnosti, dále elektrické, a nakonec i mechanické vlastnosti. Z pohledu recyklace kompozitů s ovčími vlákny je lze namlít a opětovně použít jako plnivo do dalších kompozitů.

Pro přípravu ryze přírodního kompozitu byla použita želatina a kukuřičný škrob, výsledné vlastnosti materiálu nejsou použitelné ve vlhkém prostředí. Vzhledem k fyzikálnímu stavu tohoto kompozitu není relevantní testování vlastností.

Využití výsledků pro vědeckou oblast a průmyslovou praxi

Výsledné kompozity mohou najít uplatnění v kusové, popřípadě v malosériové výrobě, kde lze zaručit podmínky zpracovatelnosti s ohledem na technologii přípravy ručním odléváním.

Pro průmyslovou praxi lze využít zejména ve stavebnictví jako tlumící desky, v elektrotechnice nebo ve strojírenství pro výrobu ochranných krytů obráběcích strojů s nízkými otáčkami a vibracemi.

V oblasti vědy se u ovčích vláken jedná o dosud málo uplatňovaný materiál i pro průmyslové aplikace. Další výzkum jistě přinese nové zajímavé poznatky.

5. Praktická část

5.1 Prototyp přírodního kompozitního materiálu, návrh tvaru a následná specifikace výrobních podmínek

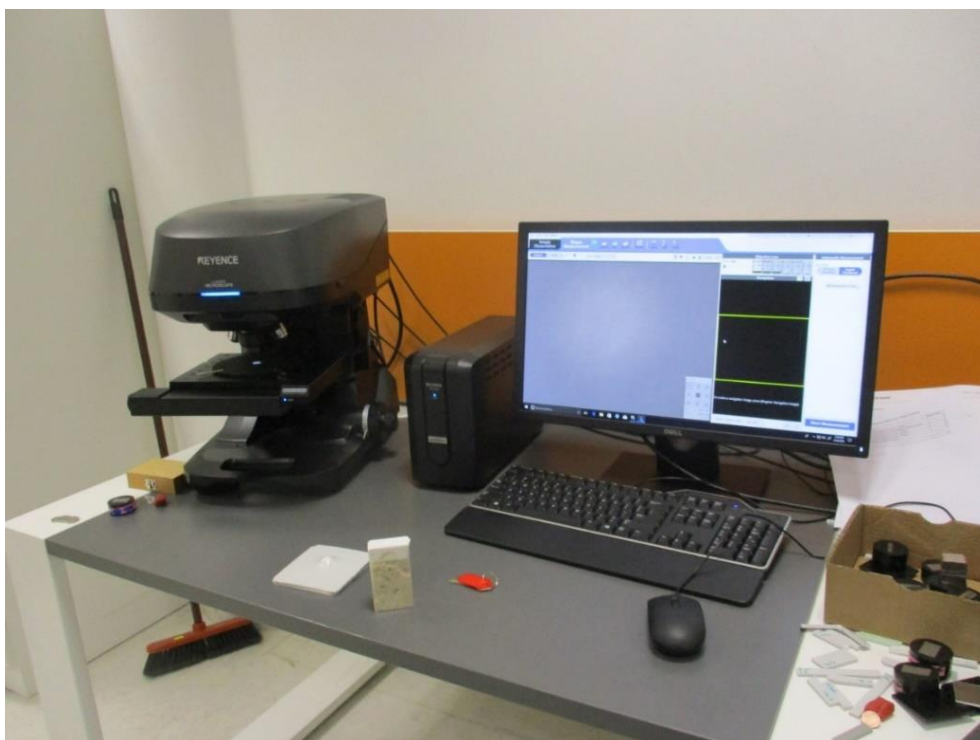
5.1.1 Postup výroby testovacích vzorků

Pro přípravu kompozitního materiálu byl použit izolační pás vyrobený z rouna ovčích vláken prodáváný pod obchodním názvem Naturwool A500/P100 společností Naturwool s.r.o. Tento materiál byl pomocí nůžek nastříhán a pomocí nožového mlýnu se síťovým tříděčem FRITSCH Universal Cutting Mill PULVERISETTE 19 namlet přes síto o velikosti ok 3 a 1 mm. Forma pro výrobu vzorků byla vyrobena ze silikonového kaučuku Lukopren N 1522.

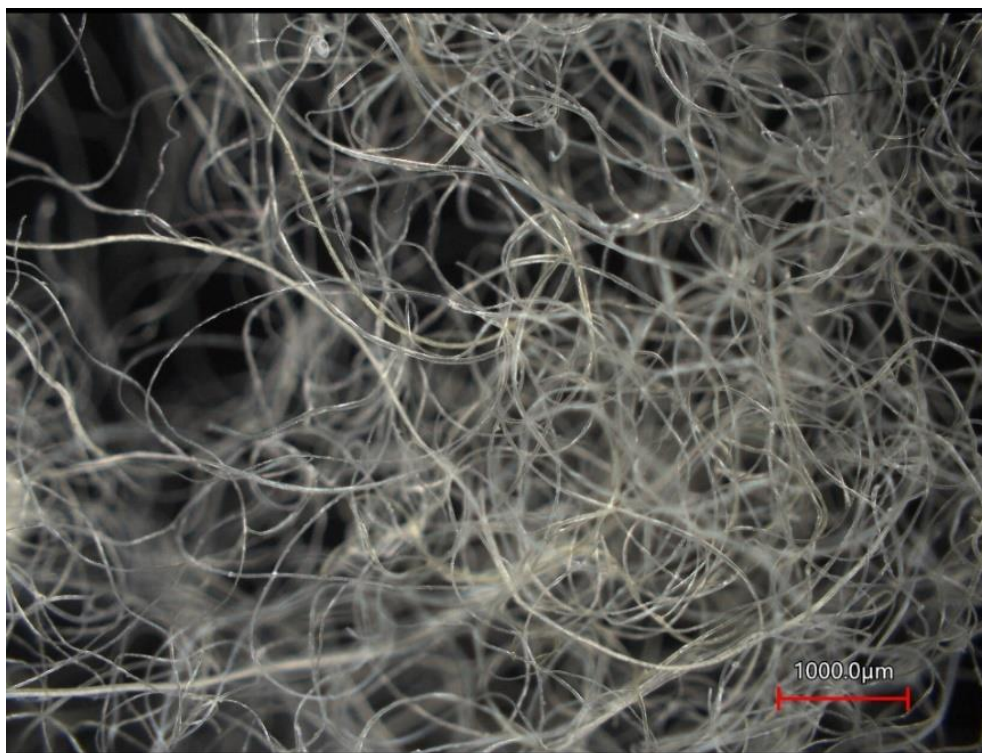
Pás z ovčích vláken byl nejprve rozstříhán nůžkami na menší části, následně pomocí nožového mlýna a vibračního síťového tříděče (FRITSCH Analysette 3) připravena krátká vlákna o délce 3 mm a z nich následně o délce 1 mm.

5.1.2 Mikroskopická diagnostika ovčího rouna a vláken

Na obrázcích č. 14 až 19 jsou fotografie pořízené na laserovém mikroskopu Keyence na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.



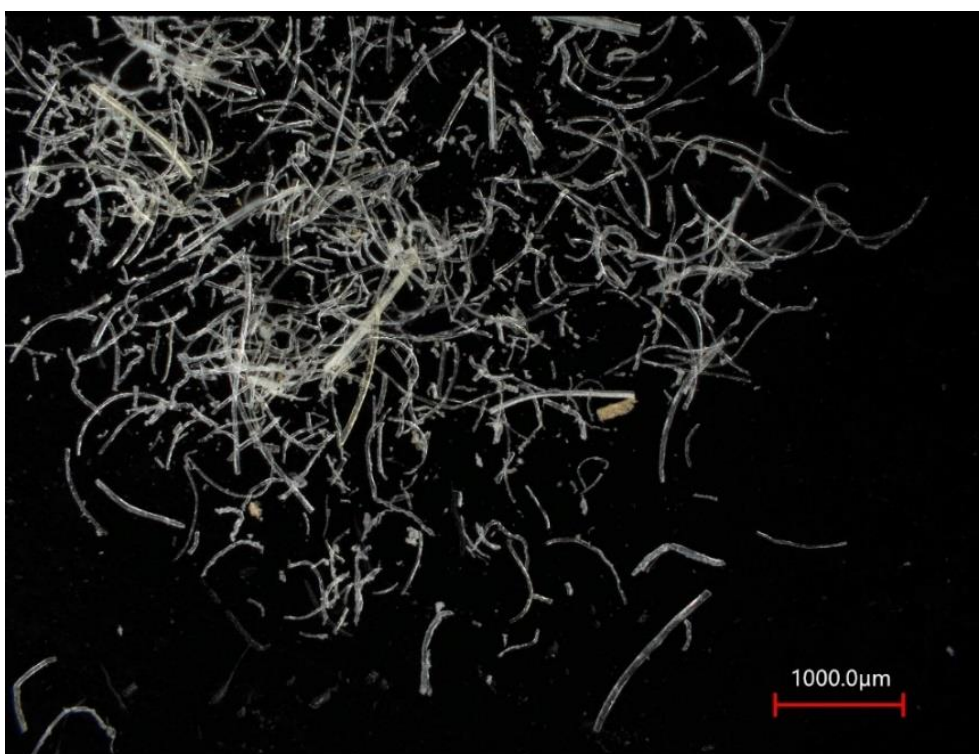
Obr. 14: Konfokální mikroskop Keyence Laser Microscope



Obr. 15: Ovčí rouno před mletím

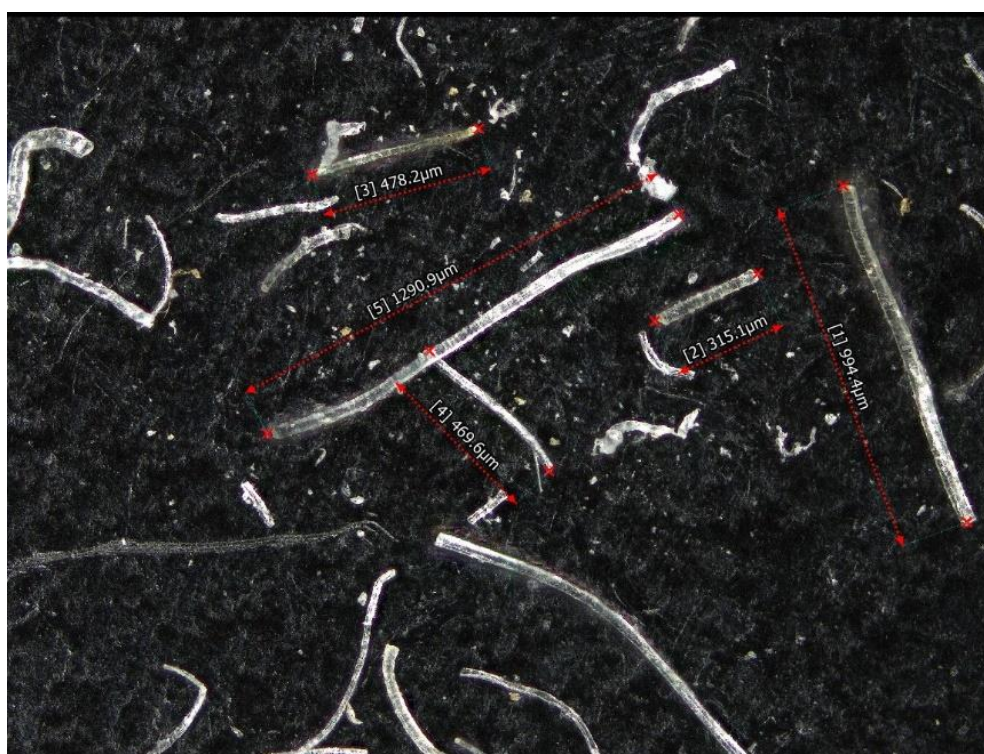


Obr. 16: Ovčí rouno po mletí zvětšení 1000 μm



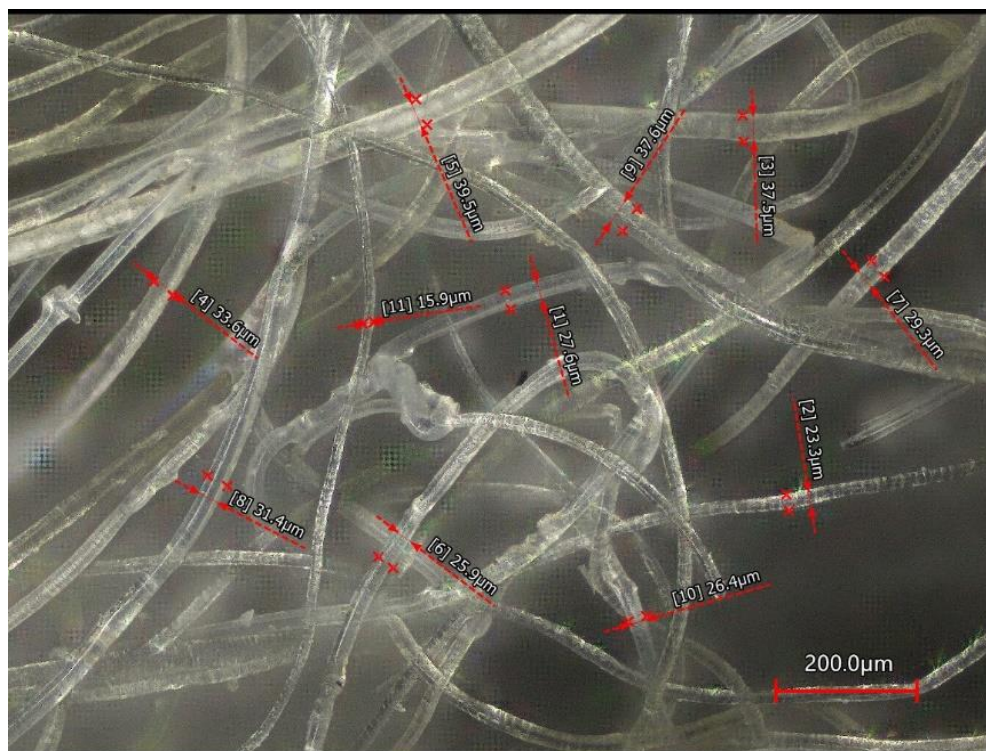
Obr. 17: Ovčí vlákna po mletí zvětšení 1000 μm

Na obr. č. 18 jsou patrné různé délky vláken, kdy lze změřit délky: 315,1 μm, 469,6 μm, 478,2 μm, 994,6 μm a 1290,9 μm.



Obr. 18: Distribuce velikosti délek vláken

Na obr. č. 19 je naměřen vzorek vláken ovčí vlny, jehož distribuce je velikosti průměrů vláken při zvětšení 200 μm a jednotlivá vlákna mají průměr od 15,9 μm do 39,5 μm .



Obr. 19: Distribuce velikosti průměrů vláken při zvětšení 200 μm

Při přípravě matric bylo v nádobách smícháno potřebné množství směsi pryskyřice a tvrdidla a vytvořeny vzorky bez použití plniva z ovčích vláken. Tyto vzorky jsou označeny „PU^{a,b} 0%“, „UP 0%“ a „EP 0%“. Dále byly připraveny plněné matrice s přidavkem 3 objemových procent plniva z ovčích vláken. Tyto vzorky jsou označeny „PU^{a,b} 3%“, „UP 3%“ a „EP 3%“. Použité matrice jsou prodávány společností Dawex Chemical s.r.o. Označení „PU^a“ jedná se o polyuretanovou pryskyřici s obchodním názvem Gaform R30 a u „PU^b“ Gaform R55. Označení „UP“ jedná se o polyesterovou pryskyřici GPE 100. Označení „EP“ jedná se o epoxidovou pryskyřici EPOX G20. Příprava zkušebních vzorků byla provedena za pokojové teploty. Orientace plniva je v matricích náhodná a byla provedena ručně. Vzorky nebyly tepelně upraveny.

Gaform R30 - Polyuretanová licí pryskyřice – PU^a

Použití s výhodou u složitých dílů. Pryskyřice je velmi tekutá, rychle tvrdnoucí PUR pryskyřice s velmi dobrou zabíhavostí. Dobře opracovatelná. Především pro drobné odlitky a velké série. Velmi dobře plnitelná. Vhodná i pro výrobu kompaktních bloků pro následné obrábění na CNC strojích. [60]

Tab. 5 Vlastnosti polyuretanové pryskyřice Gaform R30 (PU^a) [60]

| | |
|------------------------------|--|
| mísící poměr | 100 : 100 |
| doba zpracovatelnosti | 3 - 4 minuty |
| doba vytvrzení | 20 -30 minut při teplotě 20 °C a množství 200 g |
| tvrdost | 83 Shore D |
| viskozita složky A | 285 mPa·s při 20 °C DIN 53211 |
| viskozita složky B | 150 mPa·s při 20 °C DIN 53019 |
| hustota složky A | 1,05 g/cm ³ při 20 °C DIN 51757 |
| hustota složky B | 1,126 g/cm ³ při 20 °C DIN 51757 |
| barva složky A | bílá |
| barva složky B | hnědá |

EPOX G20 - transparentní epoxidový licí systém – EP

Použití nízkomolekulární epoxidové pryskyřice s širokým spektrem použití. Vhodná pro zalévání a vytváření dekoračních předmětů, podlah, 3D efektů, odznaků, světelných těles, zalévání a lepení šperků apod. Velmi tekutý a dobře zabíhavý systém. Lze použít i pro výrobu forem, modelů, a také pro pevnostní lepení a spojování (kovy, sklo, beton, guma, dřevo apod.). Vhodná pro přípravu laminátů, a pro použití v elektronickém a elektro-technickém průmyslu. Po vytvrzení transparentní, lze dodat i pigmentovaný. Výborné mechanické vlastnosti. Vysoká pevnost a soudržnost. Hmota je prakticky bez zápachu. [61]

Tab. 6 Vlastnosti epoxidové pryskyřice EPOX G20 (EP) [61]

| | |
|---------------------------|-----------------------------|
| mísící poměr | 100:23:00 |
| viskozita složky A | cca 450 mPa.s |
| viskozita složky B | cca 30 mPa.s |
| hustota směsi | 1 – 1,05 g/cm ³ |
| doba vytvrzení | cca 24 hodin (200 g, 23 °C) |
| pevnost v tahu | 55 MPa |
| pevnost v tlaku | 65 MPa |
| barva složky A | čirá |
| barva složky B | čirá |

GPE 100 – Polyesterová transparentní pryskyřice - UP

Transparentní licí systém, rychle vytvrzující. Materiál má po vytvrzení stejný index lomu jako sklo. Materiál je vhodný pro zalévání a vytváření dekoračních předmětů, 3D efektů, odznaků, světelných těles, zalévání a lepení šperků, biologických materiálů apod. Velmi tekutý a dobře zabíhavý systém. Lze použít i pro výrobu forem, modelů, a také pro pevnostní lepení a spojování (kovy, sklo, beton, guma, dřevo aj.). Vhodná pro přípravu laminátů, pro použití v elektronickém a elektrotechnickém průmyslu. Po vytvrzení čirý, transparentní, lze velmi dobře pigmentovat. Obsahuje složky pro zlepšení odolnosti vůči povětrnostním vlivům. [62]

Tab: 7 Vlastnosti polyesterové pryskyřice GPE 100 (UP) [62]

| | |
|------------------------------|-------------------------------|
| mísící poměr | 40:01,3 |
| viskozita složky A | cca 200 - 200 mPa.s |
| viskozita složky B | cca 10 - 20 mPa.s |
| hustota složky A | 1,12 g/cm ³ |
| hustota složky B | 1,13 – 1,15 g/cm ³ |
| doba zpracovatelnosti | 10 – 30 minut (200 g, 23 °C) |
| doba vytvrzení | 50 – 80 minut (200 g, 23 °C) |
| barva složky A | čirá |
| barva složky B | čirá |

Gaform R55 - Polyuretanová licí pryskyřice – PU^b

Velmi tekutá, středně rychle tvrdnoucí PUR pryskyřice s velmi dobrou zabíhavostí. Zpracovatelnost 10 - 12 minut, vyjmutí z formy za 120 - 240 minut (podle odlévaného množství a tloušťky vrstvy). Dobře opracovatelná. Velmi dobře plnitelná. [63]

Tab. 8 Vlastnosti polyuretanové pryskyřice Gaform R55 (PU^b) [63]

| | |
|------------------------------|--|
| mísící poměr | 100 : 100 |
| doba zpracovatelnosti | 10 - 12 minut |
| doba vytvrzení | 120 - 240 minut při teplotě 20 °C a množství 200 g |
| tvrdost | 75 Shore D |
| viskozita složky A | 285 mPa·s při 20 °C DIN 53211 |
| viskozita složky B | 150 mPa·s při 20 °C DIN 53019 |
| hustota složky A | 1,05 g/cm ³ při 20 °C DIN 51757 |
| hustota složky B | 1,126 g/cm ³ při 20 °C DIN 51757 |
| barva složky A | bílá |
| barva složky B | hnědá |

Separátor V11 - separační prostředek pro průmyslové použití

Separátor je určen proti přilnutí polyuretanových nebo epoxidových hmot na místech kde to není žádoucí a umožňuje snadné vyjmutí a oddělení separované části a odlévané hmoty. Lze použít při lití PUR hmoty na kov, dřevo, sádku, beton, kámen, nebo samotný polyuretan. Nanáší se hadříkem nebo štětečkem, velmi rychle zasychá. [64]

Pás 100 Naturwool – izolační pás z ovčích vláken

Izolační pásy z ovčích vláken. Složení činí 90 % ovčích vláken a 10 % dvousložkového vlákna na bázi polyesteru. Ovčí vlna je ošetřena 10% roztokem proti molům. [65]

Tab. 9 Vlastnosti izolačního pásu 100 Naturwool A 500 [65]

| Parametry | Hodnoty pro jednu vrstvu izolace |
|--|---|
| Složení | 90 % ovčí vlna 10 % dvousložkové vlákno |
| Objemová hmotnost | 500 g/m ² |
| součinitel tepelné vodivosti [λ] | 0,042 (při stlačení na 1/3 0,034) W/m.K |
| Tepelný odpor [R] | 1,2 m ² .K/W |
| Faktor difúzního odporu | 1,5 μ |
| Součinitel prostupu tepla [U] | 1,07 W/m ² .K |
| Sorpční hmotnostní vlhkost | 20 % |
| Reakce na oheň | E |
| Maximální teplota použití | 170 °C |

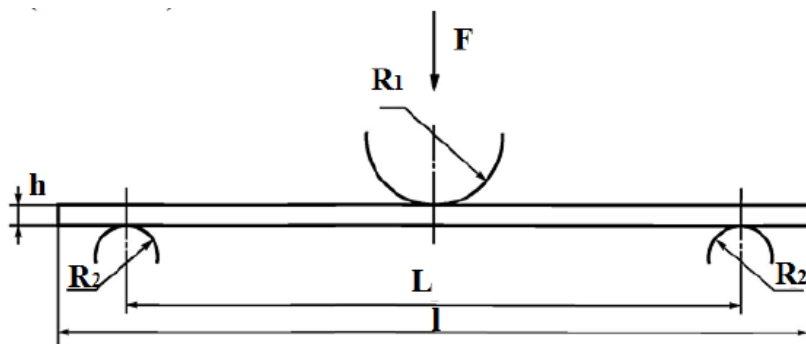
5.2 Zvolené metody testování

5.2.1 Statická zkouška třibodovým ohybem

Vlákný vyztužené plastové kompozity - Stanovení ohybových vlastností dle ČSN EN ISO 14125

Tato norma vychází z ISO 178 a je určena pro vlákný vyztužené plastové kompozity. Zahrnuje rovněž zkušební podmínky používané při zkoušení sklem vyztužených plastů.

Zkušební podmínky jsou proti ISO 178 rozšířeny a předepisují ohybové zatěžování třibodové (metoda A) a čtyřbodové (metoda B). Popisují rovněž podmínky pro pojiva používaná v kompozitech obsahujících nové typy vláken, jako jsou uhlíková a aramidová. Celková délka tělesa pro oba typy zatěžování je stejná. Předmět normy ISO 178 je revidován a omezen na nevyztužené a plněné plasty. [66]



Obr. 20: Uspořádání statické zkoušky „třibodovým ohybem“ [66]

$L = 64$ [mm]; $R_1 = 5$ [mm]; $R_2 = 2$ [mm]; $h = 5$ [mm]

5.2.2 Návrh rozměru zkušebního tělesa pro ohybovou zkoušku

Norma ČSN EN ISO 14125 uvádí rozměry $l = 80$ [mm], $a = 10$ [mm], $b = 4$ [mm]. [66]



Obr. 21: Zkušební tělesa UP 0 %, EP 3 % a EP 0 % před měřením.



Obr. 22: Univerzální zkušební stroj ZWICK 1456

Naměřené hodnoty pro polyuretanovou (PU), epoxidovou (EP), polyesterovou (UP) pryskyřici. Pro zkoušku tříbodovým ohybem byly připraveny zkušební vzorky, jejichž matrice neobsahovaly ovčí vlnu a matrice plněné ovčí vlnou ve hmotnostním podílu 3 %, o délce vláken 1 mm.

V tabulkách (10 až 18) je vidět vliv na modul elasticity (E). Přidáním ovčího vlákna modul elasticity klesá.

Tab. 10 Vyhodnocení hodnot pro vzorky EP 0 %

| EP 0 % | E_i | σ_M | ϵ_{Fmax} | W_M |
|---------------|-------|------------|-------------------|--------|
| $n = 5$ | [MPa] | [MPa] | [%] | [N.mm] |
| \bar{x} | 2530 | 58,3 | 2,2 | 191,72 |
| \bar{s} | 523 | 9,18 | 0,2 | 39,84 |
| η | 20,67 | 15,75 | 9,97 | 20,78 |

Tab. 11 Vyhodnocení hodnot pro vzorky EP 3 %

| EP 3 % | E_i | σ_M | $\mathcal{E}_{F\ max}$ | W_M |
|---------------|-------|------------|------------------------|--------|
| $n = 5$ | [MPa] | [MPa] | [%] | [N.mm] |
| \bar{x} | 2200 | 49,3 | 2,1 | 155,08 |
| \bar{s} | 347 | 13,1 | 0,3 | 65,64 |
| η | 15,81 | 26,51 | 15,87 | 42,33 |

Tab. 12 Vyhodnocení hodnot pro vzorky PU^a 0 %

| PU^a 0 % | E_i | σ_M | $\mathcal{E}_{F\ max}$ | W_M |
|---------------------------|-------|------------|------------------------|--------|
| $n = 5$ | [MPa] | [MPa] | [%] | [N.mm] |
| \bar{x} | 1190 | 39,4 | 5,2 | 397,19 |
| \bar{s} | 233 | 6,17 | 0,2 | 54,26 |
| η | 19,55 | 15,67 | 4,3 | 13,66 |

Tab. 13 Vyhodnocení hodnot pro vzorky PU^a 3 %

| PU^a 3 % | E_i | σ_M | $\mathcal{E}_{F\ max}$ | W_M |
|---------------------------|-------|------------|------------------------|--------|
| $n = 5$ | [MPa] | [MPa] | [%] | [N.mm] |
| \bar{x} | 1040 | 30,7 | 4,7 | 285,76 |
| \bar{s} | 300 | 8,55 | 0,5 | 90,12 |
| η | 28,78 | 27,87 | 9,98 | 31,54 |

Tab. 14 Vyhodnocení hodnot pro vzorky UP 0 %

| UP 0 % | E_i | σ_M | $\mathcal{E}_{F\ max}$ | W_M |
|---------------|-------|------------|------------------------|--------|
| $n = 5$ | [MPa] | [MPa] | [%] | [N.mm] |
| \bar{x} | 925 | 36,3 | 4,5 | 268,07 |
| \bar{s} | 186 | 7,11 | 0,4 | 69,75 |
| η | 20,09 | 19,59 | 8,64 | 26,02 |

Tab. 15 Vyhodnocení hodnot pro vzorky UP 3 %

| UP 3 % | E_i | σ_M | $\mathcal{E}_{F\ max}$ | W_M |
|---------------|-------|------------|------------------------|--------|
| $n = 5$ | [MPa] | [MPa] | [%] | [N.mm] |
| \bar{x} | 900 | 25,5 | 2,9 | 113,2 |
| \bar{s} | 180 | 4,95 | 0,1 | 23,68 |
| η | 19,47 | 19,41 | 4,96 | 20,92 |

Tab. 16 Vyhodnocení hodnot pro vzorky PU^b 0 %

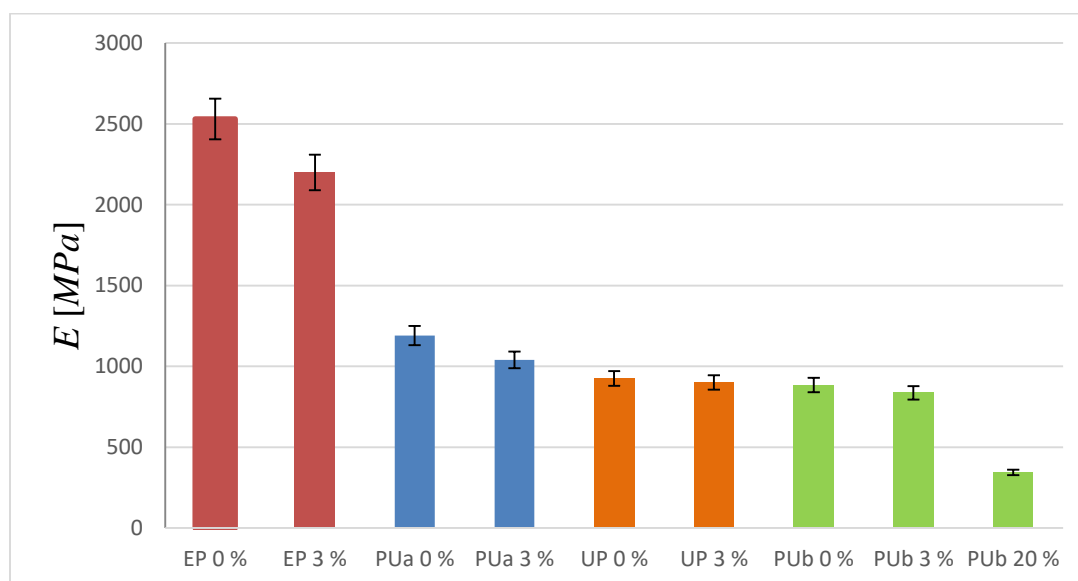
| PU ^b 0 % | E_i | σ_M | $\mathcal{E}_{F max}$ | W_M |
|---------------------|-------|------------|-----------------------|--------|
| $n = 5$ | [MPa] | [MPa] | [%] | [N.mm] |
| \bar{x} | 884 | 36,5 | 4,9 | 362,1 |
| \bar{s} | 175 | 5,12 | 1,1 | 148,11 |
| η | 19,81 | 14,01 | 23,03 | 40,9 |

Tab. 17 Vyhodnocení hodnot pro vzorky PU^b 3 %

| PU ^b 3 % | E_i | σ_M | $\mathcal{E}_{F max}$ | W_M |
|---------------------|-------|------------|-----------------------|--------|
| $n = 5$ | [MPa] | [MPa] | [%] | [N.mm] |
| \bar{x} | 836 | 27,7 | 4 | 226,57 |
| \bar{s} | 131 | 4,14 | 0,5 | 47,73 |
| η | 15,65 | 14,92 | 13,39 | 21,07 |

Tab. 18 Vyhodnocení hodnot pro vzorky PU^b 20 %

| PU ^b 20 % | E_i | σ_M | $\mathcal{E}_{F max}$ | W_M |
|----------------------|-------|------------|-----------------------|--------|
| $n = 5$ | [MPa] | [MPa] | [%] | [N.mm] |
| \bar{x} | 344 | 8,51 | 2,9 | 49,11 |
| \bar{s} | 57,5 | 0,971 | 0,5 | 10,98 |
| η | 16,75 | 11,4 | 16,15 | 22,37 |



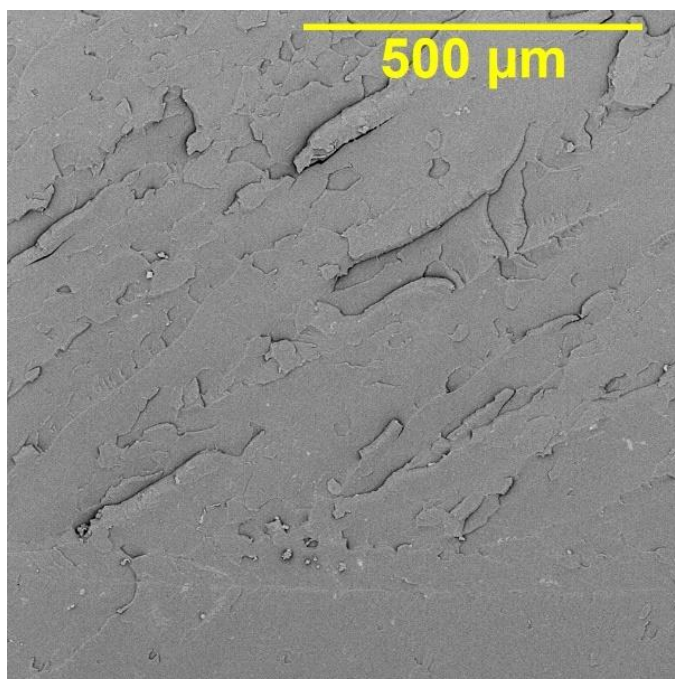
Obr. 23: Porovnání naměřených hodnot modulu pružnosti E_i

6. Mikroskopická diagnostika zkušebních vzorků po zkoušce tříbodovým ohybem dle ČSN EN ISO 14125

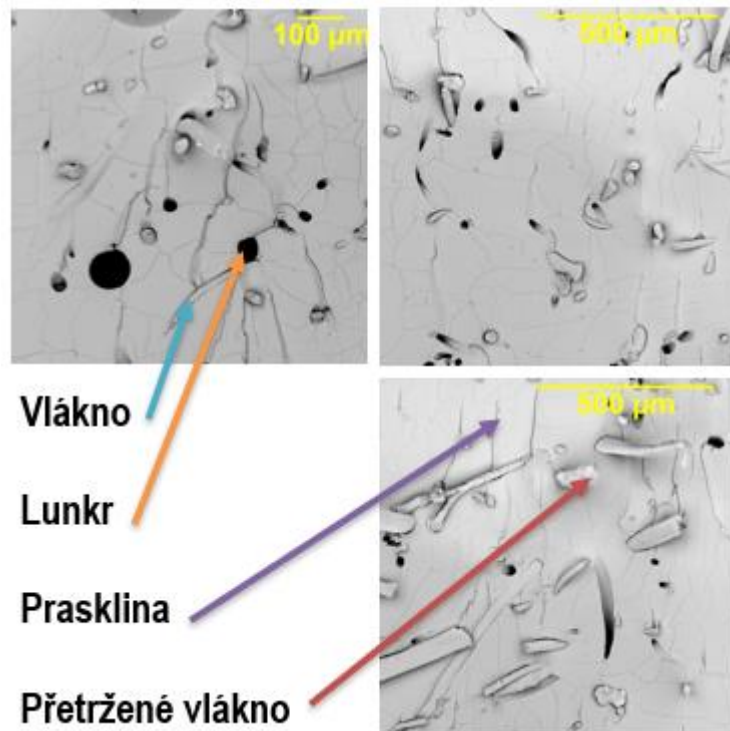
Při mikroskopické diagnostice zkušebních vzorků bylo provedeno na řádkovacím elektronovém mikroskopu Aspex Psem Explorer na lomové ploše. Pro srovnání jsou zde čisté matrice bez plniva (0 %) a s plnivem 3 a 20 %.



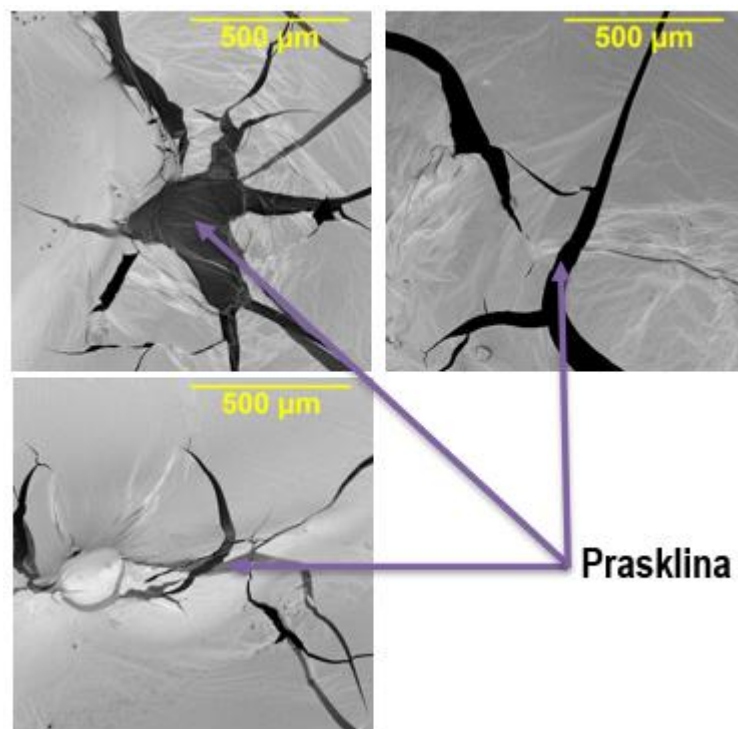
Obr. 24: Řádkovací elektronový mikroskop Aspex Psem Explorer



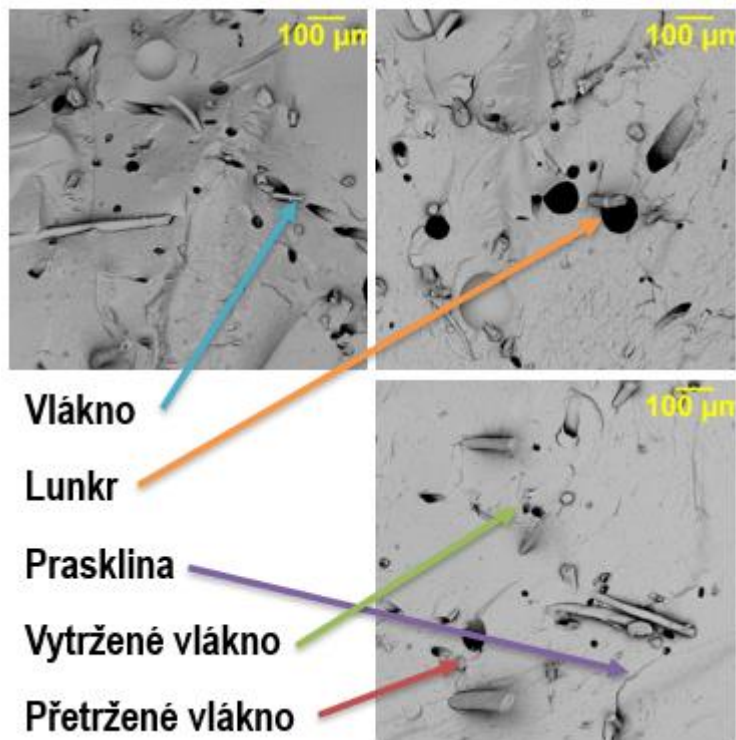
Obr. 25: EP 0 %, zvětšení 500 μm



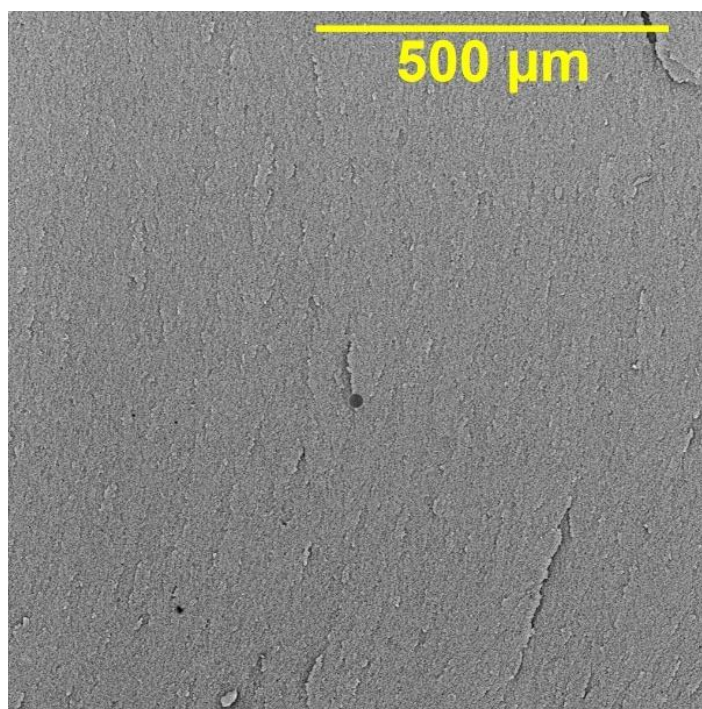
Obr. 26: EP 3 %, zvětšení 100 a 500 μm



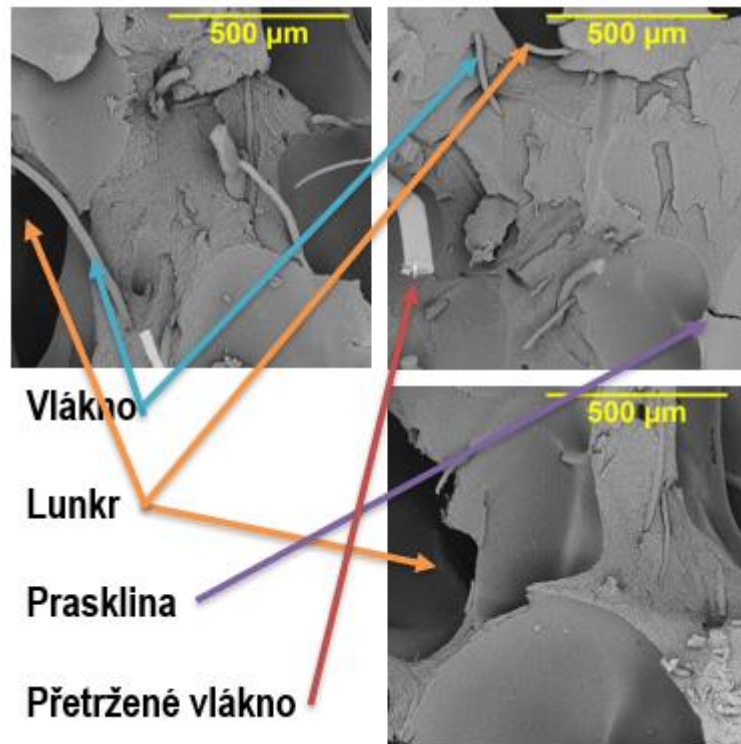
Obr. 27: UP 0 %, zvětšení 500 μm



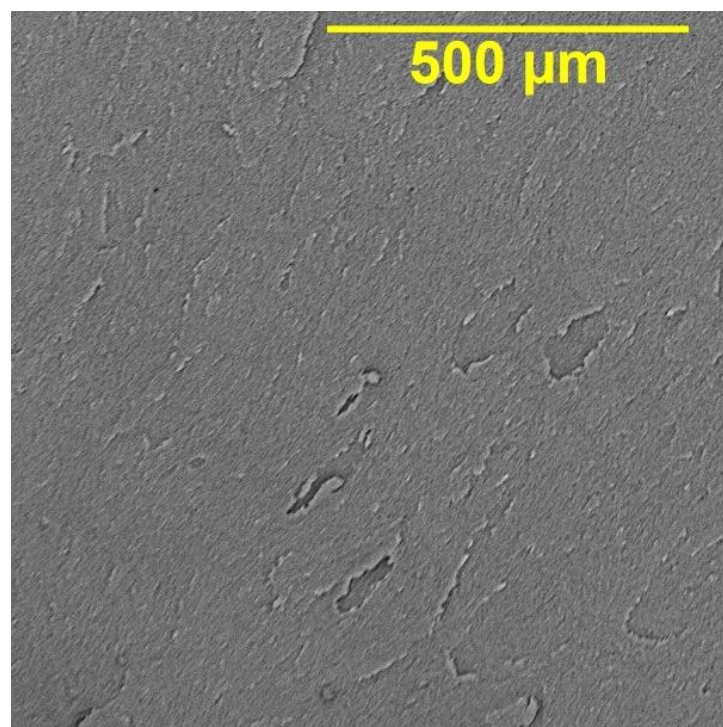
Obr. 28: UP 3 %, zvětšení 100 μm



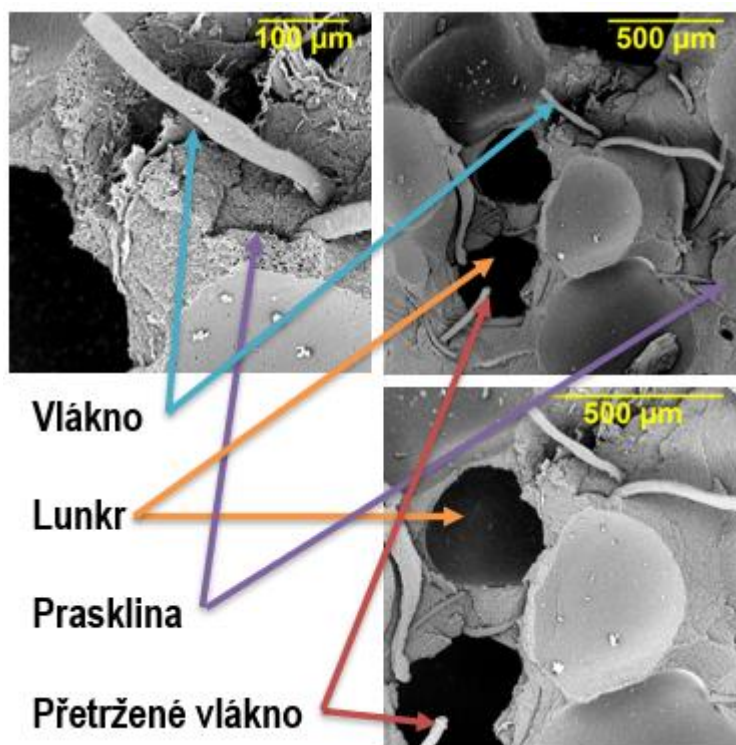
Obr. 29: PU^a 0 %, zvětšení 500 μm



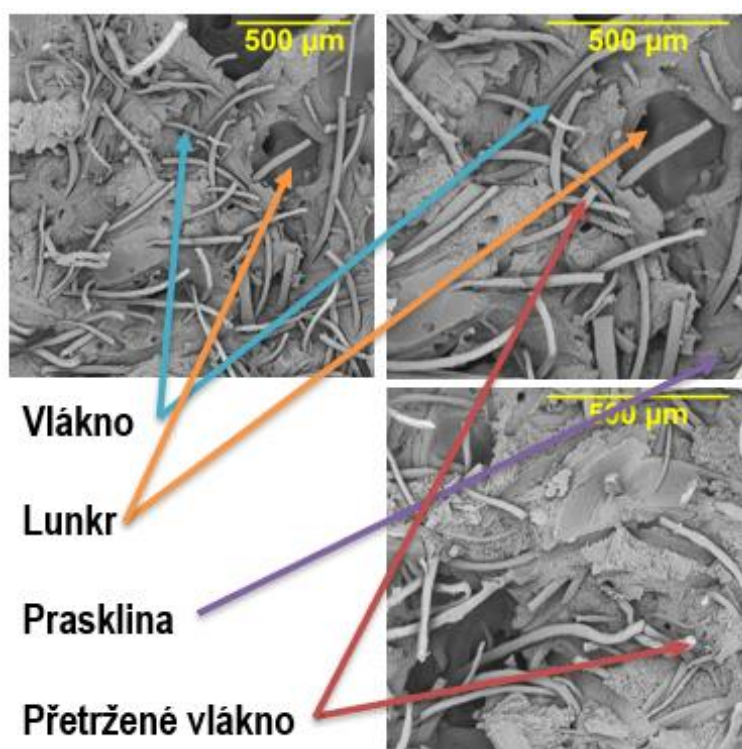
Obr. 30: PU^a 3 %, zvětšení 500 μm



Obr. 31: PU^b 0 %, zvětšení 500 μm



Obr. 32: PU^b 3 %, zvětšení 100 μm, 500 μm



Obr. 33: PU^b 20 %, zvětšení 500 μm

7. Měření elementárního průměru vlákna ovčích vláken

7.1 Krátká a sférická vlákna

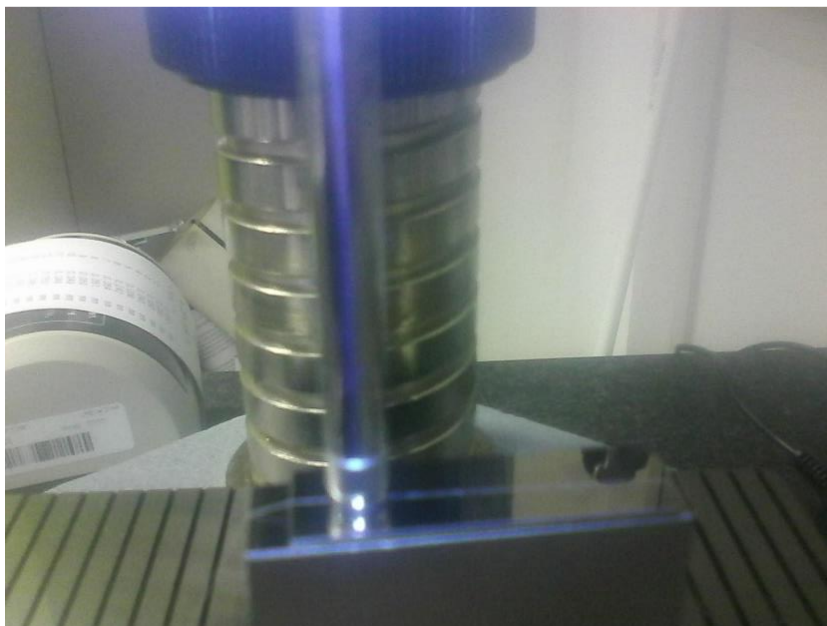
Krátké vlákna mají štíhlostní poměr $\frac{l}{D}$ do 200 a sférická vlákna $\frac{l}{D}$ rovný 1.

Pro výpočet délky vláken bylo zapotřebí tato vlákna změřit a vypočítat štíhlostní poměr.

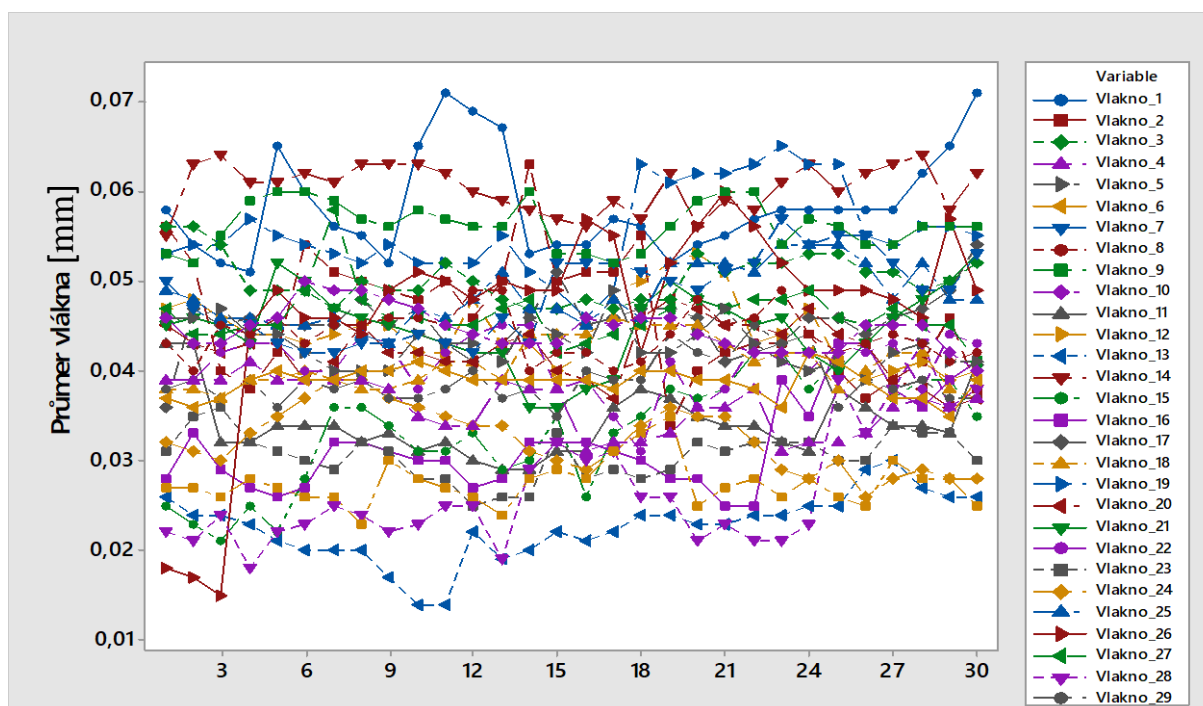
Pro měření průměru vláken byl použit Digitální úchylkoměr ID-H Mitutoyo s výškou měření 0 až 30 mm s rozlišitelností, resp. chybou měření 0,001 mm, koncové měrky 50 mm a 1 mm a závaží. Bylo změřeno náhodně vybraných 30 vzorků vláken z ovčích vláken z izolačního pásu, tak aby jejich délka přesahovala délku koncové měrky a nedošlo k jejich poškození během měření. Na každém vlákně bylo provedeno 30 měření.



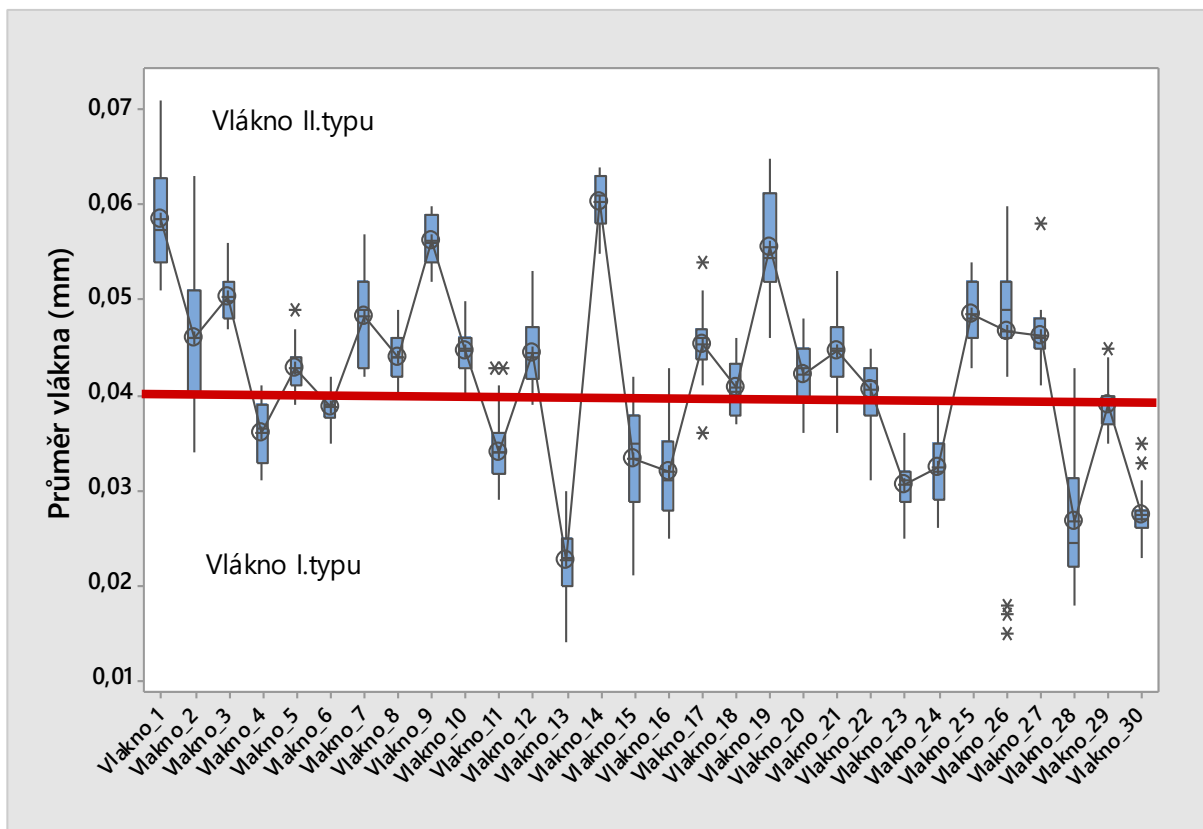
Obr. 34: Digitální úchylkoměr ID-H Mitutoyo



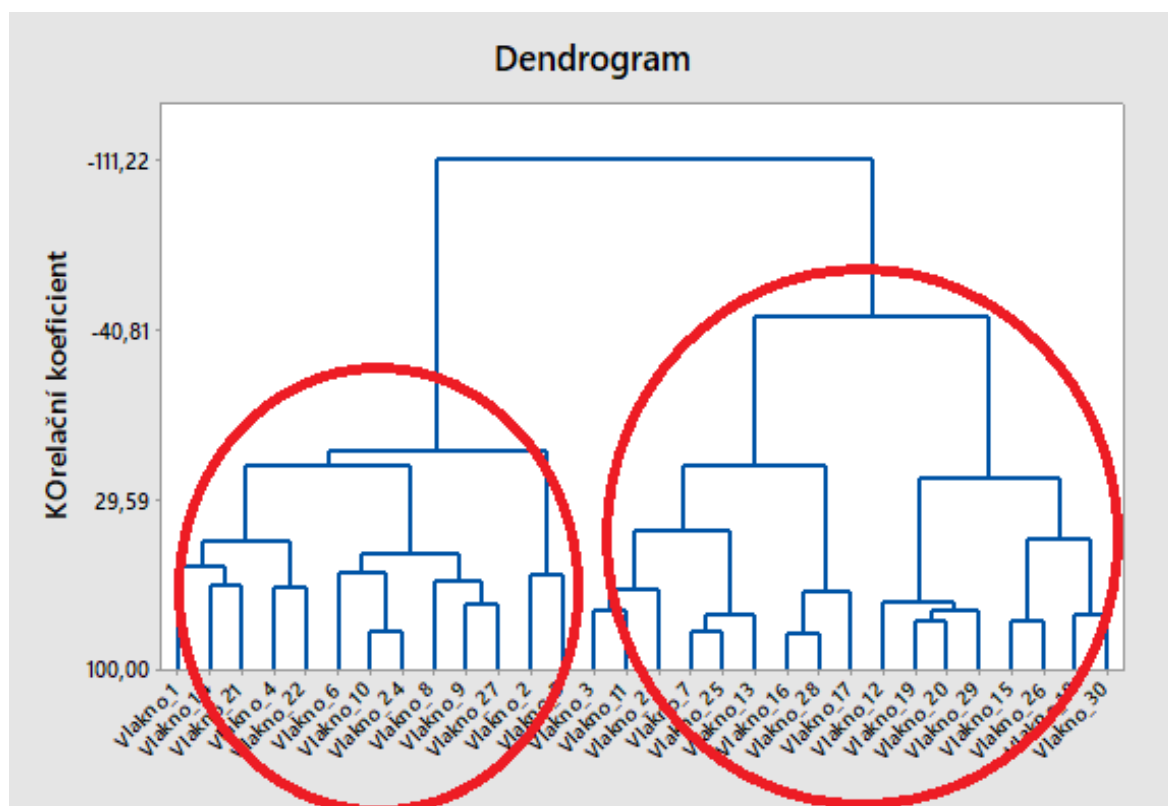
Obr. 35: Detail měření výšky vlákna na Digitální úchylkoměr ID-H Mitutoyo



Obr. 36: Diagram měření minimálního až maximálního průměru vláken



Obr. 37: Rozdělení na vlákna I. typu $\varnothing \leq 0,04$ mm a vlákna II. typu $\varnothing > 0,04$ mm



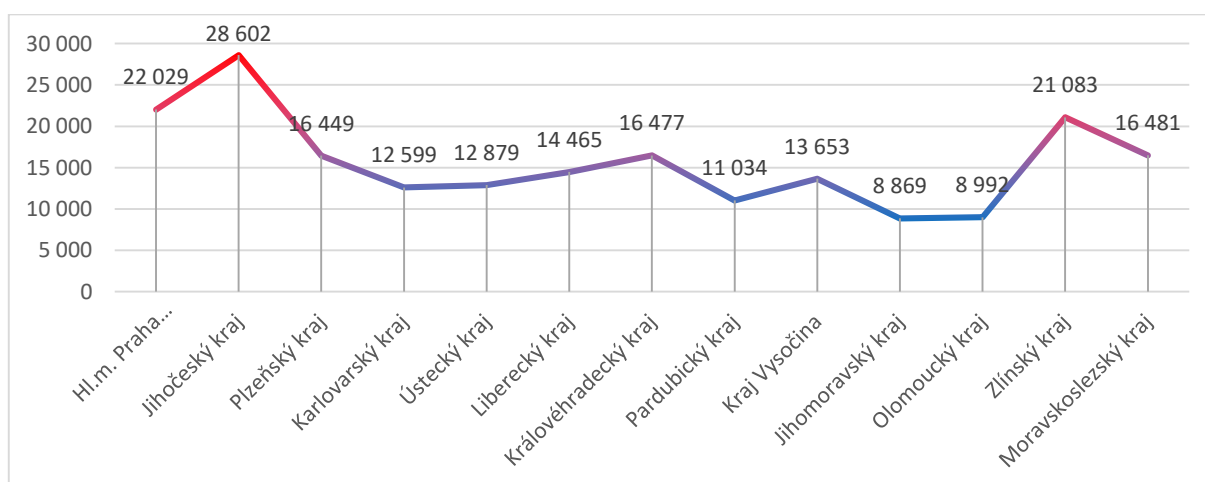
Obr. 38: Shluková analýza, Wardova metoda.

Na obrázku 38 jsou zobrazeny dvě množiny naměřených hodnot pomocí Wardovy metody. Jedná se o směs dvou typů vláken, které jsou si málo podobné.

Tab. 19 Plemena ovcí a průměry vláken vlny [5]

| Plemeno | Průměr vláken vlny [μm] | Výtěžnost vlny [%] | Roční stříž potní vlny [kg] | |
|---------------------|--------------------------------------|--------------------|-----------------------------|------------|
| | | | Bahnice | Berani |
| Původní valaška | nad 40 | 65 až 70 | 1,5 až 2,0 | 2,0 až 3,0 |
| Zušlechtěná valaška | 33 až 40 | 60 až 65 | 3,0 až 3,5 | 4,5 až 5,5 |
| Šumavská | 33 až 45 | 60 až 65 | 3,0 až 3,5 | 4,0 až 5,5 |
| Cigája | 29 až 35 | 55 až 65 | 3,0 až 3,5 | 4,0 až 5,5 |
| Bergschaf | 33 až 40 | 60 až 65 | 4,0 až 5,0 | 5,0 až 6,0 |
| Merinolandschaf | 23 až 27 | 50 až 55 | 4,5 až 5,0 | 5,0 až 7,0 |
| Merino | 23 až 27 | 48 až 50 | 5,0 až 5,5 | 7,0 až 9,0 |

V tabulce 19 jsou uvedena plemena ovcí chovaných ve Zlínském kraji jejichž vlastnosti ovčí vlny odpovídají naměřeným hodnotám průměrů vláken. Nejčastěji jsou zde zastoupena vlákna plemena Původní valašky, Zušlechtěné valašky, Šumavské ovce, Cigáje, Bergschaf, Merino a Merinolandschaf. Z tabulky také vyplývá množství roční stříže potní vlny v kilogramech. Tento údaj je podstatný pro představu množství potenciálního množství stříže potní vlny ve Zlínském kraji potažmo v celé české republice. V roce 2020 bylo v České republice chováno 203 612 ovcí což při průměrné roční stříži 5 kg na ovci činí přibližně 1000 tun potní vlny.



Obr. 39: Počet ovcí v roce 2020 v krajích České republiky. [67]

8. Elektrické a dielektrické vlastnosti kompozitů z ovčích vláken

8.1 Základní vztahy v elektrotechnice

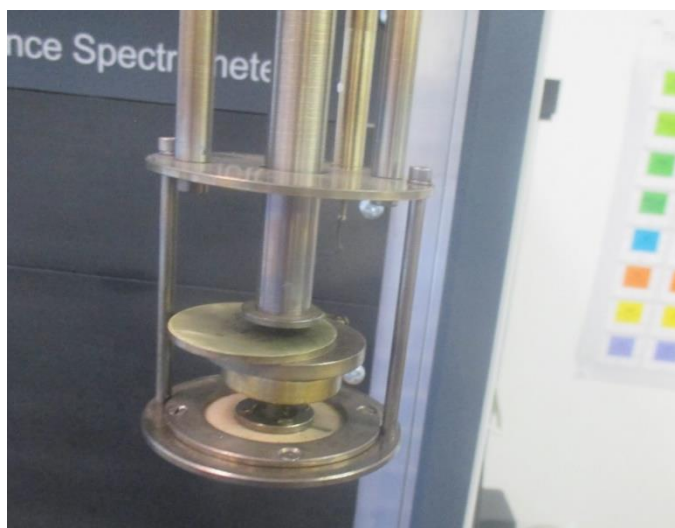
Základními elektrickými veličinami jsou elektrické napětí, elektrický proud a elektrický odpor. Napětí, které je mezi dvěma místy (obvykle jsou to plochy, které když jsou malé, jsou považovány za body), způsobuje, že mezi nimi prochází (protéká nebo je protlačován) elektrický proud, který je tím větší, čím větší je napětí mezi těmito místy, kdy proud je přímo úměrný napětí mezi nimi. [68]

8.2 Použité přístrojové vybavení

Pro měření jednosměrné elektrické konduktivity byla použita aparatura Concept 90 firmy Novocontrol umožňující uskutečnit experimenty v teplotním rozsahu od -160 do $+450$ °C. Pro stanovení elektrické konduktivity využívá měření velikosti protékajícího elektrického proudu při konstantním jednosměrném napětí až do 250 V. Velikost elektrického proudu je v této aparatuře určována pomocí elektrometru Keithley 6517B. Vzorek je po dobu měření teplotně stabilizován oběhem ohřátého/ochlazeného plynného dusíku.



Obr. 40: Měřicí aparatura Concept 90 Novocontrol



Obr. 41: Detail měřící buňky BDS 1200

Měření střídavé elektrické vodivosti, permitivity, ztrátového činitele byl použit LCR Hi-tester HIOKI 3522-50 umožňující měřit ve frekvenčním intervalu 0,1 Hz - 100 kHz. Pro řízení teploty byla použita měřící buňka umožňující uskutečnit experimenty v teplotním intervalu 20 °C až 200 °C s elektrickým ohřevem s nuceným oběhem vzduchu.

8.3 Volba parametrů měření, použití vlastní elektrody

Pro měření jednosměrné elektrické vodivosti bylo při měření použito konstantní elektrické napětí 10 V. Jeho hodnota byla stanovena s ohledem na dva faktory. Při vyšší intenzitě elektrického pole by mohlo dojít k nežádoucímu ohřevu vzorku přechodem měřícího, popřípadě k poškozování vzorku průrazům elektrického napětí. Při nižších intenzitách elektrického pole výrazně roste nejistota měření a šum.

Při stanovení velikosti elektrické vodivosti je také důležitým velikostní faktor. Pro měření izolantů je vhodné volit tloušťku vzorku (ve směru působícího vnějšího elektrického pole) výrazně menší než rozměry určující průřez vzorku. Při větším průřezu vzorku je měření obecně přesnější, pokud se zohlední fakt tepelné vodivosti vzorků. Při experimentech byl průřez připravených vzorků cca 15 x 15 mm a tloušťka do 2 mm. Vzhledem k faktu, že předpokládaná tepelná vodivost vzorků je nízká, byl při měření použit lineární ohřev konstantní rychlostí 1 °C / min.

Při měření izolantů je také důležitým faktorem dostatečná homogenita elektrického pole v objemu měřeného vzorku. Při měření vzorků na bázi plastů je obvykle měřící uspořádání v podobě dvou kovových elektrod se vzorkem

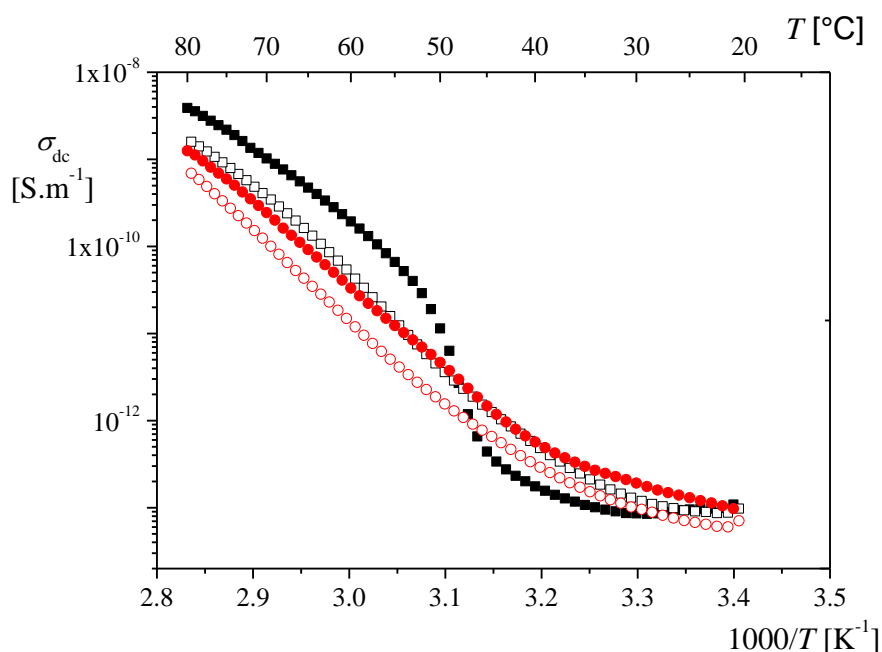
umístěnou mezi nimi nevhodné z hlediska dostatečné homogenity elektrického pole ve vzorku. V těchto případech se standardně používá nanesení vlastní elektrody na povrch vzorku. Vlastní elektroda (vodivá vrstva) musí být stabilní během celého měření, nesmí reagovat s materiálem vzorku, měla by mít jednoduchý postup přípravy. Při prvním experimentu jsme ověřovali vhodnost námi použité vlastní elektrody na bázi koloidního grafitu. Pro experiment jsme náhodně vybrali vzorek (EP + 5 % ovčí vlákna) a mechanicky upravili na požadované rozměry a tvar. Vzorek byl vložen do měřicí aparatury a následně se na ní uskutečnily dvě měření při lineární rostoucí teplotě do teploty 80 °C, tedy v oblasti teplotní stability vzorku. Po provedení měření byl vzorek odebrán z aparatury a na jeho čela byla nanesena suspenze koloidního grafitu v izoamilalkoholu, který má velmi malou rozpustnost vody, což je důležitým faktorem pro měření elektrické konduktivity. Po nanesení pasty se vzorek nechal volně stát alespoň 24 hodin pro odpaření izoamilalkoholu z jeho povrchu. Po 24 hodinách byla na vzorku s vodivou vrstvou z grafitu provedeny třetí a čtvrté měření. Jak ukázaly výsledky těchto měření (obr. 42) došlo na teplotních závislostech jednosměrné elektrické konduktivity ke změnám, které lze charakterizovat následovně:

- Při prvním ohřevu vzorku je patrný prudký vzrůst hodnot konduktivity při teplotě 46 °C ovlivněn uvolňováním nízkomolekulárních složek ze vzorku, případně pokračování síťovacích reakcí.
- Při druhém ohřevu je patrný nárůst hodnot konduktivity při nízkých teplotách, což je způsobeno zlepšením elektrického kontaktu mezi vzorkem a měřicími kovovými elektrodami v důsledku dilatace při prvním měření. Tvar naměřené závislosti ukazuje na minimální vliv uvolňování nízkomolekulárních složek při teplotách nad 55 °C.
- Třetí měření provedené s použitím grafitové elektrody ukazuje na další zlepšení elektrického kontaktu se vzorkem při měření v podobě dalšího nárůstu naměřených hodnot konduktivity při nízkých teplotách, přičemž není patrný vliv uvolňování nízkomolekulárních složek.
- Čtvrté měření se tvarem naměřeného průběhu shoduje s předchozím měřením, tedy bez vlivu dalšího uvolňování nízkomolekulárních složek. Je zde však patrný systematický pokles hodnot konduktivity oproti hodnotám určeným při třetím měření. Tento pokles je způsoben uvolněním absorbované vlhkosti. Absorpce vlhkosti nastala při přípravě vlastní elektrody na bázi grafitu.

Jak ukázaly prvotní experimenty, použití grafitové elektrody zlepšuje elektrický kontakt při uskutečnění měření elektrických vlastností zkoumaných vzorků. Mechanicky i chemicky je vytvořena vrstva z grafitu stabilní a nereaguje se vzorkem. To znamená, že v dalších experimentech bude na zkoumaných vzorcích aplikovaná vlastní elektroda na bázi grafitu.

Druhým důležitým faktorem ovlivňujícím měření je uvolňování nízkomolekulárních složek z objemu vzorku, případně pokračování některých reakcí. Z předchozích měření vyplývá, že pro posouzení dopadu příměsi ovčích vláken bude vhodné až třetí (opakované) měření. Tímto se také odstraní vliv vnášení vlhkosti do objemu vzorku při přípravě vlastní elektrody na jejím povrchu.

Zvolený teplotní interval pro uskutečnění měření teplotních závislostí (20 až 80 °C) je možné použít i pro další experimenty, protože na opakovaných průbězích nejsou pozorovány žádné projevy teplotní degradace sledovaného vzorku.



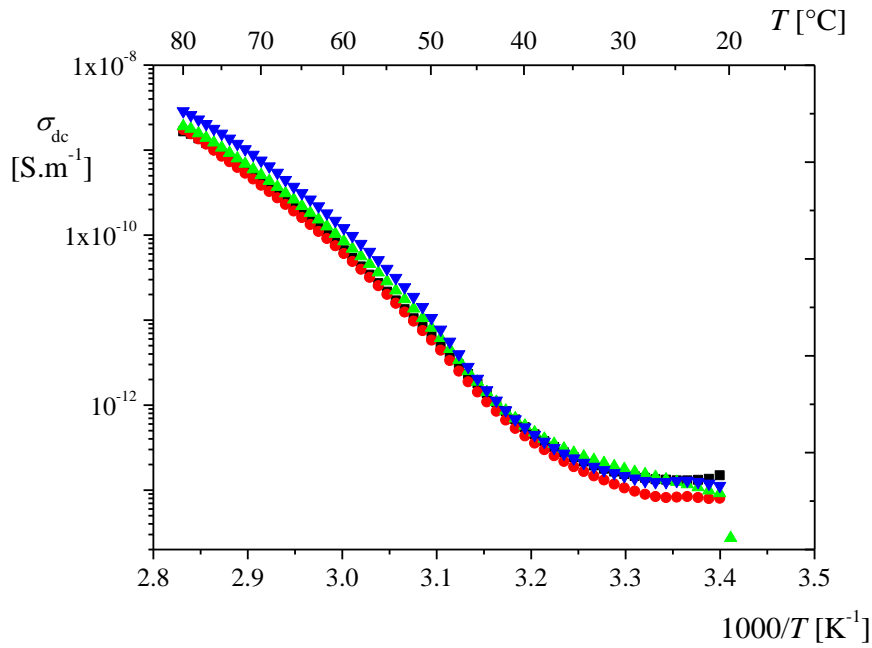
Obr. 42: Teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity σ_{dc} vzorky EP s přidavkem 5 % ovčích vláken: ■ první měření, □ druhé měření, ● třetí měření s vlastní elektrodou z grafitu, ○ čtvrté měření s vlastní elektrodou z grafitu

8.4 Kontrola homogenity vlastností připravených vzorků

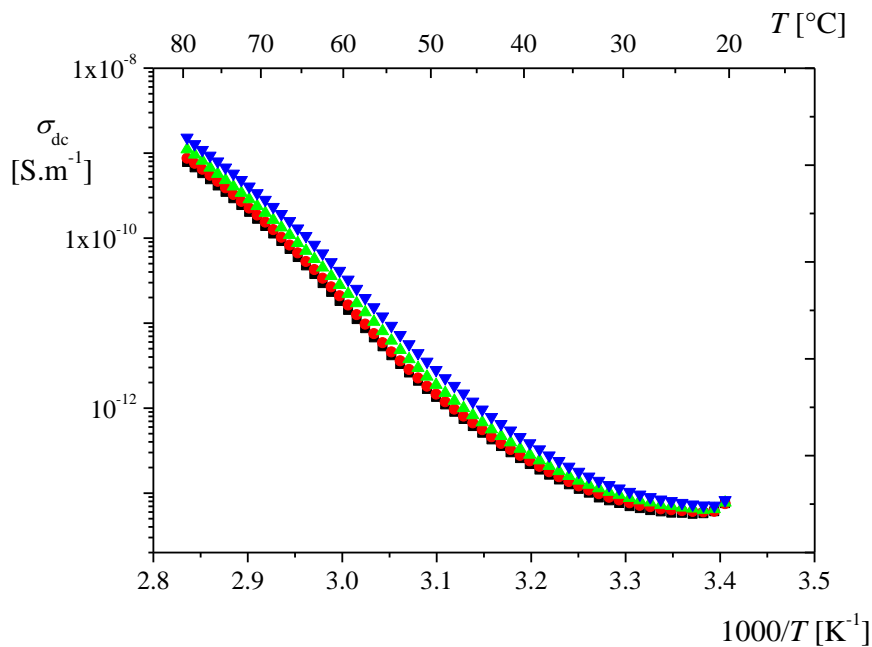
Vysoká citlivost elektrických veličin na změny ve struktuře nekovových materiálů umožňuje posoudit, zda technologická příprava vzorků pro experimenty je dobře zvládnutelná a reprodukovatelná. Předností použití těchto metod je možnost jejich použití i při technologickém procesu v průmyslové praxi. Pro hodnocení homogenity struktury připravených materiálů bylo provedeno kontrolní měření a srovnání čtyř náhodně vybraných vzorků EP s přídavkem 5 % ovčích vláken (v dalším textu označených jako EP 05 A, EP 05 B, EP 05 C a EP 05 D). Na každém vzorku byly provedeny tři opakovaná měření jednosměrné elektrické konduktivity s použitím vlastní elektrody z grafitu. Na obrázcích 43, 44 a 45 jsou zobrazeny teplotní závislosti naměřené při prvním, druhém a třetím ohřevu.

Tvar naměřených závislostí při prvním a druhém ohřevu (obr. 43 a 44) všech vzorků EP 05 s grafitem je srovnatelný s předchozími měřeními provedenými bez použití grafitu. Vliv uvolňování nízkomolekulárních složek způsobuje změnu hodnot naměřených závislostí při prvním měření (obr. 43). Při druhém a třetím měření (obr. 44 a 45) dochází k ustálení tvaru naměřených průběhů jednotlivých vzorků, které jsou prakticky stejné, liší se pouze hodnotou konduktivity. Velikost rozptylu (cca 25 %) v hodnotách jednosměrné elektrické konduktivity dosažené při třetím měření (obr. 45) jednotlivých vzorků, odpovídá standardní kvalitě připravených vzorků, bez výraznějších nedostatků v technologii přípravy vzorků. Použití grafitové vlastní elektrody ukazuje zlepšení elektrického kontaktu při měření, což se projevuje výrazným snížením rozdílu tvaru mezi hodnotami elektrické konduktivity naměřené při opakovaných měřeních na jednotlivých vzorcích (na obr. 46 je porovnání závislostí pro vzorek EP05A) a zvyšuje možnosti kvantifikace množství uvolňujících se látek z objemu vzorků (i desorpce vlhkosti).

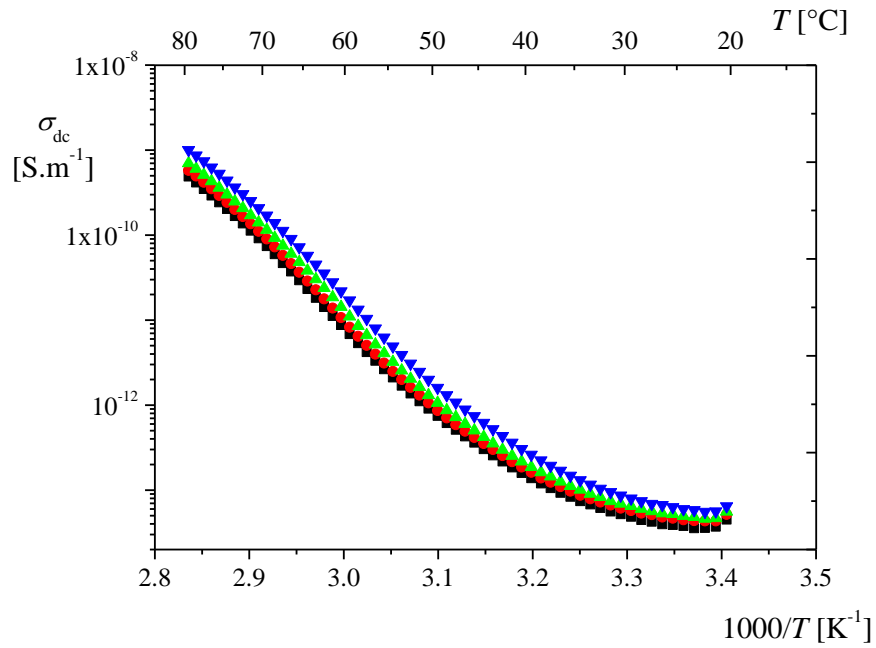
Z hlediska uskutečnění a také hodnocení výsledků dalších měření je možné potvrdit vhodnost použití grafitové elektrody pro měření elektrických veličin připravených vzorků a dobrou homogenitu materiálu kompozitu bez výraznějších technologických nedostatků. Velikost rozptylu hodnot konduktivity je na úrovni odpovídající tímto typem materiálů.



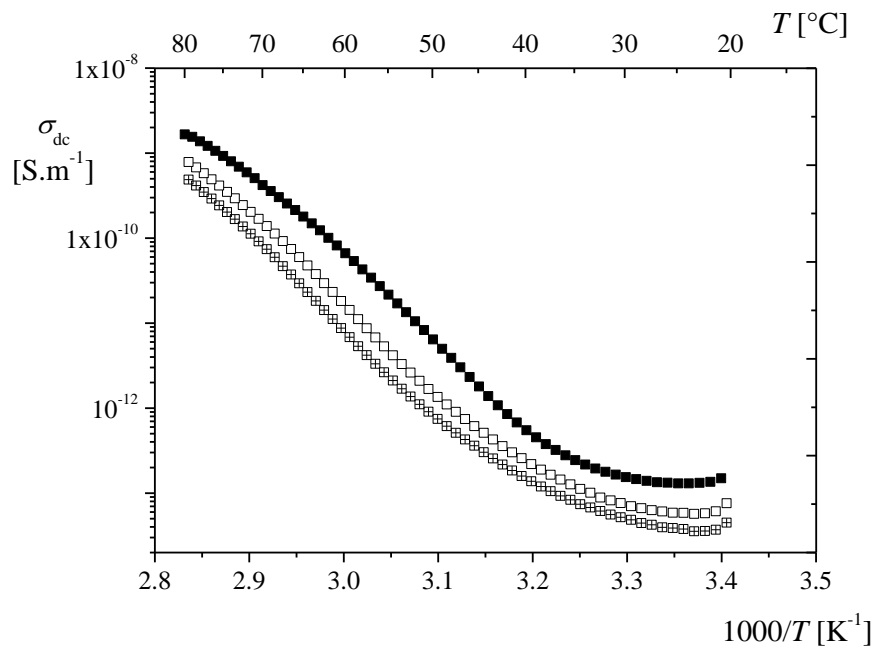
Obr. 43: Teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity σ_{dc} vzorků EP s přidavkem 5 % ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou naměřené při prvním ohřevu: ■ vzorek A, ● vzorek B, ▲ vzorek C, ▼ vzorek D



Obr. 44: Teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity σ_{dc} vzorků EP s přidavkem 5 % ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou naměřené při druhém ohřevu: ■ vzorek A, ● vzorek B, ▲ vzorek C, ▼ vzorek D



Obr. 45: Teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity σ_{dc} vzorků EP s přidavkem 5 % ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou naměřené při třetím ohřevu: ■ vzorek A, ● vzorek B, ▲ vzorek C, ▼ vzorek D

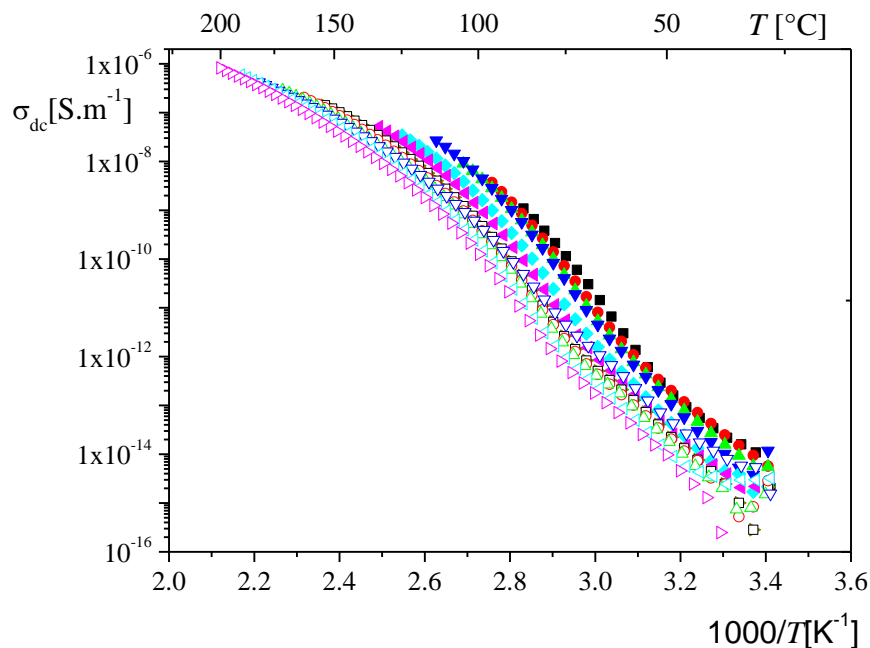


Obr. 46: Teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity σ_{dc} vzorky EP s přidavkem 5 % ovčích vláken (vzorek A) s grafitovou vlastní elektrodou: ■ první ohřev, □ druhý ohřev, # třetí ohřev

8.5 Teplotní stabilita, desorpce vlhkosti

Jak ukázaly předchozí experimenty, dochází při opětovném ohřevu i k systematickému poklesu naměřených hodnot jednosměrné elektrické konduktivity, zejména mezi druhým a třetím ohřevem (obr. 46). Tento pokles má stejný charakter u všech pozorovaných vzorků (EP 05 - A, B, C, D), což znamená, že je ovlivněn použitým materiálem připraveného kompozitu. Pokud tedy jsou naměřené průběhy ovlivněny především použitým materiálem, je možné blíže charakterizovat měření elektrických vlastností i další chování kompozitu při vystavení zvýšeným teplotám. Pro tento experiment byly použity dva vzorky na bázi EP s 0 % a 5 % přídavkem ovčích vláken. Při experimentu byly provedeny opakovaná měření jednosměrné elektrické konduktivity konstantní rychlostí $5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, přičemž maximální teplota následujícího měření byla zvýšena o $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. To znamená, že první měření bylo provedeno do $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, druhé do $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, třetí do $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Celý experiment na obou vzorcích byl proveden do teploty $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jak ukázaly naměřené výsledky obou vzorků (obr. 47 a 48) dochází podobně jako v případě sledování homogenity i při tomto experimentu k systematickému poklesu hodnot jednosměrné elektrické konduktivity při opakovaném měření.

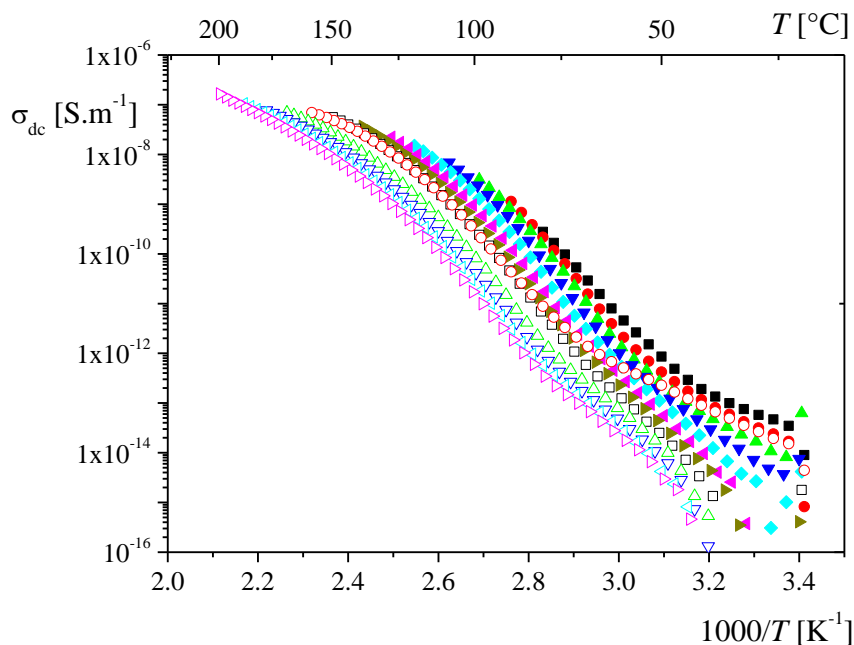
Tento systematický pokles lze jednoznačně přiřadit ke snižování vlhkosti jak v měřeném vzorku (desorpci vody), tak v případě vzorku bez přídavku ovčích vláken (obr. 47) jakož i v případě vzorku s přídavkem ovčích vláken (obr. 48). Při tomto experimentu byla také pozorována zpětná absorpce vody a zvyšování vlhkosti při delší přestávce mezi dvěma následujícími zahříváními. Tento jev lze pozorovat na obr. 47 při srovnání měření do $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ (\triangle) a do $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ (∇). U vzorku s přídavkem ovčích vláken se tento jev projevuje (obr. 48) při srovnání měření do $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ (\square) a do $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ (\circ). Systematický pokles hodnot pozorovaný u obou vzorků bez i s přídavkem ovčích vláken) je pozorován i při výraznějším zvýšení teploty nad $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. To znamená, že při ohřevu obou vzorků dochází k desorpci vody z objemu vzorků a rozhodující je difúze.



Obr. 47: Teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity σ_{dc} vzorky EP s grafitovou vlastní elektrodou s postupně rostoucí maximální teplotou při měření: ■ 80 °C, ● 90 °C, ▲ 100 °C, ▼ 110 °C, ◆ 120 °C, ◆ 130 °C, ▲ 140 °C, ◻ 150 °C, ○ 160 °C, ▲ 170 °C, ▼ 180 °C, ◁ 190 °C, ▷ 200 °C

Z hlediska posouzení dopadů teploty lze konstatovat, že na teplotních závislostech jednosměrné elektrické konduktivity obou vzorků nebyly pozorovány změny, které by bylo možné ztotožnit s degradací materiálu vlivem působení zvýšené teploty. To znamená, že přidavek ovčích vláken výrazněji nezhoršuje teplotní stabilitu zkoumaných vzorků.

Z hlediska posouzení dopadů obsahu ovčích vláken lze konstatovat, že na teplotních závislostech jednosměrné elektrické konduktivity obou vzorků byly pozorovány změny v naměřených hodnotách jednosměrné elektrické konduktivity. U vzorku s obsahem ovčích vláken je systematický pokles hodnot a pro zpětné absorpce výraznější. Výrazné jsou i rozdíly v hodnotách jednosměrné elektrické konduktivity mezi vzorkem bez a s přidavkem ovčích vláken. To znamená, že přidavek ovčích vláken má pozorovatelný vliv na absorpci a desorpci vody.



Obr. 48: Teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity σ_{dc} vzorky EP s přidavkem 5 % ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou s postupně rostoucí maximální teplotou při měření:
 ■ 80 °C, ● 90 °C, ▲ 100 °C, ▼ 110 °C, ◆ 120 °C, ◆ 130 °C, ▲ 140 °C, □ 150 °C, ○ 160 °C, △ 170 °C, ▽ 180 °C, ◁ 190 °C, ▷ 200 °C

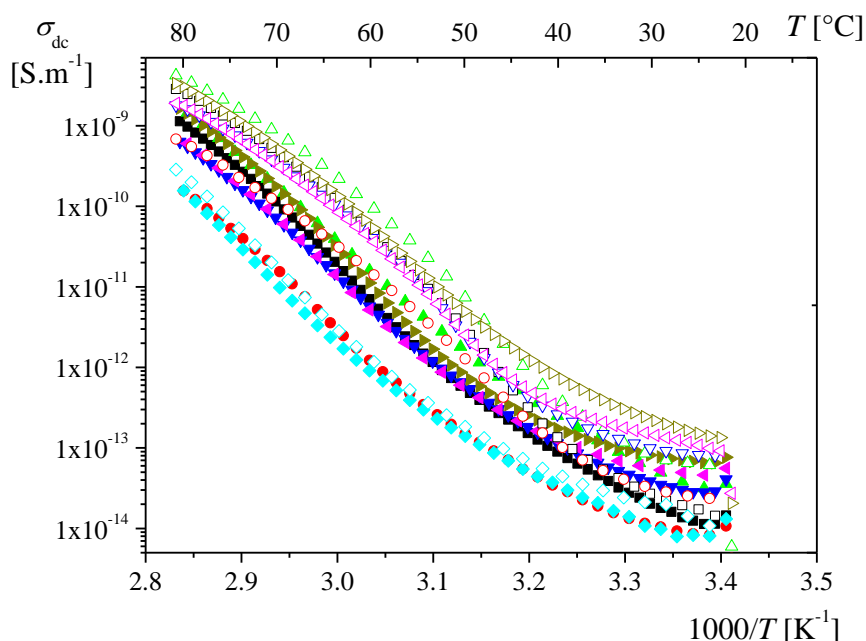
8.6 Vliv obsahu ovčích vláken v různých matricích

Jak ukázaly předchozí měření teplotních závislostí má přidavek ovčích vláken v matrici EP přinejmenším vliv na absorpci/desorpci vlhkosti z objemu kompozitního materiálu. Z tohoto důvodu byly provedeny měření vzorků s různým obsahem ovčích vláken ve čtyřech druzích matric. V případě EP matrice v rozsahu 0 až 10 %, při PU 0 až 5 %, při UP 0 až 5 % a při Latex 0 až 10 %.

8.6.1 Systém EP – ovčí vlákna

Jak ukázaly předchozí měření, u této matrice je dobře zvládnutá technologie přípravy i dobrá homogenita vzorků. Změna obsahu ovčích vláken má minimální vliv při prvním i třetím ohřevu jednotlivých vzorků (obr. 49). Obecně dochází při opětovném ohřevu jednotlivých vzorků k poklesu hodnot elektrické konduktivity. Při prvním i při třetím ohřevu vzorků se vzorky s příměsí ovčích vláken jen málo liší od vzorků bez zastoupení ovčích vláken. Vzorky s obsahem 1 % a 4 % ovčích vláken mají sice ve srovnání se vzorkem bez přidavku ovčích vláken nižší hodnoty elektrické konduktivity, ale tato změna má systematický charakter a je

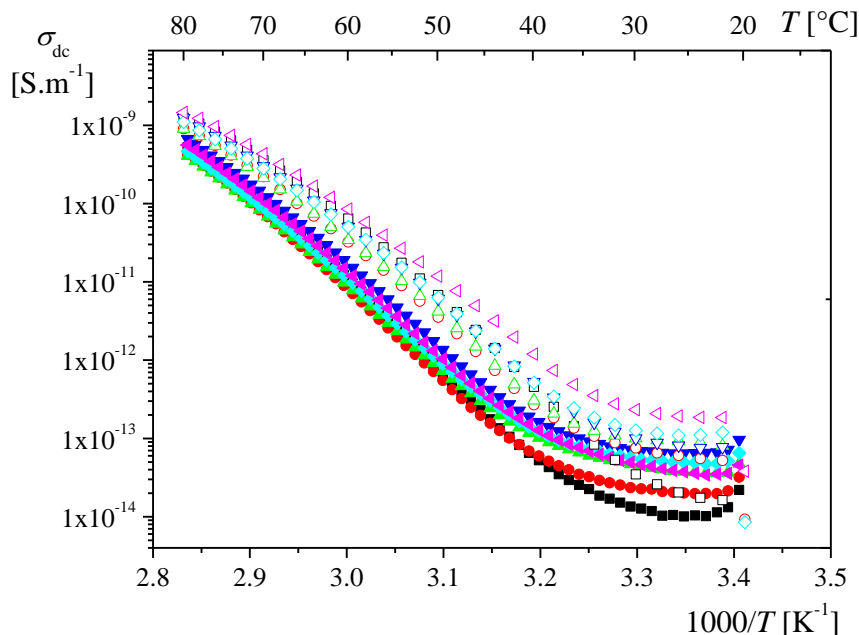
způsobena zhoršením kvality elektrického kontaktu v důsledku odlupování vlastní elektrody na bázi grafitu.



Obr. 49: Teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity σ_{dc} vzorky EP s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při třetím měření: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3%, ◆ 4 %, ◆ 5 %, ▲ 10 %, a při prvním měření □ 0%, ○ 1 %, △ 2 %, ▽ 3 %, ◇ 4 % , ◁ 5 %, ▷ 10 %

8.6.2 Systém UP – ovčí vlákna

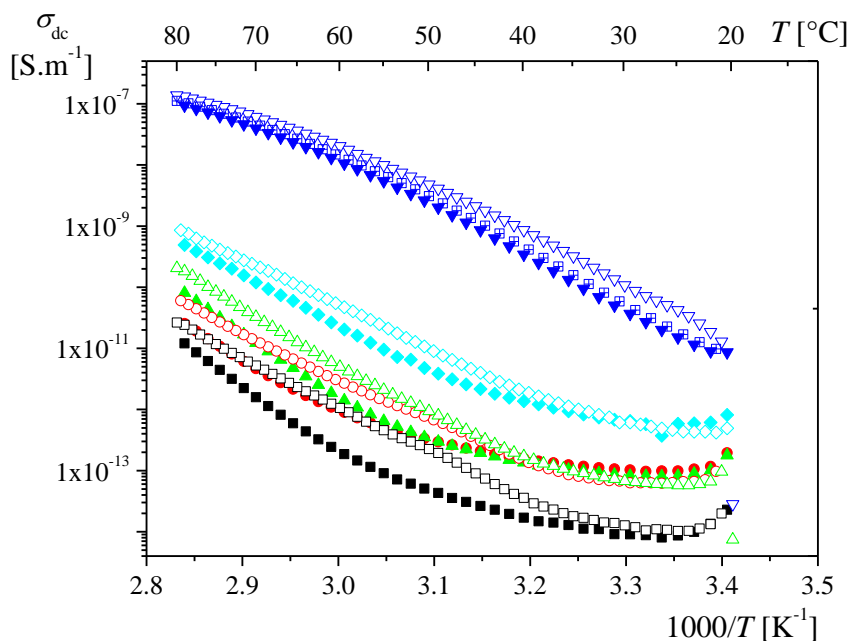
Při opakovaných ohřevech vzorků s matricí UP byl pozorován podobný pokles hodnot jednosměrné elektrické konduktivity jako u matrice EP. Přidavek ovčích vláken má však rozdílný vliv při nízkých a vyšších teplotách. Při vyšších teplotách nad 50 °C při třetím opakovaném měření je pozorovatelná praktická shoda v naměřených hodnotách elektrické konduktivity vzorku bez a s přidavkem ovčích vláken. Při nízkých teplotách do 50 °C je vidět výraznější vliv obsahu ovčích vláken projevující se vzrůstem hodnot elektrické konduktivity s obsahem ovčích vláken. To znamená, že obsah ovčích vláken podporuje malou povrchovou absorpci vzdušné vlhkosti v tomto kompozitu a tento typ kompozitu se výrazně svými hodnotami jednosměrné elektrické vodivosti neliší od hodnot čisté matrice UP.



Obr. 50: Teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity σ_{dc} vzorky UP s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při třetím měření: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2%, ▼ 3%, ◆ 4%, ▲ 5%, a při prvním měření □ 0%, ○ 1%, △ 2%, ▽ 3%, ◇ 4%, ◇ 5%

8.6.3 Systém PU – ovčí vlákna

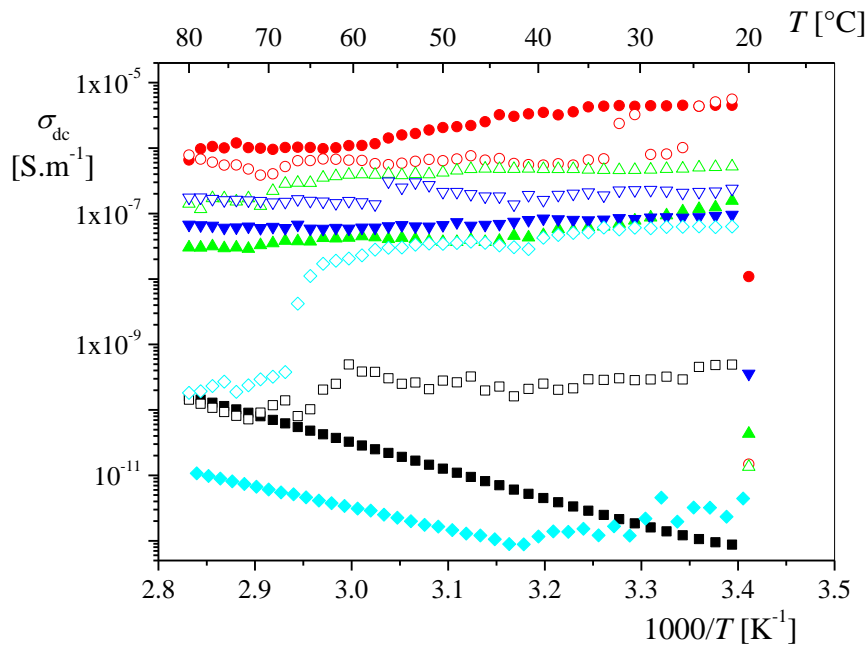
Při tomto systému (obr. 51) má přidavek ovčích vláken výrazný vliv na hodnotu jednosměrné elektrické konduktivity. Je pozorovatelný pokles elektroizolační schopnosti kompozitů oproti čisté matici PU. Nejhorší elektroizolační vlastnosti má vzorek s přidavkem 3 % ovčích vláken, při 5 % zastoupení se elektroizolační vlastnosti opět zlepšují a hodnoty jednosměrné elektrické konduktivity klesají. Podobně jako u předchozích systémů je vidět dohánění síťovací reakce a únik nízkomolekulárních složek. U tohoto systému není pozorován vliv absorpce a desorpce vlhkosti. Při všech vzorcích nastává po prvním ohřevu stabilizace hodnot elektrické konduktivity. Jako příklad lze uvést srovnání mezi druhým a třetím ohřevem vzorku s přidavkem 3 % (obr. 51)



Obr. 51: Teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity σ_{dc} vzorku PU s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při třetím měření: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2%, ▼ 3%, ◆ 5%, při prvním měření □ 0%, ○ 1%, △ 2%, ▽ 3%, ◇ 5%, a při druhém měření: # 3%

8.6.4 Systém LATEX – ovčí vlákna

Při tomto systému (obr. 52) má přidavek ovčích vláken výrazný vliv na hodnotu jednosměrné elektrické konduktivity. Elektroizolační schopnosti výrazně klesají při přidání 3 %. Dalším růstem přidavku ovčích vláken (4 %, 5 %, 10 %) elektroizolační schopnosti opět rostou. Při 10 % při vyšších teplotách elektroizolační schopnosti kompozitu překonávají vlastnosti čisté matrice. Tento efekt je pravděpodobně způsoben špatným elektrickým kontaktem mezi jednotlivými vlákny ovčích vláken a matricí, případně zvýšenou tvorbou pórů v objemu kompozitu. Zhoršení této adheze se také projevuje výkyvy v naměřených hodnotách jednosměrné elektrické konduktivity v závislosti na teplotě. Podobně jako u předchozích systémů i při tomto je patrný dobřeh technologické přípravy latexu a také únik vlhkosti. Tvar a průběh naměřených závislostí ukazují, že z hlediska měření jednosměrné elektrické konduktivity se jedná o poměrně nestabilní systém, jehož předností je prakticky jen minimální teplotní závislost hodnot jednosměrné elektrické konduktivity na teplotě.



Obr. 52: Teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity σ_{dc} vzorky LATEX s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při třetím měření: \blacksquare 0 %, \bullet 3 %, \blacktriangle 4 %, \blacktriangledown 5 %, \blacklozenge 10 %, při prvním měření \square 0 %, \circ 3 %, \triangle 4 %, \triangledown 5 %, \lozenge 10 %

8.6.5 Vzájemné srovnání a zhodnocení přidavku ovčích vláken v EP, PU, UP a LATEX matrici

Jak ukázala předchozí měření teplotních závislosti jednosměrné elektrické konduktivity je vliv přidavku ovčích vláken v různých použitých matricích rozdílný. V případě použití EP a UP nedochází k výraznějším změnám v teplotních závislostech konduktivity oproti čisté matrici. Výraznější vliv při těchto matricích má absorpce / desorpce vlhkosti. V případě UP matrice dochází k mírnému zvýraznění tohoto jevu při nízkých teplotách do 50 °C s rostoucím přidavkem ovčích vláken. Při použití EP matrice je tento jev absorpce / desorpce vlhkosti pozorovaný v celém teplotním intervalu a je výraznější při přidavku ovčích vláken. Tak v případě EP i UP lze považovat z hlediska hodnot elektrické konduktivity ovčí vlnu spíše za inertní příměs. Z hlediska aplikačních možností je při použití matrice EP výhodné to, že přídavek ovčích vláken zvyšuje efekt desorpce vlhkosti z objemu kompozitu. Toto je výhodná vlastnost pro aplikace v silnoproudu elektrotechnice, protože při činnosti zařízení v důsledku působení tepla při tomto materiálu zvyšuje elektroizolační schopnost a odolnost vůči průrazu elektrickým proudem.

V případě matric PU a LATEX přídavek výrazně ovlivňuje teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity. Přídavek ovčích vláken do 3 % výrazně zvyšuje hodnoty konduktivity a zhoršuje elektroizolační vlastnosti. Při vyšších obsazích tento vliv snižuje. V případě LATEX matrice je na průbězích viditelná i nestabilita těchto kompozitů, pravděpodobně způsobená defekty vznikajícími při přípravě v důsledku snížené kompatibility LATEX (větší viskozita) a ovčí vlákno. Z hlediska aplikačních možností v matricích PU a LATEX se do obsahu 3 % ovčí vlákna chovají jako antistatická přísada.

8.7 Střídavá elektrická konduktivita, ztrátový činitel, permitivita

Při hodnocení vlivu přídavku ovčích vláken v matricích EP, PU, UP a LATEX byly provedeny i měření elektrických a dielektrických parametrů ve střídavém elektrickém poli, které umožňují získat další informace o chování těchto kompozitních a také o jejich aplikačních možnostech. Měření ve střídavém elektrickém poli byly provedeny na vzorcích, které byly opakovaně měřeny (3 krát) do teploty 80 °C v stejnosměrném elektrickém poli. Vzhledem ke snaze získat informace o sledovaných hodnotách parametrů při více frekvencích elektrického napětí byl postup měření stanoven následovně. Měření parametrů se uskutečnilo při stupňovitém ohřevu každých 10 °C v intervalu od 20 °C (počáteční teplota) až do teploty 80 °C (konečná teplota). Po ohřátí na danou teplotu byla uskutečněna 20 minutová výdrž na homogenizaci teploty vzorku pomocí nuceného oběhu vzduchu. Následně bylo provedeno měření (během dalších 20 minut) ve frekvenčním intervalu 1000 Hz až 100 kHz od nejvyšší frekvence k nejnižší. Pro hodnocení vlastností kompozitů a vlivu přídavku ovčí byly použity následující parametry. Střídavá elektrická vodivost σ_{ac} , která popisuje transport i vázaného elektrického náboje ve střídavém elektrickém poli. Ztrátový činitel, který popisuje velikost dielektrických ztrát a permitivita, která umožňuje charakterizovat polarizace v dielektrikách.

8.7.1 Frekvenční závislosti střídavé elektrické konduktivity

Pro posouzení dopadů při změně frekvence působícího elektrického pole byly použity hodnoty střídavé elektrické konduktivity naměřené při nejvyšší teplotě 80 °C. Jak vyplývá z předchozích měření při této teplotě, je z teplotního intervalu (20 až 80 °C) pozorována nejméně výrazněji odezva na působení vnějšího elektrického pole s nejmenším vlivem šumu. Jak je vidět z naměřených frekvenčních závislostí jednotlivých skupin použitých matric (obr. 53 až 56) střídavá elektrická vodivost σ_{ac} všech vzorků roste se rostoucí frekvencí. U systému s EP matricí je tato

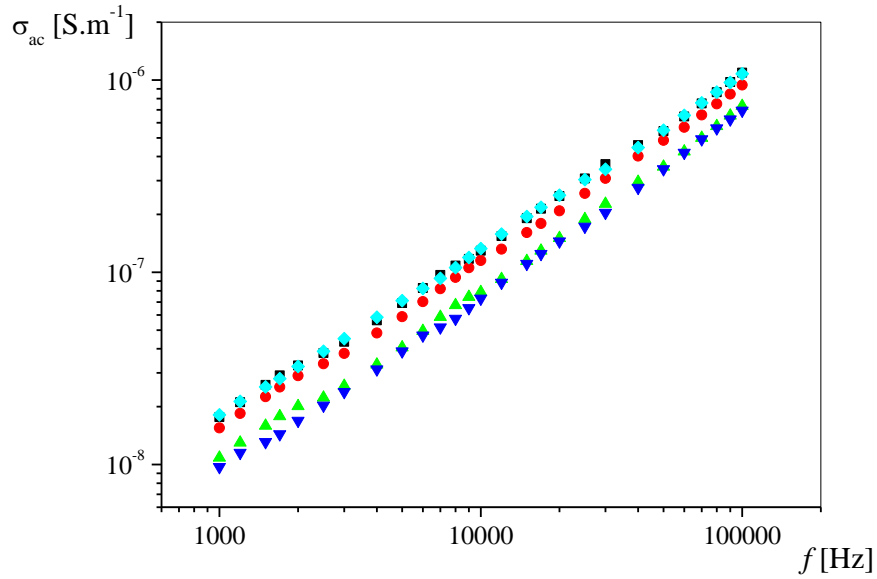
závislost prakticky lineární, přičemž vliv přídatku ovčích vláken je poměrně malý, projevující se poklesem hodnot konduktivity při obsahu ovčích vláken 3 % a 5 %. Podobný lineární charakter nárůstu elektrické konduktivity od frekvence (obr. 55) lze pozorovat u systému s UP matricí. V tomto systému nemá přídatek výraznější vliv na hodnoty střídavé konduktivity. Výraznější vliv přídatku ovčích vláken lze pozorovat u systémů s matricemi PU a LATEX (obr. 54 a obr. 56). U systému s PU matricí je znatelný na průbězích nárůst strmosti jednotlivých průběhů, přičemž hodnota střídavé konduktivity výrazně závisí na obsahu ovčích vláken. Nejvyšší hodnota střídavé konduktivity je pozorována při obsahu 3 %. U systému s LATEX matricí je vliv přídatku ovčích vláken ve formě změny strmosti lineárních průběhů i hodnot střídavé konduktivity. S přídatkem ovčích vláken roste strmost závislosti, při obsahu 10 % se projevuje i pokles naměřených hodnot střídavé konduktivity.

Z hlediska srovnání všech systémů, výsledky u systémů EP, PU a UP korespondují s výsledky z měření jednosměrné elektrické konduktivity, u systému s LATEX matricí je viditelná výrazná stabilizace a vzájemná přiblížení hodnot střídavé elektrické konduktivity.

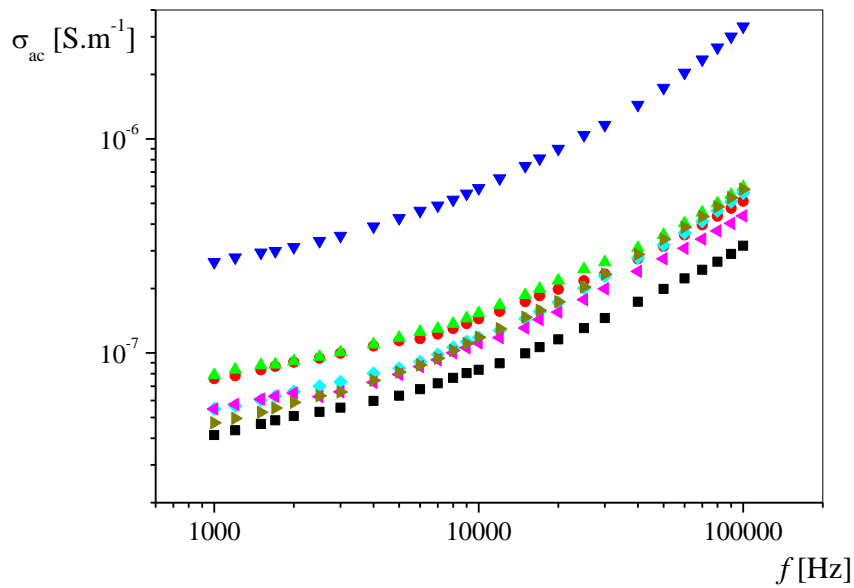
8.7.2 Frekvenční závislosti reálné části komplexní permitivity

Při porovnání naměřených frekvenčních závislostí vzorků ze systémů EP, PU, UP a LATEX matricí (obr. 53 až 56) je vidět mírný pokles hodnot komplexní permitivity (dále permitivity) vzorků s rostoucí teplotou. U systémů s matricemi EP a PU (obr. 57 a obr. 59) je vliv přídatku ovčích vláken na hodnoty permitivity zanedbatelný. U systémů s matricemi PU a LATEX přídatek ovčích vláken způsobuje výrazný nárůst hodnot permitivity vůči vzorku bez přídatku ovčích vláken (obr. 58 a obr. 60).

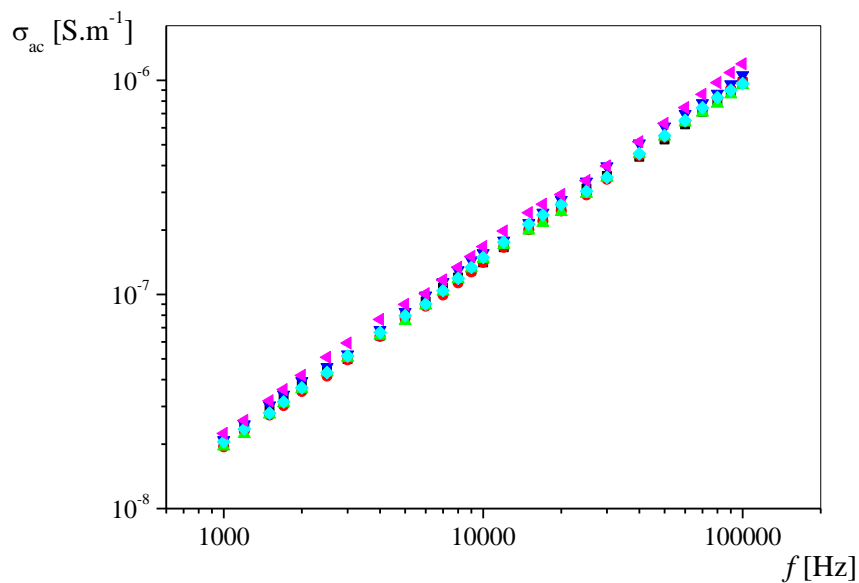
Z hlediska celkového zhodnocení je tedy hodnota permitivity při všech systémech málo frekvenčně citlivá, přičemž při systémech PU a LATEX s přídatkem ovčích vláken roste a u systémů EP a UP hodnota permitivity není ovlivňována přidáním ovčích vláken.



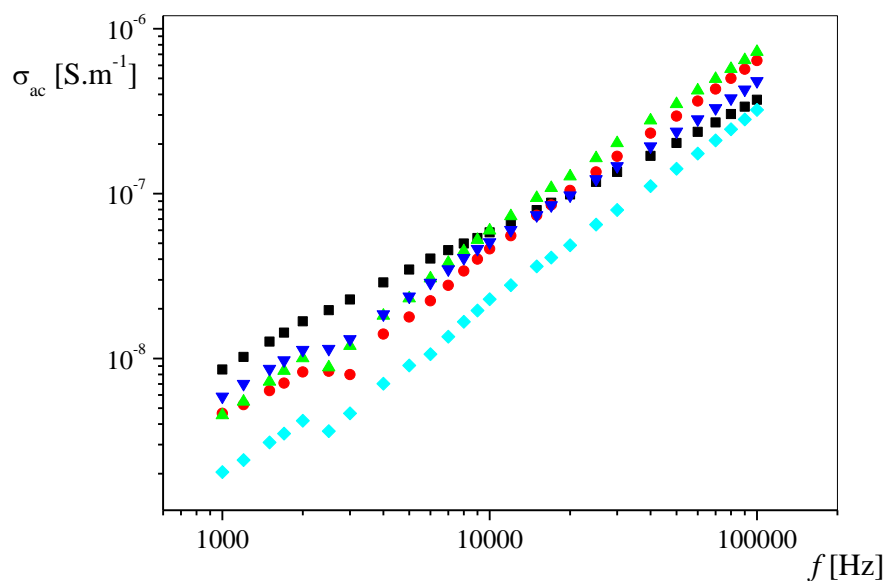
Obr. 53: Frekvenční závislosti střídavé elektrické konduktivity σ_{ac} vzorky EP s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C: ■ 0 %, ● 2 %, ▲ 3 %, ▼ 5 %, ◆ 10 %



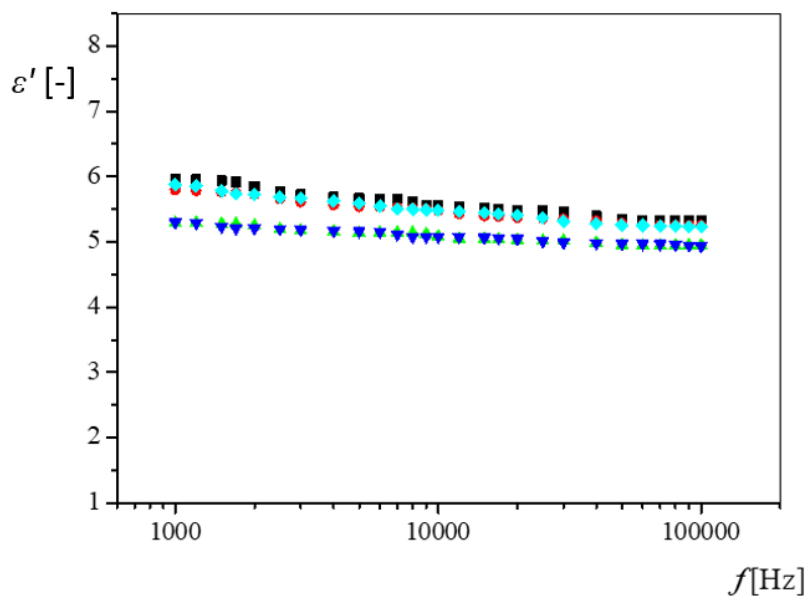
Obr. 54: Frekvenční závislosti střídavé elektrické konduktivity σ_{ac} vzorku PU s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ▲ 5 %, ▲ 10 %



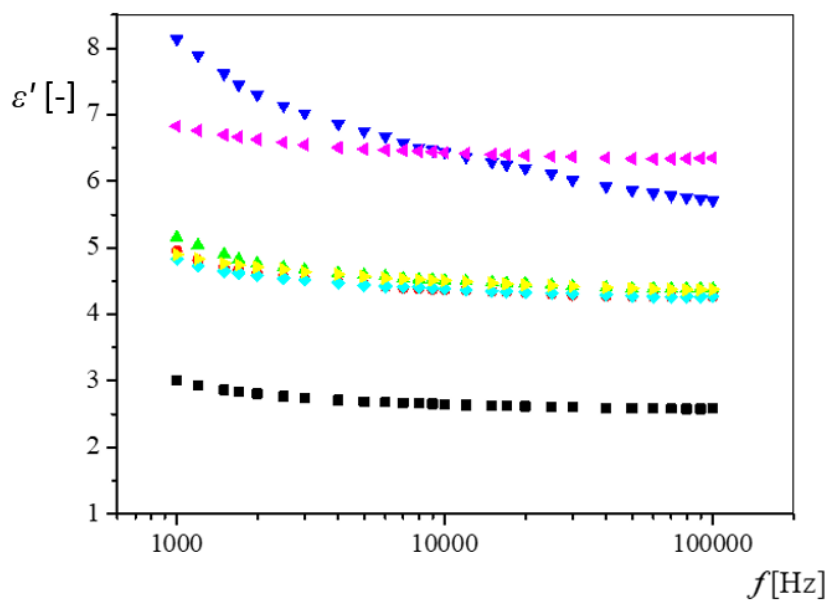
Obr. 55: Frekvenční závislosti střídavé elektrické konduktivity σ_{ac} vzorky UP s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ▲ 5 %



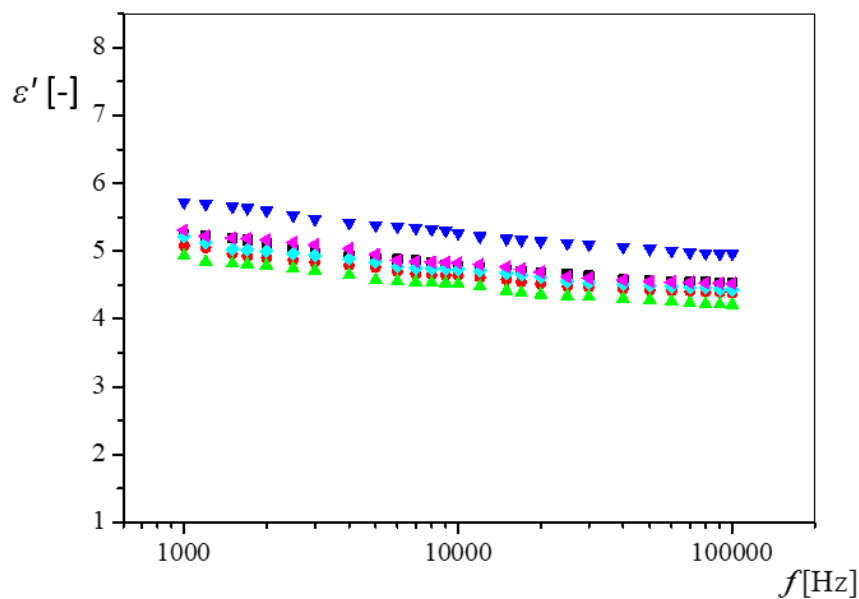
Obr. 56: Frekvenční závislosti střídavé elektrické konduktivity σ_{ac} vzorky LATEX s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C: ■ 0 %, ● 3 %, ▲ 4 %, ▼ 5 %, ◆ 10 %



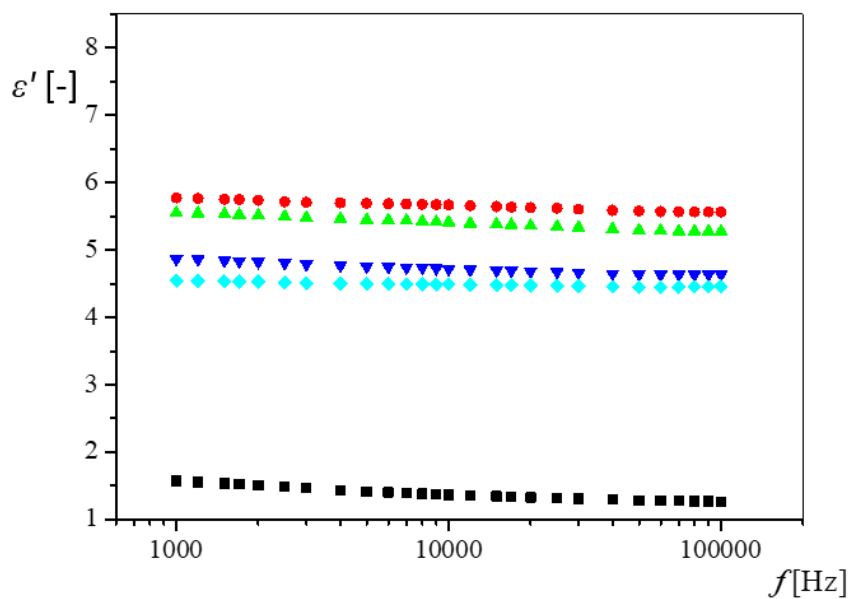
Obr. 57: Frekvenční závislosti permitivity ε' vzorky EP s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C: ■ 0 %, ● 2 %, ▲ 3 %, ▼ 5 %, ◆ 10 %



Obr. 58: Frekvenční závislosti permitivity ε' vzorku PU s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ◀ 5 %, ▶ 10 %



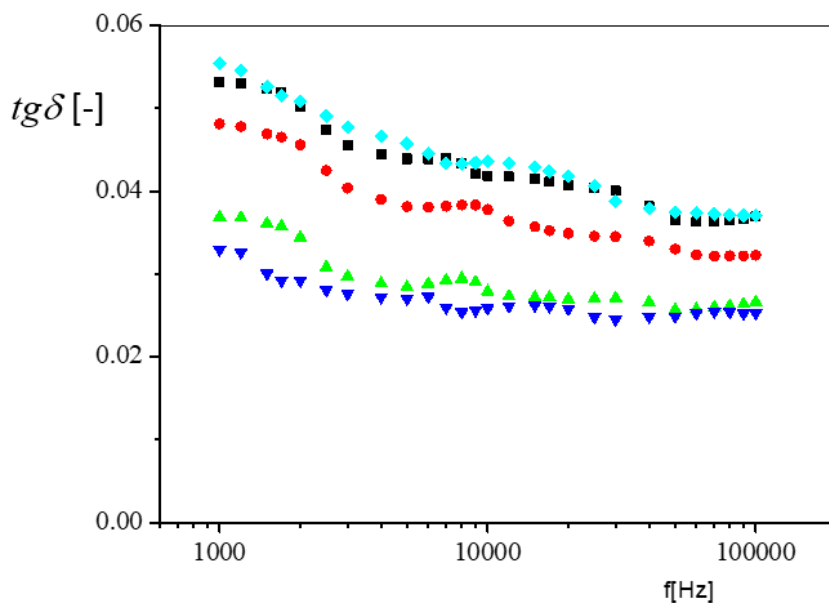
Obr. 59: Frekvenční závislosti permitivity ε' vzorky UP s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ◀ 5 %



Obr. 60: Frekvenční závislosti permitivity ε' vzorky LATEX s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C: ■ 0 %, ● 3 %, ▲ 4 %, ▼ 5 %, ◆ 10 %

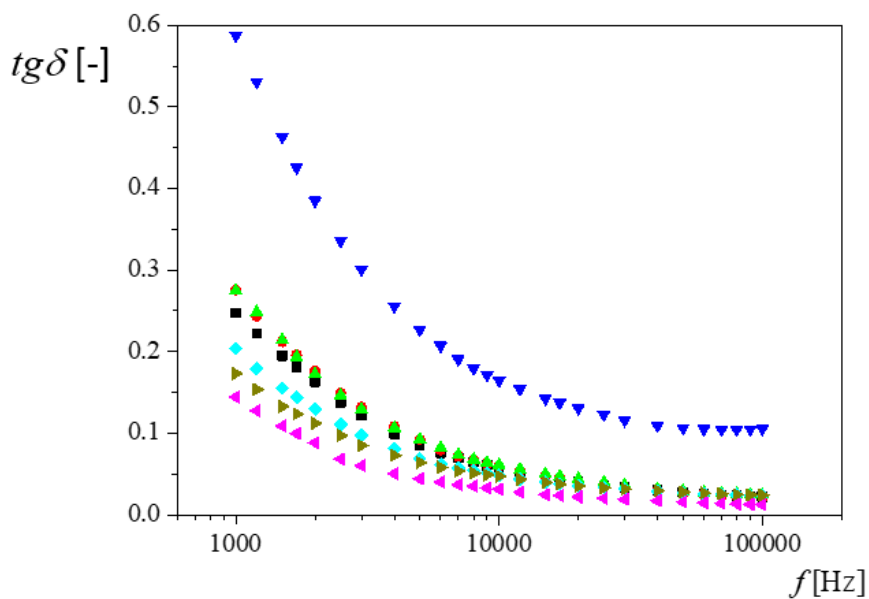
8.7.3 Frekvenční závislosti ztrátového činitele

Ztrátový činitel představuje veličinu určující podíl elektřiny, která se při působení pole mění na teplo. Jinak řečeno vyjadřuje velikost dielektrických ztrát v izolantech. Obecně jeho hodnota s frekvencí klesá. Při porovnání naměřených frekvenčních závislostí vzorků ze systémů EP, PU, UP a LATEX matricí (obr. 61 až 64) je vidět rozdíly mezi jednotlivými druhy kompozitů. U systému s matricí PU (obr. 62) je jeho hodnota nejvyšší a strmě klesá s rostoucí frekvencí. Hodnota je ovlivněna i složením. Vliv přídavku ovčích vláken do 3 % dielektrické ztráty zvyšuje, od 4 % snižuje hodnotu dielektrických ztrát vůči vzorku bez přídavku ovčích vláken. U tohoto systému je silná korespondence s měřením jednosměrné elektrické konduktivity. U systémů s matricemi EP a UP (obr. 61 a 63) ztrátový činitel klesá pozvolněji, přičemž u systému EP je jeho hodnota také ovlivněna přídavkem ovčích vláken. Přídavek ovčích vláken do 5 % postupně snižuje hodnoty ztrátového činitele. Na rozdíl od jednosměrné elektrické konduktivity je vliv přídavku ovčího vlákna v tomto systému poměrně výrazný. V systému s UP matricí je vliv přídavku ovčího vlákna v korespondenci s měřeními jednosměrné elektrické vodivosti. Velmi zajímavým je systém s latexovou matricí (obr. 64), při kterém přídavek ovčích vláken způsobuje skokový pokles hodnoty ztrátového činitele, jehož hodnota po přidání ovčího vlákna s frekvencí mírně roste. Tento efekt ve srovnání měřeními jednosměrné elektrické konduktivity ukazuje, že v tomto systému dochází přidáním ovčích vláken k výraznému ovlivnění druhu a množství jednotlivých dipólů v kompozitu vůči čisté matrici. Z hlediska celkového zhodnocení je tedy hodnota ztrátového činitele málo citlivá na přídavek ovčích vláken u systému UP matricí. U ostatních systémů s EP, do 3 % zvyšuje, od 4 % snižuje a při latexové matrici způsobuje skokový pokles. Za zajímavý fakt lze zmínit, že ačkoli jednosměrná elektrická vodivost při latexové matrici s přídavkem ovčích vláken výrazně roste, dielektrické ztráty vykazují v oblasti od 1 kHz do 100 kHz skokový pokles.



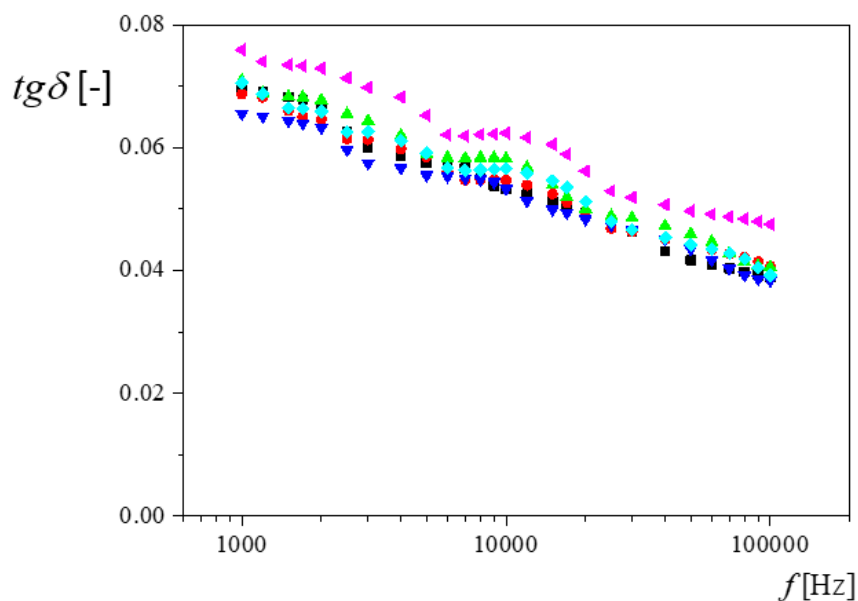
Obr. 61: Frekvenční závislosti ztrátového činitele $tg\delta$ vzorky EP s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C:

■ 0 %, ● 2 %, ▲ 3 %, ▼ 5 %, ◆ 10 %

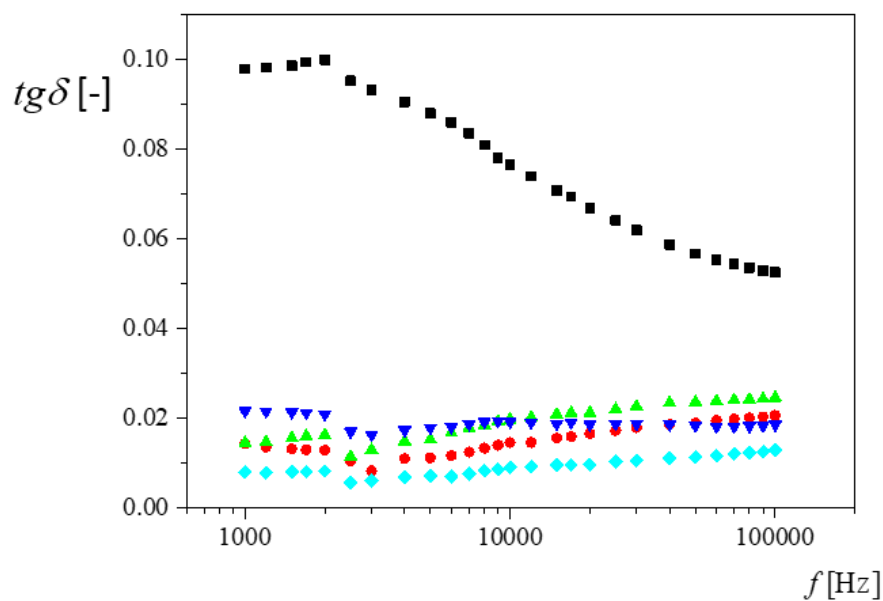


Obr. 62: Frekvenční závislosti ztrátového činitele $tg\delta$ vzorky PU EP s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C:

■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ◀ 5 %, ▶ 10 %



Obr. 63: Frekvenční závislosti ztrátového činitele $tg\delta$ vzorky UP EP s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C:
 ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ▲ 5 %

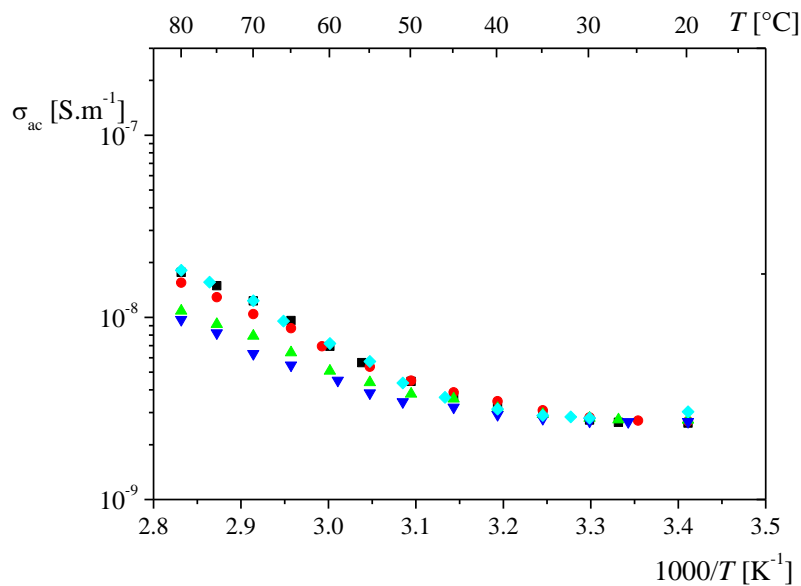


Obr. 64: Frekvenční závislosti ztrátového činitele $tg\delta$ vzorky LATEX EP s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C:
 ■ 0 %, ● 3 %, ▲ 4 %, ▼ 5 %, ◆ 10 %

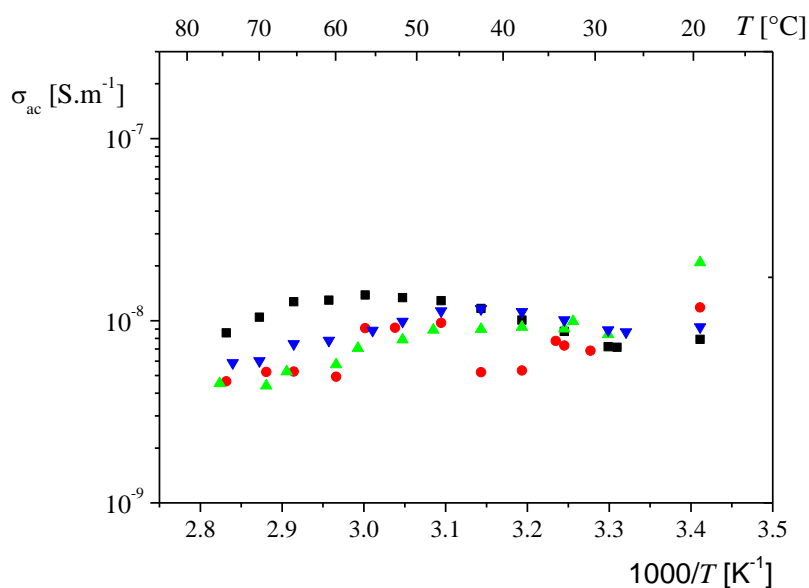
8.7.4 Teplotní závislosti střídavé elektrické konduktivity

Pro hodnocení vlivu teploty při působení elektrického pole byly použity hodnoty střídavé elektrické konduktivity naměřené při 1 kHz. Tato frekvence byla zvolena s ohledem, že předpokládáme zejména vlivy transportu vázaného elektrického náboje s větší hmotností. Jak je vidět z naměřených teplotních závislostí jednotlivých skupin použitých matric (obrázky 65 až 68) střídavá elektrická vodivost σ_{ac} mírně roste se zvyšující se teplotou při vzorcích s EP, UP a PU matricemi. U vzorků s matricí LATEX je hodnota konduktivity prakticky konstantní, při vyšších teplotách je mírně klesající (nad 60 °C). Hodnoty střídavé elektrické konduktivity jsou však po přidání ovčích vláken značně nestabilní. U systému s UP matricí je vliv přídavku ovčích vláken zanedbatelný, u systému EP vliv přídavku ovčích vláken projevuje při vyšších teplotách. Při nižších teplotách jsou hodnoty střídavé konduktivity tohoto systému prakticky stále. Výrazné ovlivnění hodnot střídavé konduktivity u systému s PU matricí koresponduje s výsledky jednosměrné elektrické konduktivity, přičemž nejvyšší hodnoty má vzorek s přídavkem 3 % ovčích vláken.

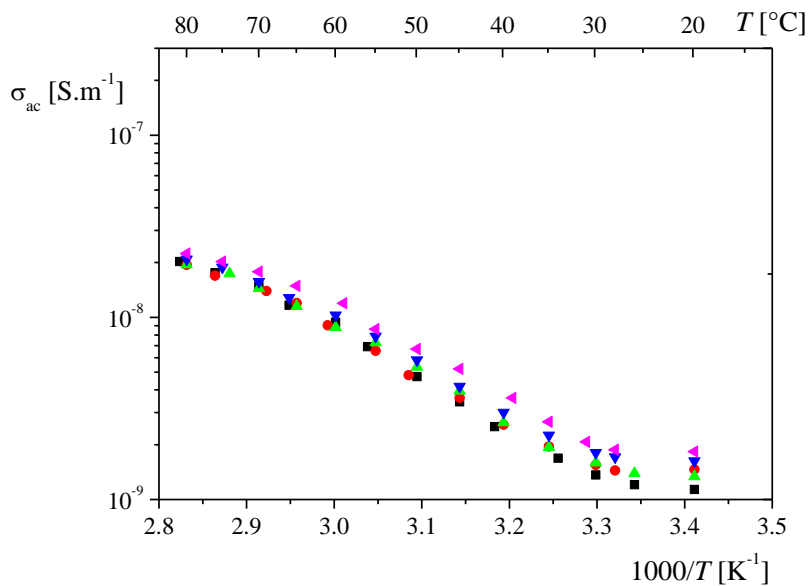
Z hlediska srovnání všech systémů, výsledky u systémů EP, PU a UP korespondují s výsledky z měření teplotních závislostí jednosměrné elektrické konduktivity. V těchto systémech střídavá vodivost roste s teplotou, přičemž při matricích UP a EP přídavek ovčích vláken výrazně neovlivňuje naměřené průběhy. U vzorků s matricí PU je pozorovatelný vliv přídavku ovčích vláken, přičemž změna hodnot střídavé konduktivity není v takovém rozsahu jako při jednosměrné konduktivitě. PU systému s LATEX matricí je viditelná výrazná nestabilita v naměřených hodnotách střídavé elektrické konduktivity při vzrůstu teploty.



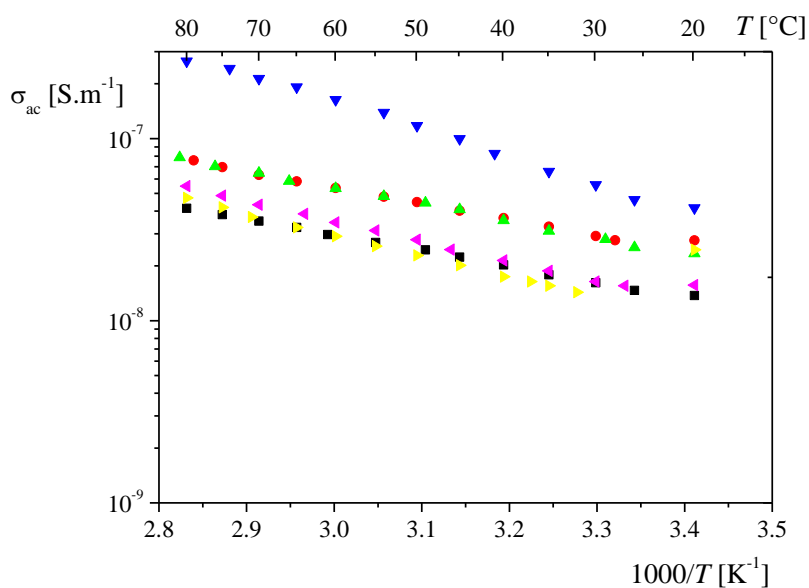
Obr. 65: Teplotní závislosti střídavé elektrické konduktivity σ_{ac} vzorky EP s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz: ■ 0 %, ● 2 %, ▲ 3 %, ▼ 5 %, ◆ 10 %



Obr. 66: Teplotní závislosti střídavé elektrické konduktivity σ_{ac} vzorky LATEX s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz: ■ 0 %, ● 3 %, ▲ 4 %, ▼ 5 %, ◆ 10 %



Obr. 67: Teplotní závislosti střídavé elektrické konduktivity σ_{ac} vzorky UP s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ◀ 5 %

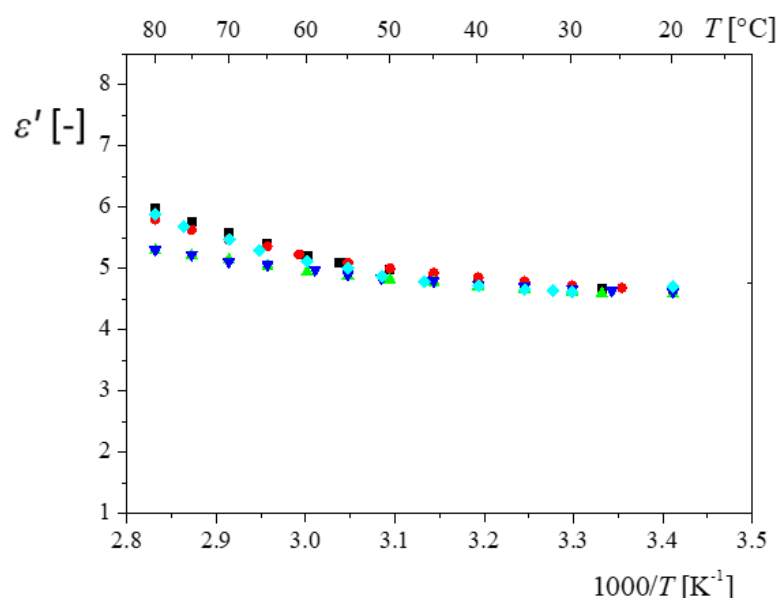


Obr. 68: Teplotní závislosti střídavé elektrické konduktivity σ_{ac} vzorky PU s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ◀ 5 %, ▶ 10 %

8.7.5 Teplotní závislosti reálné části komplexní permitivity

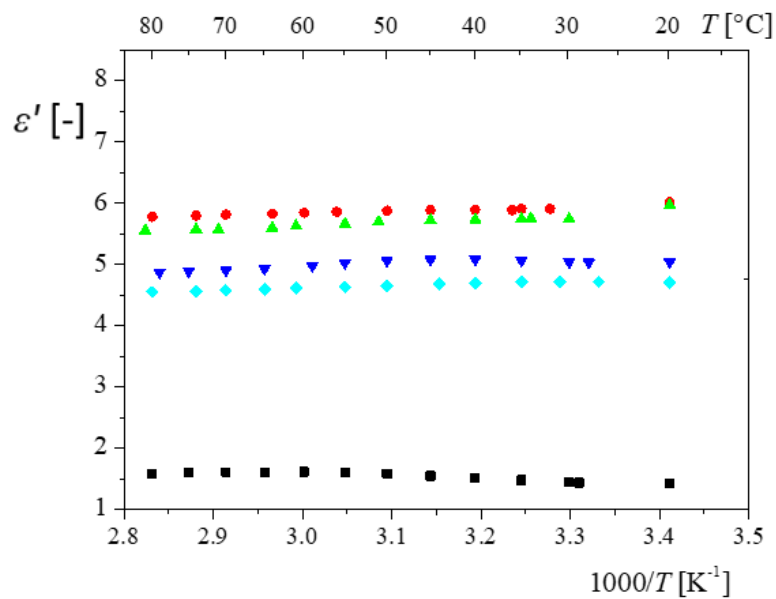
Jak je vidět z naměřených teplotních závislostí jednotlivých skupin použitých matric (obr. 69 až 72) komplexní permitivita (dále jen permitivita) mírně roste se zvyšující se teplotou při vzorcích s EP, UP a PU matricemi. U systému s latexovou matricí jsou hodnoty permitivity konstantní s rostoucí teplotou. Vliv přidavku ovčích vláken lze charakterizovat podobně jako při charakterizaci frekvenčních závislostí naměřených při 80 °C. Z hlediska vlivu teploty na projevy přidavku ovčích vláken se při zvyšování teploty projevy přidavku ovčích vláken v systému s EP zvyrazňují, u ostatních systémů je vliv přidavku ovčích vláken stálý.

Z hlediska srovnání všech systémů lze konstatovat, že hodnoty permitivity při EP, UP a PU matricích mírně rostou s teplotou, u latexové matrice jsou stabilní, přičemž projevy přidavku ovčích vláken se shodují s projevy naměřenými na frekvenčních závislostech při 80 °C



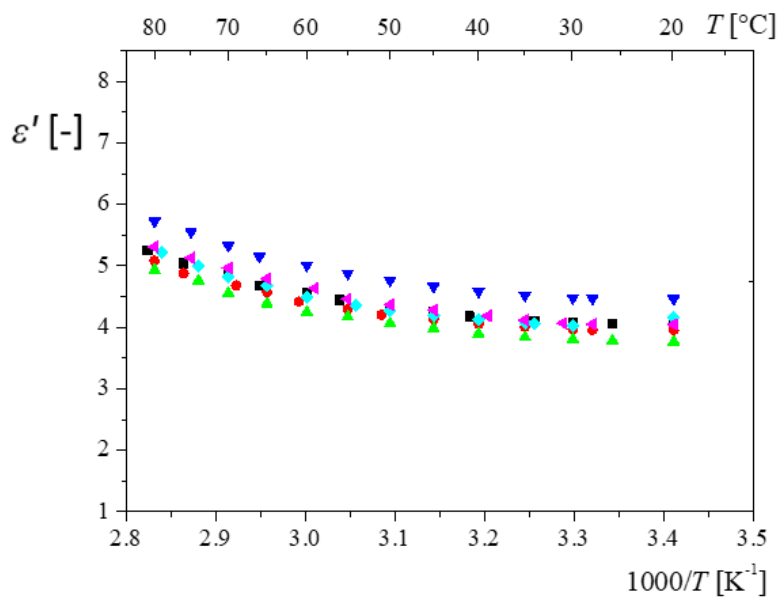
Obr. 69: Teplotní závislosti permitivity ϵ' vzorky EP s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz:

■ 0 %, ● 2 %, ▲ 3 %, ▼ 5 %, ◆ 10 %



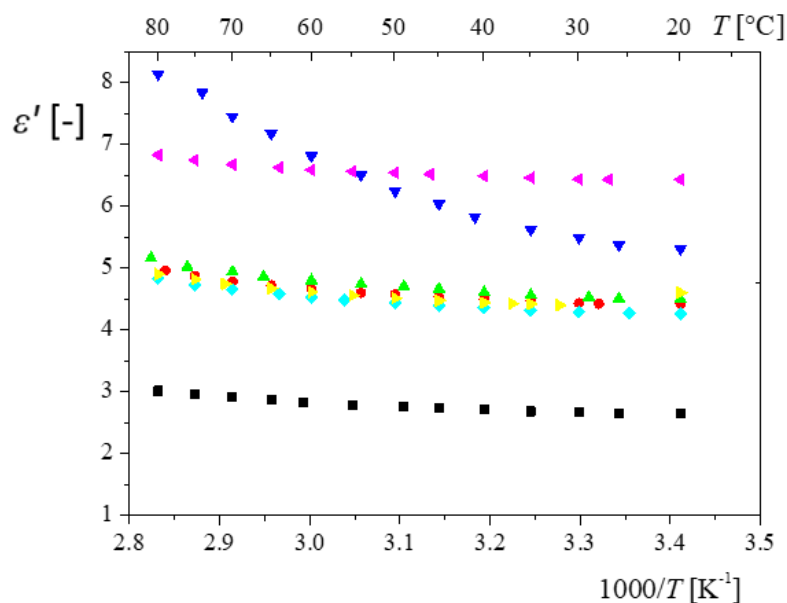
Obr. 70: Teplotní závislosti permitivity ϵ' vzorky LATEX s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz:

■ 0 %, ● 3 %, ▲ 4 %, ▼ 5 %, ◆ 10 %



Obr. 71: Teplotní závislosti permitivity ϵ' vzorky UP s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz:

■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ◀ 5 %

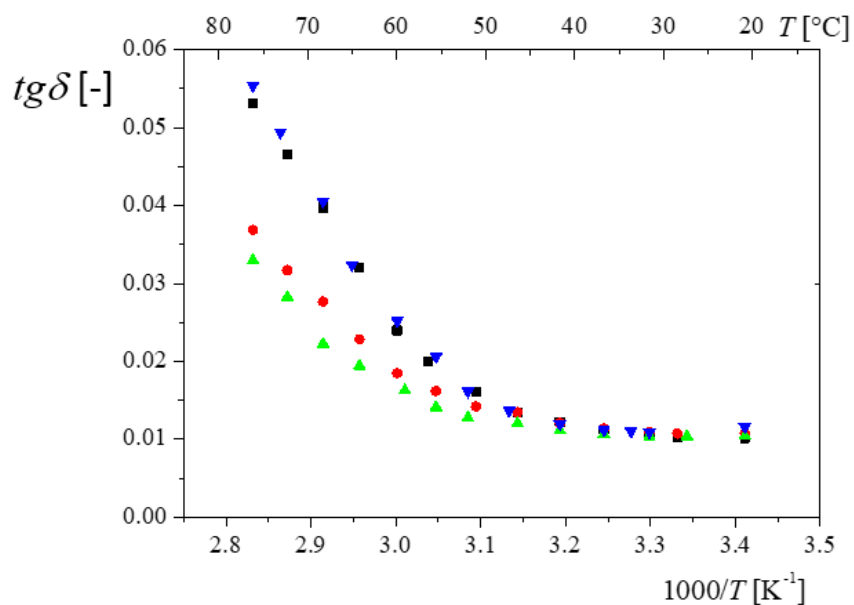


Obr. 72: Teplotní závislosti permitivity ε' vzorky PU s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz:
 ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ◄ 5 %, ► 10 %

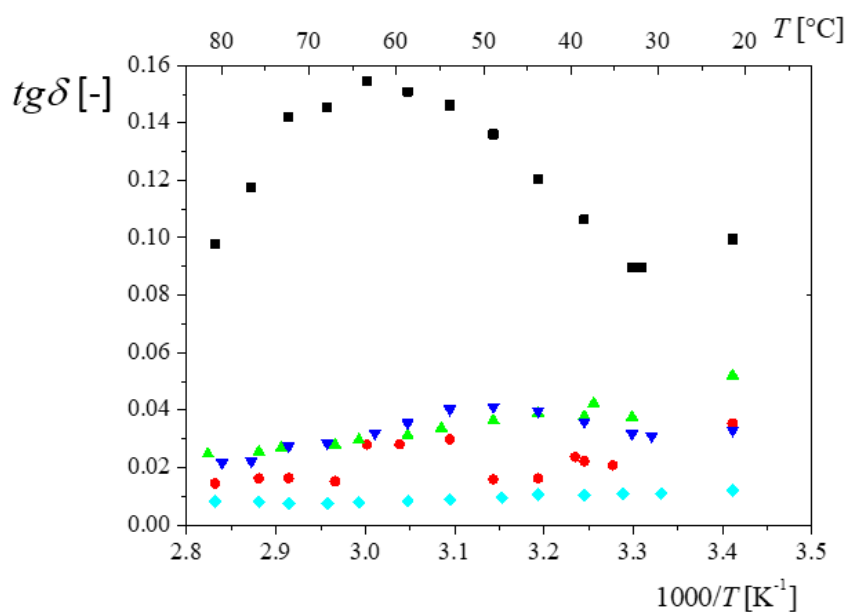
8.7.6 Teplotní závislosti ztrátového činitele

Jak je vidět z naměřených teplotních závislostí jednotlivých skupin použitých matric (obr. 73 až 76) ztrátový činitel roste se zvyšující se teplotou při vzorcích s EP, UP a PU matricemi. Vliv přidavku ovčích vláken lze charakterizovat podobně jako při charakterizaci frekvenčních závislostí naměřených při 80 °C. Z hlediska vlivu teploty na projevy přidavku ovčích vláken se při zvyšování teploty projevy přidavku ovčích vláken v systému s EP zvýrazňují, u ostatních systémů je vliv přidavku ovčích vláken stálý. U systému s latexovou matricí způsobuje přidavek výrazné snížení hodnot ztrátového činitele, přičemž jeho hodnoty jsou s rostoucí teplotou buď stále, nebo mírně klesají.

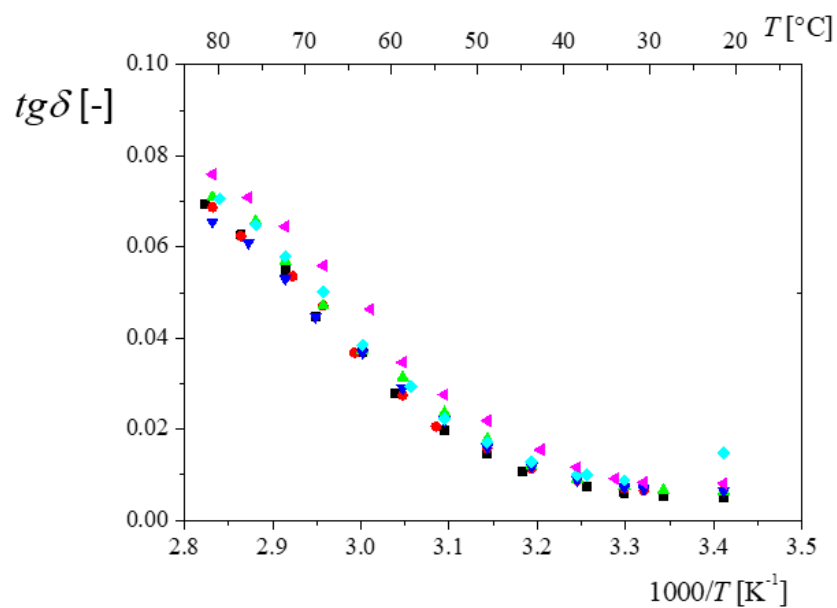
Z hlediska srovnání všech systémů lze konstatovat, že hodnoty ztrátového činitele (dielektrických ztrát) jsou ovlivněny při EP, UP a PU matricích hodnotami střídavé elektrické konduktivity a korespondují s nimi. U matrice LATEX je viditelná výrazná změna, pokles hodnot ztrátového činitele s přidavkem ovčích vláken.



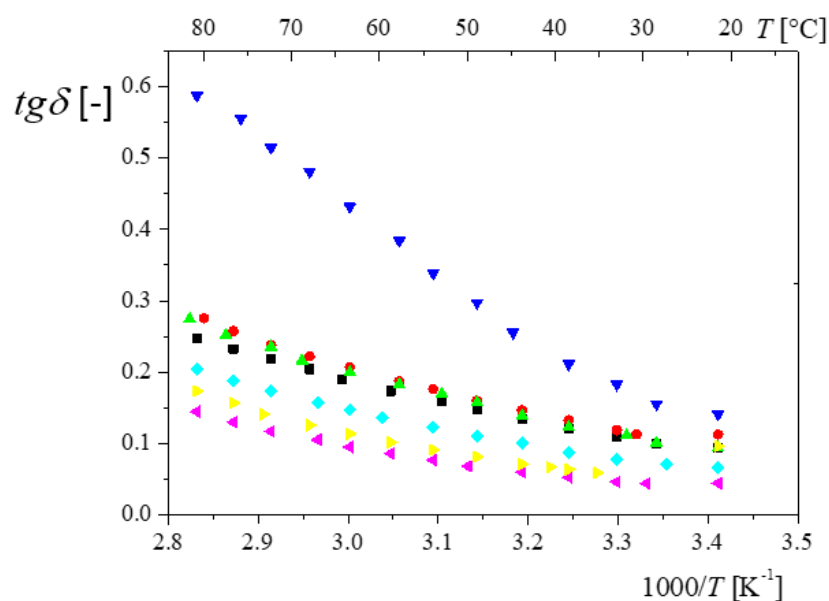
Obr. 73: Teplotní závislosti ztrátového činitele $tg\delta$ vzorky EP s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz: ■ 0 %, ● 3%, ▲ 5 %, ▼ 10 %



Obr. 74: Teplotní závislosti ztrátového činitele $tg\delta$ vzorky LATEX s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz: ■ 0 %, ● 3 %, ▲ 4 %, ▼ 5 %, ◆ 10 %



Obr. 75: Teplotní závislosti ztrátového činitele $tg\delta$ vzorky UP s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ▲ 5 %

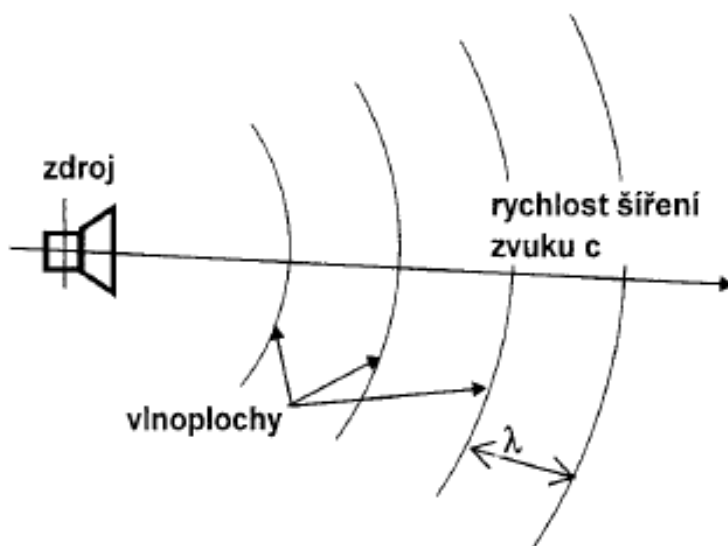


Obr. 76: Teplotní závislosti ztrátového činitele $tg\delta$ vzorky PU s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ▲ 5 %, ▲ 10 %

9. Akustické vlnění

Zvuk lze definovat jako mechanické vlnění, které se v pružném prostředí šíří od zdroje rychlostí charakteristickou pro dané prostředí. Vzniká kmitáním elementů (částí), které na sebe vzájemně působí silami. Pod elementem si v tomto případě představujeme část prostředí, která je dostatečně velká, aby reprezentovala jeho fyzikální vlastnosti, ale malá v porovnání s vlnovou délkou. Akustické vlnění ve frekvenčním rozsahu 20 až 20 000 Hz, je zpravidla slyšitelné lidským uchem (vyvolává u člověka vjem). Aby vznikl akustický vjem, musí existovat zdroj zvuku, pružné prostředí a nepoškozený sluchový orgán posluchače. [69]

Šíření zvuku v prostředí je formou akustického vlnění. Přímočaře se šíří v homogenním izotropním prostředí. Akustické vlnění může být příčné a podélné. Částice se pohybují kmitáním kolem svých rovnovážných poloh. Postup prostředím od zdroje zvuku ve vlnoplochách, jak je vyobrazeno na obr. 73. podle [69]



Obr. 77: Šíření zvuku od zdroje ve formě vlnoploch [69]

9.1 Základní pojmy v akustice

9.1.1 Hluk

Hlukem je každý rušivý, obtěžující, nepříjemný nebo škodlivý zvuk. [69]

9.1.2 Druhy zvuku

Obecně existují 3 druhy zvuku, a sice infrazvuk, slyšitelný zvuk a ultrazvuk. Infrazvuk je akustické vlnění, jehož frekvenční spektrum leží hlavně v pásmu od 1 do 20 Hz. Při vysokých intenzitách může člověk slyšet i zvuky v uvedeném

frekvenčním rozsahu. Zdroji infrazvuku v přírodě jsou zemětřesení, erupce vulkánů, vichřice a vlny. Umělé zdroje infrazvuku jsou například exploze, kompresory, nízko otáčkové ventilátory, větrné turbíny a vlaky. Slyšitelný zvuk, který se nachází mezi infrazvuk a ultrazvuk, je přibližně ve frekvenčním rozsahu 20 až 20 000 Hz. [70]

Ultrazvuk je akustické vlnění ve frekvenčním rozsahu nad 20 kHz. V přírodě některý druhy živočichů používají ultrazvuk na orientaci v prostoru (například netopýři používají na echolokaci zvuky o frekvenci 15 až 100kHz). Ultrazvuk vysílají i některé druhy drobného hmyzu (například včela) a někteří mořští živočiši (například delfini a velryby). [71]

9.1.3 Kmitočet

Kmitočet f (Hz) - frekvence určuje počet kmitů za sekundu, které vykoná kmitající hmotný bod. Mezi dobou kmitu T a frekvencí f platí jednoduchý vztah [69]:

$$f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

Podobně je možné přepočítat úhlový kmitočet ω v $rad \cdot s^{-1}$ dle vzorce [69]:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (2)$$

9.2 Ochrana zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací

Základním prováděcím právním předpisem je Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. a novela č. 217/2016 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, který stanovuje hygienické limity hluku a vibrací pro pracovní prostředí, pro hluk ve venkovním prostoru a pro hluk uvnitř budov. [72]

Nařízení vlády č. 241/2018 Sb. a č. 217/2016 Sb., kterými se mění nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

Toto nařízení, viz část první předmět úpravy § 1, „zpracovává příslušné předpisy Evropské unie a upravuje: a) hygienické limity hluku a vibrací na pracovištích, způsob jejich zjišťování a hodnocení a minimální rozsah opatření k ochraně zdraví zaměstnance, b) hygienické limity hluku pro chráněný venkovní prostor, chráněné venkovní prostory staveb a chráněné vnitřní prostory staveb, c) hygienické limity vibrací pro chráněné vnitřní prostory staveb, d) způsob měření a hodnocení hluku a vibrací pro denní a noční dobu“. [73]

V § 2 jsou definovány základní pojmy, „Pro účely tohoto nařízení se rozumí a) určujícím ukazatelem fyzikální veličina, která charakterizuje hluk, infrazvuk,

ultrazvuk nebo vibrace a používá se k hodnocení nepříznivých účinků hluku, infrazvuku, ultrazvuku a vibrací z hlediska ochrany veřejného zdraví, b) hlukem s tónovými složkami hluk, v jehož kmitočtovém spektru je hladina akustického tlaku v třetino-oktávovém pásmu, případně i ve dvou bezprostředně sousedících třetino-oktávových pásmech, o více než 5 dB vyšší než hladiny akustického tlaku v obou sousedních třetino-oktávových pásmech a v pásmu kmitočtu 10 Hz až 160 Hz je ekvivalentní hladina akustického tlaku v tomto třetino-oktávovém pásmu vyšší než hladina prahu slyšení stanovená pro toto kmitočtové pásmo v příloze č. 1 k tomuto nařízení; hlukem s tónovými složkami je vždy hudba nebo zpěv; pokud nelze hluk s tónovými složkami identifikovat na základě uvedené definice, lze použít definici vycházející z úzkopásmové analýzy, c) vysokoenergetickým impulsním hlukem hluk tvořený zvukovými impulsy ve venkovním prostoru, jejichž zdrojem jsou výbuchy v lomech a dolech, sonické třesky, demoliční a průmyslové procesy s pomocí výbušnin, střelba z těžkých zbraní, zkoušky výbušnin, další zdroje výbuchů, jejichž ekvivalentní hmotnost trinitrotoluenu překračuje 25 g, a podobné zdroje, a které v místě posouzení splňují kritéria stanovená v příloze č. 4 k tomuto nařízení, d) vysoce impulsním hlukem hluk tvořený zvukovými impulsy ve venkovním prostoru, vznikajícími při střelbě z lehkých zbraní, explozí výbušnin s hmotností pod 25 g ekvivalentní hmotnosti trinitrotoluenu a při vzájemném nárazu pevných těles, a které v místě posouzení splňují kritéria stanovená v příloze č. 4 k tomuto nařízení, e) proměnným hlukem hluk, jehož hladina akustického tlaku se v daném místě mění v závislosti na čase o více než 5 dB, f) ustáleným hlukem hluk, jehož hladina akustického tlaku se v daném místě nemění v závislosti na čase o více než 5 dB, g) hladinou špičkového akustického tlaku L_{peak} nejvyšší okamžitá hladina akustického tlaku v daném časovém intervalu, h) maximální hladinou akustického tlaku L_{max} nejvyšší hladina akustického tlaku v daném časovém intervalu, i) přípustným expozičním limitem limit vyjadřující expozici zaměstnance hluku nebo vibracím přepočtenou na osmihodinovou směnu, j) hygienickým limitem limit expozice hluku nebo vibracím při práci pro směnu kratší nebo delší než osmihodinová směna nebo jako požadavek na pracoviště“. [73]

V části druhé nazvané „Hluk na pracovišti“, jsou v § 3 jsou popsány „Ustálený a proměnný hluk, (1) Přípustný expoziční limit ustáleného a proměnného hluku při práci vyjádřený a) ekvivalentní hladinou akustického tlaku $A L_{Aeq,8h}$ se rovná 85 dB, nebo b) expozicí zvuku $A E_{A,8h}$ se rovná 3640 Pa²s, pokud není dále stanoveno jinak.

(2) Hygienický limit ustáleného a proměnného hluku pro pracoviště, na němž je vykonávána práce náročná na pozornost a soustředění, a dále pro pracoviště určené pro tvůrčí práci vyjádřený ekvivalentní hladinou akustického tlaku $A L_{Aeq,8h}$ se rovná 50 dB.

(3) Hygienický limit ustáleného a proměnného hluku pro pracoviště ve stavebních pro výrobu a skladování, s výjimkou pracovišť uvedených v odstavci 2, kde hluk nevzniká pracovní činností vykonávanou na těchto pracovištích, ale je způsobován větracím nebo vytápěcím zařízením těchto pracovišť vyjádřený ekvivalentní hladinou akustického tlaku $A L_{Aeq,T}$ se rovná 70 dB.

(4) Hodnocení ustáleného a proměnného hluku podle průměrné expozice se provádí, pokud pracovní doba ve sledovaném období je proměnná nebo když se hladina hluku v průběhu sledovaného období mění, avšak jednotlivé denní expozice hluku se neliší o více než 10 dB v $L_{Aeq,8h}$ od výsledků opakovaných měření a při žádné z expozic není překročena hladina akustického tlaku L_{Amax} 107 dB.

(5) Při stanovení průměrné expozice hluku na pracovišti za sledované období se vychází z celkového počtu směn v daném období a počtu směn, při kterých je zaměstnanec exponován hluku.

(6) Postup podle odstavce 5 se použije také v případě pravidelných nebo nepravidelných směn s odlišnou dobou trvání než 8 hodin, při proměnlivém počtu hodin za sledované období, avšak jednotlivé denní expozice hluku je třeba nejprve přepočítat na pracovní dobu 8 hodin.

(7) Průměrná týdenní expozice hluku $L_{Aeq,w}$ se vypočítá podle vztahu:

$$L_{Aeq,w} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{5} \left(\sum_{k=1}^n 10^{0,1 \cdot (L_{Aeq,8h,k})} \right) \right], [\text{dB}], [73] \quad (3)$$

kde n je počet směn během týdenní pracovní doby, při kterých je zaměstnanec exponován hluku.

(8) Průměrná měsíční expozice hluku $L_{Aeq,s}$ se vypočítá podle vztahu:

$$L_{Aeq,s} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{s} \left(\sum_{k=1}^n 10^{0,1 \cdot (L_{Aeq,8h,k})} \right) \right], [\text{dB}], [73] \quad (4)$$

kde n je počet směn během měsíční pracovní doby, při kterých je zaměstnanec exponován hluku, a s je celkový počet pracovních dnů v daném měsíci.

(9) Podle vztahu uvedeného v odstavci 8 se postupuje obdobně při výpočtu průměrné expozice zaměstnance hluku za sledované období delší než jeden měsíc“. [73]

9.3 Opatření snižující nepříznivé účinky hluku

Ochranná opatření proti účinkům hluku můžeme rozdělit na urbanistická ochranná opatření a technická zařízení. [71]

9.3.1 Urbanistická ochranná opatření

Urbanistická ochranná, která patří k aktivním opatřením a určují zásady pro navrhování výstavby a rekonstrukce osídlení v rámci územního plánování. Jedná se o dodržování zásad pro respektování dostatečných vzdáleností mezi silnicemi a zástavbou, pásy zeleně, umístění protihlukových clon a tak podobně. [71]

9.3.2 Technická zařízení

Technická zařízení zahrnují pasivní prostředky, které zamezují či omezují šíření hluku. [71]

10. Akustická pohltivost stavebních materiálů a konstrukcí

Akustická pohltivost stavebních materiálů a konstrukcí je vlastnost, která výrazně ovlivňuje akustiku vnitřního prostoru. A to buď z důvodu ochrany vnitřního prostoru před nadměrným hlukem nebo z důvodu zajištění optimální kvality poslechu mluveného slova nebo hudby v daném prostoru (zkrácení doby dozvuku). Pohltivost zvuku vyjadřuje ztrátu zvukové energie v případě, že se v místnosti vyskytne ohraničená plocha – předmět nebo osoba. K této ztrátě dochází převážně přeměnou zvukové energie na jiné formy energie, zejména teplo. [73]

10.1 Činitele zvuku

Na základě energetické bilance při dopadu zvukové vlny na stěnu lze definovat činitele zvuku. Schopnost tělesa pohlcovat zvuk je charakterizována činitelem zvukové pohltivosti α , který je určen poměrem pohlcené akustické energie E_p určitou plochou k dopadající akustickou energii E_0 na tuto plochu. Lze ho vyjádřit rovnicí:

$$\alpha = \frac{E_p}{E_0}. [73] \quad (5)$$

Z hlediska zákona zachování energie je zřejmé, že činitel zvukové pohltivosti $\alpha \in (0, 1)$. Stěna, u které dochází k úplnému pohlcení veškeré dopadající akustické energie, je charakterizována činitelem pohltivosti $\alpha = 1$. Jako nejvhodnější materiály pro pohlcování zvuku jsou doporučeny zejména materiály s porézní nebo vláknitou strukturou. Naopak v případě dokonalého odrazu dopadajícího akustického vlnění od povrchu stěny je tato stěna charakterizována činitelem pohltivosti $\alpha = 0$. Kromě daného typu materiálu závisí velikost činitele zvukové pohltivosti na mnoha faktorech, zejména na frekvenci dopadajícího akustického vlnění, dále na tloušťce materiálu, teplotě, rozložení a velikosti pórů v materiálu a podobně. Činitel zvukové odrazivosti β je dán poměrem odražené akustické energie E_r od stěny k dopadající akustické energii E_0 na danou stěnu:

$$\beta = \frac{E_r}{E_0}. [73] \quad (6)$$

Stěna s dokonalou odrazivostí zvuku je charakterizována činitelem odrazivosti $\beta = 1$. Pokud se veškerá dopadající akustická energie pohltí ve stěně, pak $\beta = 0$. Z energetického hlediska musí tedy platit následující závislost mezi činitelem zvukové pohltivosti a činitelem zvukové odrazivosti:

$$\alpha + \beta = 1. [73] \quad (7)$$

10.2 Neprůzvučnost

V technické praxi existují dva druhy neprůzvučnosti, a sice vzduchová a kročejová neprůzvučnost. [73]

10.2.1 Vzduchová neprůzvučnost

O vzduchové neprůzvučnosti se mluví při šíření akustické energie ze vzduchu přes stěnu znovu do vzduchu za stěnou. Vzduchová neprůzvučnost R [dB] je závislá na činiteli zvukové průzvučnosti τ podle následujícího vztahu:

$$R = 10 \cdot \log \frac{l}{\tau}. \quad [73] \quad (8)$$

Vzduchová neprůzvučnost vyjadřuje zeslabení zvuku příčkou nebo stavební konstrukcí, resp. akustickou kvalitu příčky či konstrukce. Vzduchová neprůzvučnost obecně závisí na frekvenci Snížení hladin hluku, kterého se dosahuje neprůzvučnou konstrukcí, bývá v praxi 10 dB až 50 dB. To je tak významný účinek, proto při konstrukci a projekci hlučných zařízení vkládáme neprůzvučné konstrukce mezi zdroj hluku a posluchače, pokud to dovolují možnosti. [73]

10.2.2 Kročejová neprůzvučnost

Je to schopnost konstrukce přenášet a vyzařovat kročejový hluk v zeslabené míře svým druhým povrchem do chráněného prostoru. Kročejový hluk vzniká mechanickým nárazem na stropní konstrukci (chůzí, nárazem, úderem, nebo pádem předmětů) a přenáší se ve formě vibrací. Zdroj zvuku je tedy v přímém kontaktu s dělicí konstrukcí. Kročejová neprůzvučnost se vyjadřuje přímo hladinou akustické tlaku v přijímací místnosti pod stropní konstrukcí. Takže čím je hladina akustického tlaku pod stropem vyšší, tím je kročejová neprůzvučnost stropní konstrukce nižší. [72]

K vyjádření kročejové neprůzvučnosti se používá normalizovaná hladina kročejového zvuku L_n [dB] v kmitočtovém pásmu:

$$L_n = L_{p2} + 10 \cdot \log(A_2/A_0), \quad [\text{dB}] \quad [72] \quad (9)$$

L_{p2} hladina akustického tlaku v kmitočtovém pásmu v poli odražených zvukových vln přijímacího prostoru [dB]; A_2 celková pohltivost přijímacího prostoru [m^2] v kmitočtovém pásmu; A_0 referenční hodnota celkové pohltivosti přijímacího prostoru v $A_0 = 10 \text{ m}^2$ ve všech kmitočtových pásmech, odpovídá celkové pohltivosti zařízené obytné místnosti. [72]

11. Měření zvukové pohltivosti materiálů

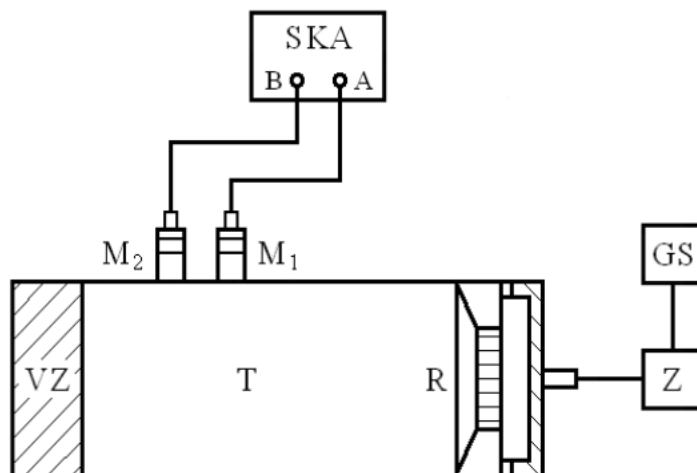
Měření činitele zvukové pohltivosti se realizuje na Kundtově impedanční trubici metodou přenosové funkce (viz obr. 78 a 79) podle normy ČSN ISO 10534-2. Na jednom konci trubice T je umístěn zkoumaný vzorek VZ a na druhém konci je umístěn reproduktor R, který je napájen generátorem signálu GS. Signál je následně zesílen v zesilovači Z. Na trubici jsou umístěny dva mikrofony M1 a M2 stejného druhu pro měření akustických tlaků. Naměřené veličiny jsou použity pro další zpracování v systému kmitočtové analýzy SKA. Činitel zvukové pohltivosti při kolmém dopadu akustického vlnění se potom určí z rovnice:

$$\alpha = 1 - |r|^2 = 1 - r_r^2 - r_i^2, [70] \quad (10)$$

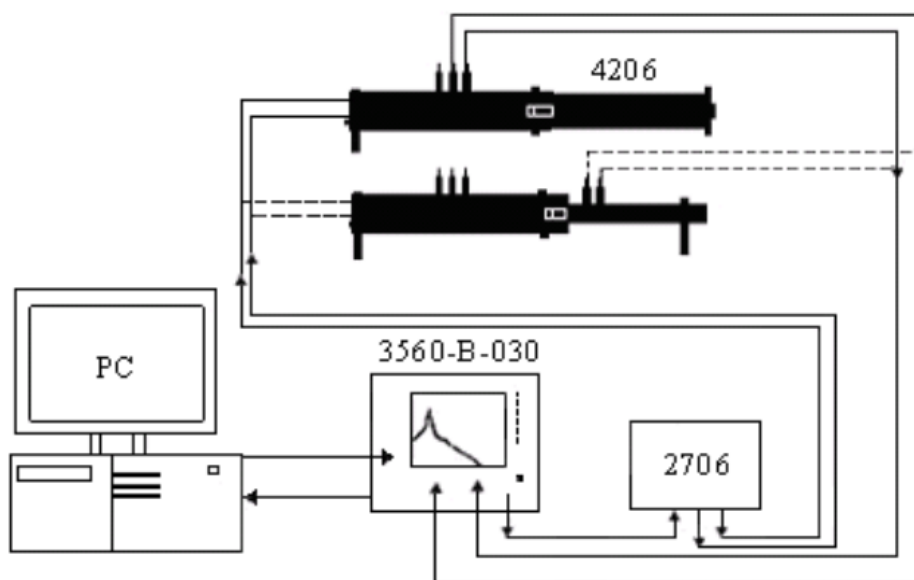
kde r je činitel odrazu akustického tlaku, r_r – reálná složka činitele odrazu akustického tlaku, r_i – imaginární složka činitele odrazu akustického tlaku. Činitel odrazu akustického tlaku je dán rovnicí:

$$r = \frac{H_{12} - H_I}{H_R + H_{12}} \cdot e^{2k_0 \cdot x_1 i}, [70] \quad (11)$$

kde H_{12} je přenosová funkce mezi místy 1 a 2, H_I – přenosová funkce pro samotnou dopadající vlnu, H_R – přenosová funkce pro samotnou odrážející se vlnu, k_0 – komplexní vlnové číslo, x_1 – vzdálenost mezi vzorkem a vzdálenějším mikrofonom od něj, i – imaginární jednotka. Tato aparatura sestává z Kundtovy impedanční trubice Brüel & Kjær typu 4206, tříkanálového PULSE multianalyzátoru Brüel & Kjær typu 3560-B-030, zesilovače Brüel & Kjær typu 2706 pro zesílení vstupního signálu a počítače pro ukládání naměřených dat. Fotografie této měřicí aparatury jsou uvedeny na obrázcích 80 a 81. Kundtova impedanční trubice se skládá ze dvou částí. A sice ze dvou trubic malého a velkého průměru. Velká trubice o průměru $d = 100$ mm je vhodná pro měření činitele zvukové pohltivosti při malých frekvencích a používá se ve frekvenčním rozsahu $f = \langle 0 \div 1600 \rangle$ Hz. Malá trubice o průměru $d = 30$ mm je vhodná pro měření činitele zvukové pohltivosti při větších frekvencích a měří při frekvencích $f = \langle 500 \div 6400 \rangle$ Hz. Je tedy zřejmé, že při frekvencích $f = \langle 500 \div 1600 \rangle$ Hz se jedná o přechodovou oblast mezi oběma trubicemi. Naměřená data akustických veličin v přechodové frekvenční oblasti, tzn. při $f = \langle 500 \div 1600 \rangle$ Hz, se získají průměrováním z hodnot příslušných akustických veličin získaných měřením na malé a velké Kundtově trubici. Výsledkem měření jsou frekvenční závislosti činitele zvukové pohltivosti při frekvencích $f = \langle 0 \div 6400 \rangle$ Hz s frekvenčním krokem $\Delta f = 2$ Hz. [70]



Obr. 78: Princip měření činitele zvukové pohltivosti v Kundtově impedanční trubici metodou přenosové funkce [70]



Obr. 79: Schéma zapojení aparatury pro měření činitele zvukové pohltivosti [70]



Obr. 80: Fotografie měřicí aparatury pro měření činitele zvukové pohltivosti



Obr. 81: Kundtova impedanční trubice

Materiálové vzorky, které byly využity pro měření akustický parametrů, vykazovaly lokální pohltivost bez ohledu na to, jestli se jednalo o polyesterovou, epoxidovou nebo polyuretanovou matrici. Nárůst hodnot pro akustickou pohltivost bylo možné sledovat zejména v oblastech pod 2000 Hz a dále v rozsahu 4000 až 6000 Hz. Tyto lokální maxima pohltivosti ukazují, že materiál je ovčím vláken ovlivněn do té míry, že v určité možné koncentraci lze tento materiálový celek usměrňovat do požadovaných frekvencí. Výška maxim je pak obvyklá pro měkké porézní materiály s tloušťkou 10 až 15 mm, které dosahují hodnoty $\alpha = 0,6$, ale pro tuto materiálovou kombinaci není zcela obvyklá. Výsledkem toho je, že kombinace matrice a ovčího vlákna je cca 3x menší tloušťka se stejnými vlastnostmi v oblasti akustické pohltivosti.

11.1 Koeficient redukce hluku

Koeficient redukce hluku (*NRC* - Noise Reduction Coefficient) při odrazu závisí především na materiálu stěny. Tato hodnota je v rozmezí od 0 do 1, která popisuje průměrnou účinnost pohlcování zvuku materiálem.

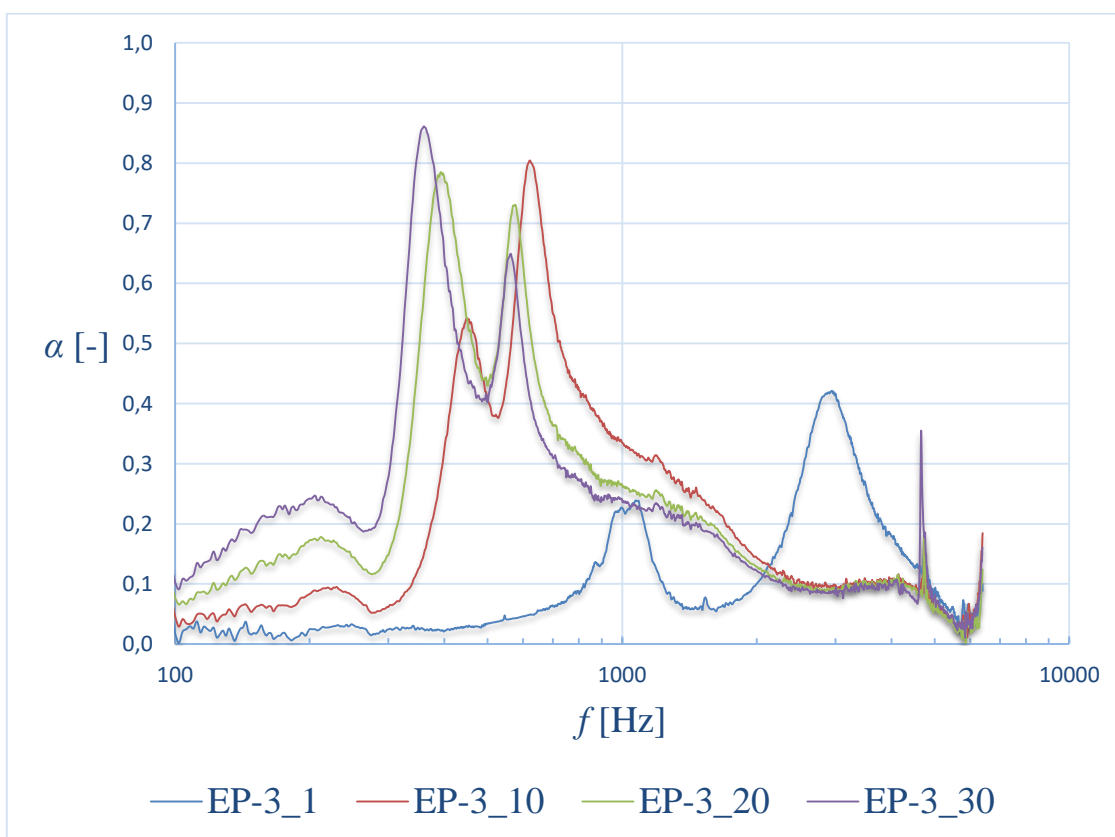
$$NRC = \frac{1}{4} \cdot (\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}), [70] \quad (12)$$

Koeficienty α_{250} , α_{500} , α_{1000} , α_{2000} odpovídají naměřeným hodnotám při frekvencích 250, 500, 1000 a 2000 Hz.

V popisech uvedených v záhlaví tabulek č. 20 až 23 znamenají první dvě písmena zkratku označení matrice, číslice -0 označuje hmotnostní % ovčích vláken, další číslice _0 vzduchovou mezeru 0 cm (0, 10, 20 a 30 cm).

Tab. 20 Vyhodnocení hodnot *NRC* pro vzorky EP 0 až 5 %

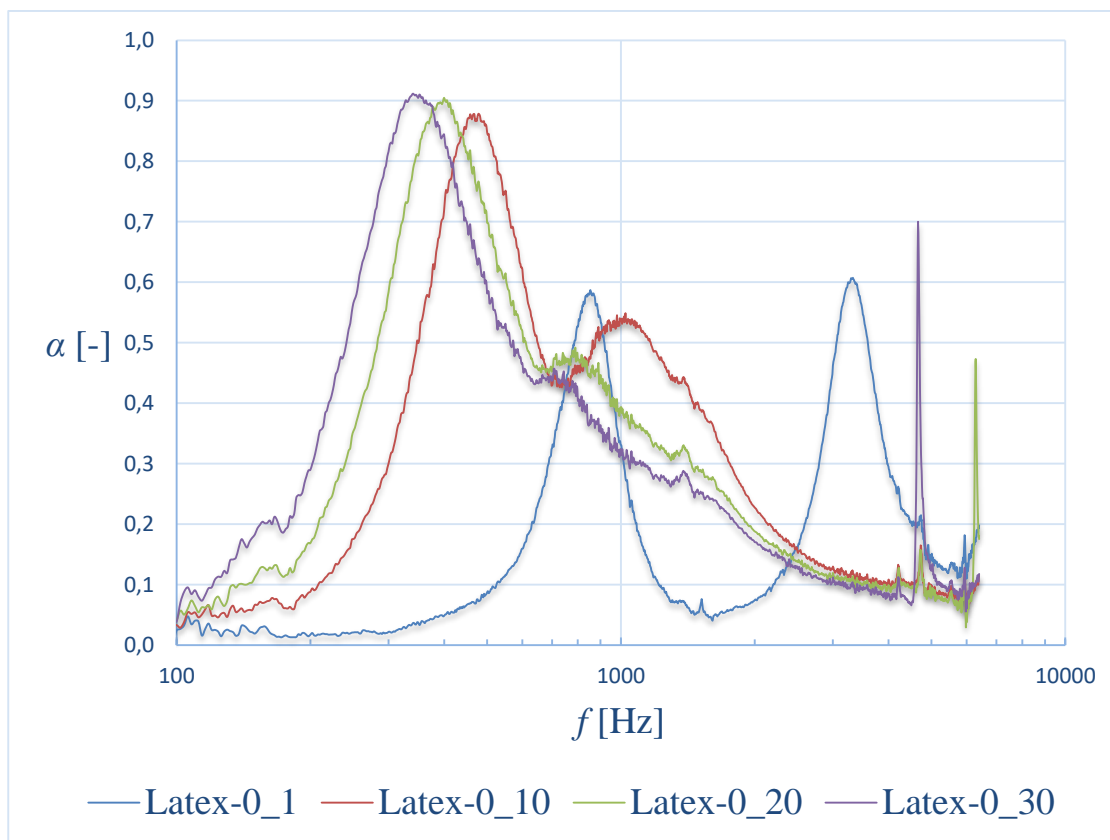
| EP 0 % | EP-0_0 | EP-0_10 | EP-0_20 | EP-0_30 |
|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| <i>NRC</i> | 0,0420982 | 0,2356397 | 0,2003607 | 0,1749267 |
| EP 1 % | EP-1_0 | EP-1_10 | EP-1_20 | EP-1_30 |
| <i>NRC</i> | 0,0800047 | 0,2000468 | 0,2499117 | 0,25446 |
| EP 2 % | EP-2_0 | EP-2_10 | EP-2_20 | EP-2_30 |
| <i>NRC</i> | 0,0539642 | 0,2560628 | 0,32908 | 0,3529428 |
| EP 3 % | EP-3_0 | EP-3_10 | EP-3_20 | EP-3_30 |
| <i>NRC</i> | 0,0981412 | 0,24172 | 0,2417358 | 0,2412635 |
| EP 4 % | EP-4_0 | EP-4_10 | EP-4_20 | EP-4_30 |
| <i>NRC</i> | 0,0787701 | 0,2152443 | 0,2264738 | 0,2282976 |
| EP 5 % | EP-5_0 | EP-5_10 | EP-5_20 | EP-5_30 |
| <i>NRC</i> | 0,0848252 | 0,1256667 | 0,1106843 | 0,1081888 |



Obr. 82: Naměřené hodnoty zvukové pohltivosti EP 3 %

Tab. 21 Vyhodnocení hodnot *NRC* pro vzorky Latex 0 %

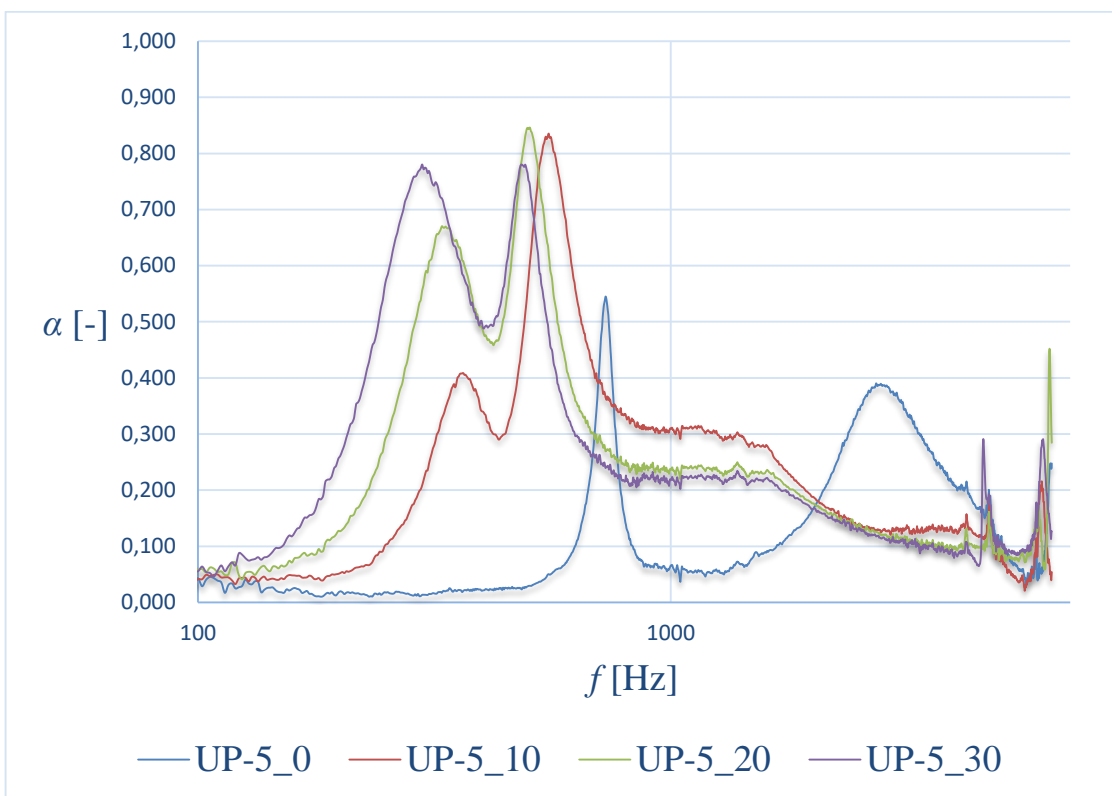
| Latex 0 % | Latex-0_0 | Latex-0_10 | Latex-0_20 | Latex-0_30 |
|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <i>NRC</i> | 0,1284616 | 0,4467708 | 0,4067923 | 0,4079813 |



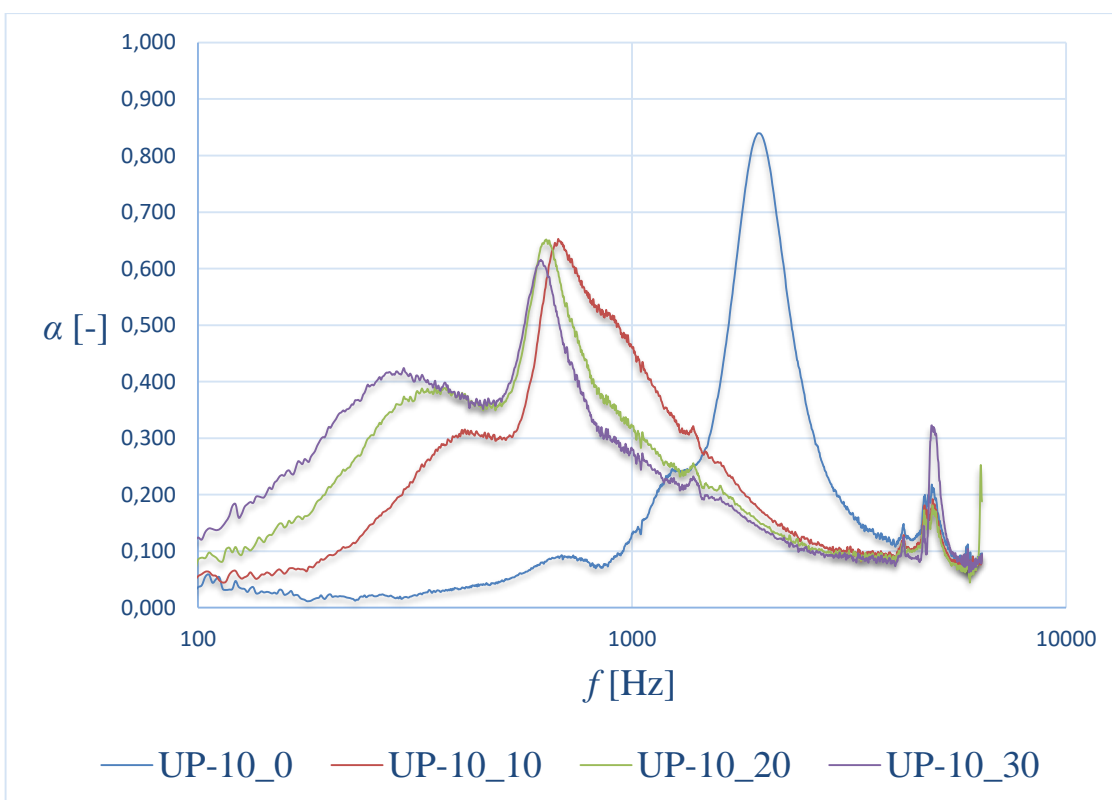
Obr. 83: Naměřené hodnoty zvukové pohltivosti Latex 0 %

Tab. 22 Vyhodnocení hodnot NRC pro vzorky UP 0 až 10 %

| UP 0 % | UP-0_0 | UP-0_10 | UP-0_20 | UP-0_30 |
|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <i>NRC</i> | 0,0442391 | 0,1390115 | 0,1339012 | 0,1296496 |
| UP 1 % | UP-1_0 | UP-1_10 | UP-1_20 | UP-1_30 |
| <i>NRC</i> | 0,05878735 | 0,262113 | 0,264963 | 0,31107775 |
| UP 2 % | UP-2_0 | UP-2_10 | UP-2_20 | UP-2_30 |
| <i>NRC</i> | 0,0960925 | 0,189295475 | 0,1668498 | 0,1596888 |
| UP 3 % | UP-3_0 | UP-3_10 | UP-3_20 | UP-3_30 |
| <i>NRC</i> | 0,0396668 | 0,284259 | 0,2792665 | 0,2705101 |
| UP 4 % | UP-4_0 | UP-4_10 | UP-4_20 | UP-4_30 |
| <i>NRC</i> | 0,1201142 | 0,1636015 | 0,2656277 | 0,3166056 |
| UP 5 % | UP-5_0 | UP-5_10 | UP-5_20 | UP-5_30 |
| <i>NRC</i> | 0,0695975 | 0,293749 | 0,3875243 | 0,427845 |
| UP 10 % | UP-10_0 | UP-10_10 | UP-10_20 | UP-10_30 |
| <i>NRC</i> | 0,2583097 | 0,2687173 | 0,2824363 | 0,2938825 |



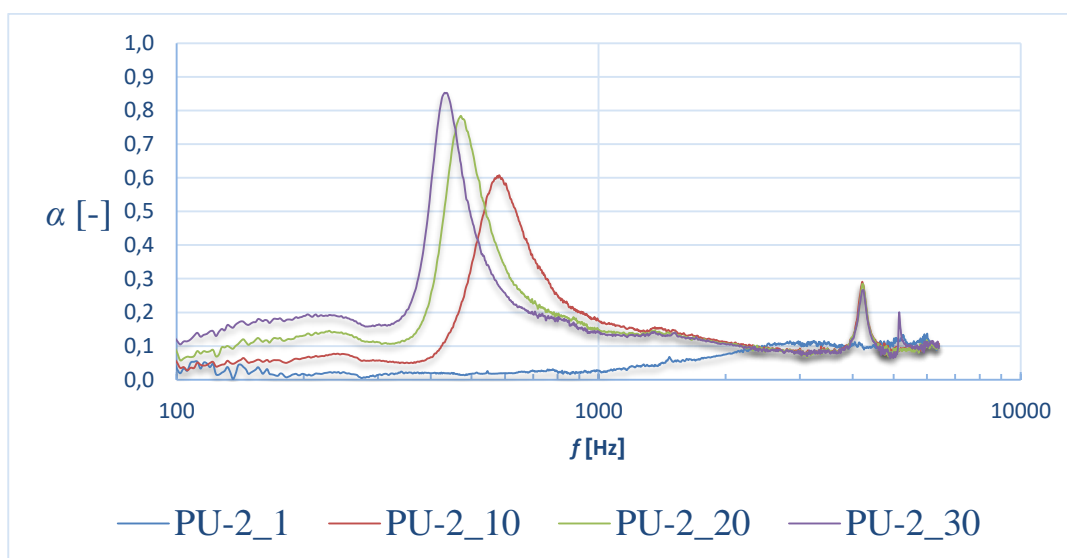
Obr. 84: Naměřené hodnoty zvukové pohltivosti UP 5 %



Obr. 85: Naměřené hodnoty zvukové pohltivosti UP 10 %

Tab. 23 Vyhodnocení hodnot NRC pro vzorky PU^a 0 až 5 %

| PU^a 0 % | PU-0_0 | PU-0_10 | PU-0_20 | PU-0_30 |
|---------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| <i>NRC</i> | 0,0898988 | 0,1698461 | 0,1590253 | 0,155304 |
| PU^a 2 % | PU-2_0 | PU-2_10 | PU-2_20 | PU-2_30 |
| <i>NRC</i> | 0,0352814 | 0,1756013 | 0,2703635 | 0,2280728 |
| PU^a 3 % | PU-3_0 | PU-3_10 | PU-3_20 | PU-3_30 |
| <i>NRC</i> | 0,1039447 | 0,233656 | 0,2611888 | 0,2734655 |
| PU^a 4 % | PU-4_0 | PU-4_10 | PU-4_20 | PU-4_30 |
| <i>NRC</i> | 0,0766755 | 0,2444162 | 0,2754458 | 0,239639 |
| PU^a 5 % | PU-5_0 | PU-5_10 | PU-5_20 | PU-5_30 |
| <i>NRC</i> | 0,0365033 | 0,1813919 | 0,2099715 | 0,174336 |



Obr. 86: Naměřené hodnoty zvukové pohltivosti PU^a 2 %

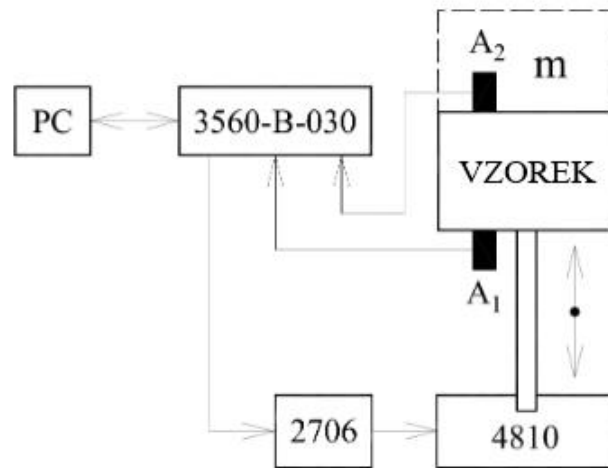
12. Měření přenosu mechanického kmitání

Jednou z oblastí, kam se zaměřuje úsilí mnoha států, je mechanické kmitání působící na člověka. Aby bylo možno provést účinná opatření, je nutno mechanické kmitání nejdříve změřit, měření vyhodnotit a technicky popsat [69].

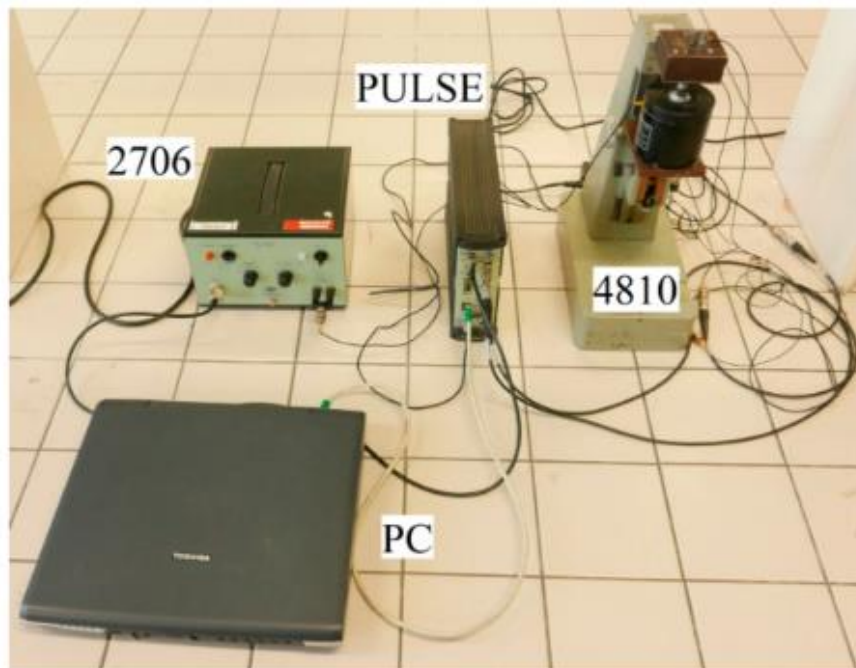
Mechanické kmitání, s nímž se běžně setkáváme, je v převážné míře vyvozováno různými stroji a mechanismy. Nežádoucí mechanické kmitání však působí nejenom na člověka, ale i na předměty. Poněvadž má vliv i na životnost a spolehlivost různých mechanismů a strojů, je nutno z tohoto hlediska sledovat [69].

Mechanické kmitání je však také užitečné a žádoucí. U mnohých strojů jako například vibrační pěchy, vibrační válce, a podobně je určitý druh a velikost mechanického kmitání bezpodmínečně nutný pro správnou pracovní funkci a výkonnost stroje. V těchto případech je opět nutné mechanické kmitání změřit a vyhodnotit [69].

Přenos mechanického kmitání se měří metodou nucených kmitů na měřicí aparatuře sestávající z budicího vibrátoru typu Brüel & Kjær 4810, zesilovače typu Brüel & Kjær 2706, multianalyzátoru typu Brüel & Kjær 3560-B-030 a počítače PC pro ukládání a vyhodnocení naměřených dat. Schéma zapojení této měřicí aparatury je znázorněno na obr. 87. Fotografie této aparatury je zobrazena na obr. 88. Měřený vzorek čtvercového průřezu o rozměrech půdorysu 60 mm x 60 mm je umístěn mezi horní a dolní ocelovou deskou. Uprostřed těchto desek jsou šrouby a jimi je vzorek umístěn mezi deskami (pomocí vhodného lepidla) přišroubován ze spodní strany k vibrátoru a z horní strany k přídatné setrvačné zátěži 90 g. Tímto způsobem byl vzorek pevně připojen k vibrátoru, který je zdrojem nuceného kmitání. Na dolní a horní straně vzorku jsou připevněny snímače zrychlení (viz obr. 87) pro měření zrychlení na obou stranách vzorků. [74]



Obr. 87: Schéma zapojení měřicí aparatury pro měření přenosového útlumu [74]



Obr. 88: Fotografie aparatury pro měření přenosového útlumu [74]



Obr. 89: Fotografie aparatury pro měření přenosového útlumu vzorku EP 4 % před měřením

Vlastnosti tlumení vibrací testovaných vzorků byly zkoumány při harmonickém buzení lineárního viskózně tlumeného systému s jedním stupněm volnosti (SDOF), který je charakterizován přenosem mechanického kmitání $T_d(-)$ dle následujícího výpočtu:

$$T_d = \frac{a_O}{a_I} = \frac{x_O}{x_I} = \sqrt{\frac{k^2 + (c\omega)^2}{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} = \sqrt{\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2}}, [74] \quad (14)$$

kde x/a je amplituda výchylky/zrychlení na výstupní (O) nebo vstupní (I) straně testovaného vzorku, k je tuhost materiálu (N / m), c je viskózní koeficient tlumení (Ns / m), ω je kruhová frekvence kmitání (rad / s), m je hmotnost (kg), ζ je poměrné tlumení (-), r je frekvenční poměr (-). V závislosti na hodnotě přenosu mechanického kmitání existují tři typy mechanických vibrací, jmenovitě rezonanční ($T_d > 1$), netlumené ($T_d = 1$) a tlumené ($T_d < 1$) vibrace. Poměrné tlumení a frekvenční poměr jsou definovány následujícími rovnicemi:

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}} = \frac{c}{2m\omega_n}, [74] \quad (15)$$

$$r = \frac{\omega}{\omega_n} = \frac{\omega}{\sqrt{k/m}}, [74] \quad (16)$$

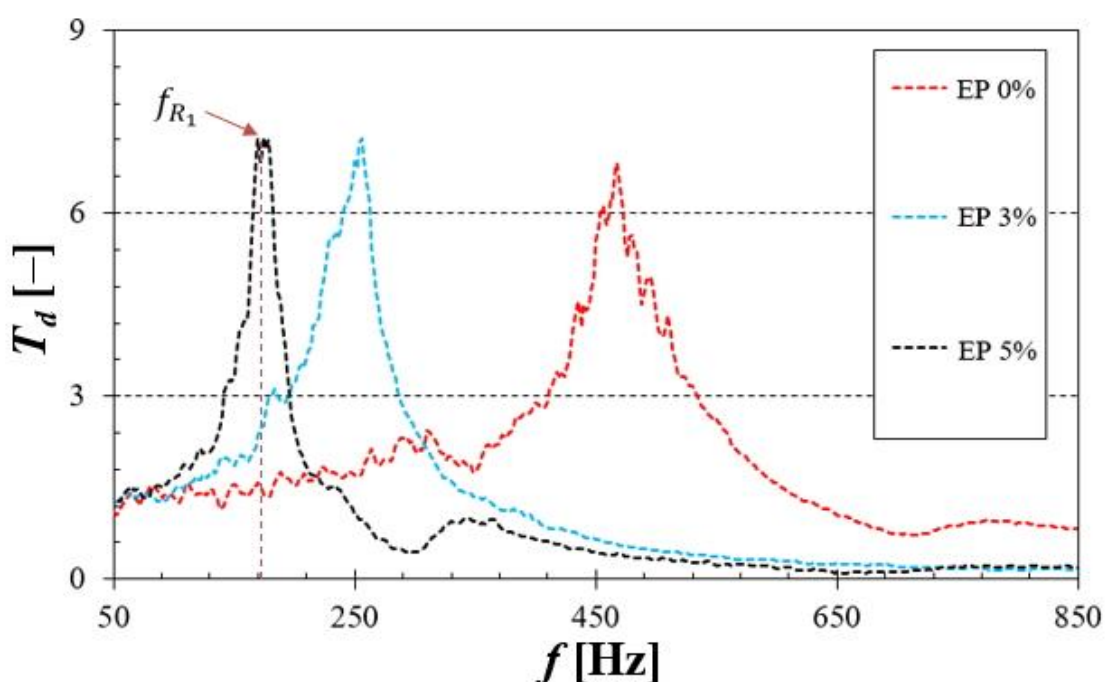
kde ω_n je netlumená kruhová frekvence [rad.s⁻¹], která je úměrná druhé odmocnině poměru tuhosti materiálu k hmotnosti. Za podmínky $dT_d/d\zeta = 0$ v rovnici (17) je možné najít frekvenční poměr r_m :

$$r_m = \frac{\omega_R}{\omega_n} = \frac{2\pi f_{R1}}{\omega_n} = \frac{\sqrt{\sqrt{1+8\zeta^2}-1}}{2\zeta}, [74] \quad (17)$$

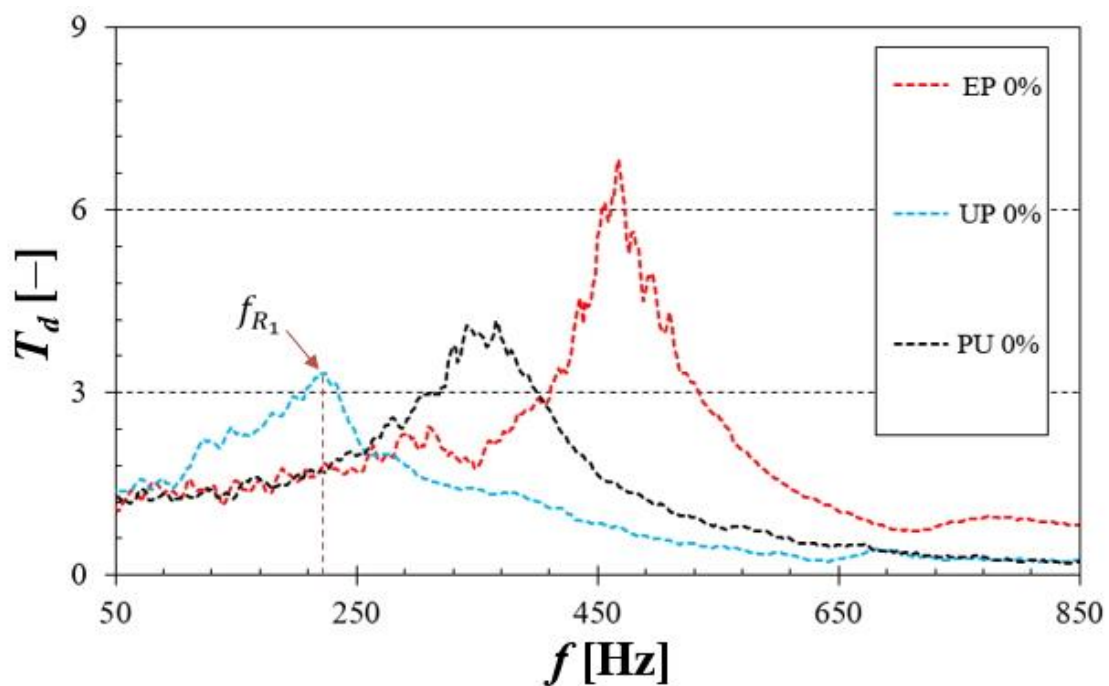
kde ω_R je kruhová frekvence [rad.s⁻¹], při které přenositelnost posunutí dosáhne své maximální hodnoty, a f_{R1} [Hz] je rezonanční frekvence. Kruhová frekvence ω_R je vždy menší, než netlumená frekvence ω_n . Z rovnice je zřejmé, že vyšší hodnoty tlumicího poměru ζ obecně vedou k nižší hodnotě frekvenčního poměru r_m . [74]

12.1 Naměřené hodnoty

S rostoucí rezonancí roste tuhost a materiály hůř tlumí vibrace, což koresponduje s výsledky ohybu (modulu E) a rovnicí (17).



Obr. 90: Porovnání přenosu mechanického kmitání dle koncentrace ovčích vláken u EP



Obr. 91: Porovnání přenosu mechanického kmitání u matric EP, UP, PU

Tab. 24 Přenos mechanického kmitání f_{R_1} u matric EP, PU, UP s 0, 3, 5 %

| Materiál | Koncentrace | | |
|----------|-------------|--------|-------|
| | 0 % | 3 % | 5 % |
| EP | 466±22 | 255±15 | 176±9 |
| PU | 325±15 | 218±1 | 161±8 |
| UP | 217±12 | 154±8 | 141±8 |

13. Měření propustnosti a absorpce vodní páry

Pro využití výrobků z kompozitního materiálu s obsahem ovčích vláken je třeba v uzavřené struktuře zjistit absorpci a propustnost vodní páry. Pro tato měření byl použit přístroj na stanovení propustnosti a absorpce vodní páry dle norem ČSN EN ISO 20344 Osobní ochranné prostředky – Metody zkoušení obuvi.

13.1 Měření a výpočet absorpce vodní páry

Absorpce vodní páry W_1 se vypočítá podle vzorce:

$$W_1 = \frac{m_2 - m_1}{a} \quad (18)$$

Kde je:

W_1 absorpce vodní páry, [mg/cm³]

m_1 počáteční hmotnost zkušebního tělesa, [mg]

m_2 konečná hmotnost zkušebního tělesa, [mg]

a plocha zkušebního povrchu, [cm²] (pro OZL = 9,62 cm²)

Výsledek se zaokrouhlí na nejbližší 0,1 [mg/cm²]

Norma EN ISO 20344 také udává tento koeficient jako další charakteristický údaj.

Koeficient vodní páry W_2 se vypočítá podle vzorce:

$$W_2 = 8W_3 + W_1 \quad (19)$$

Kde je:

W_2 koeficient vodní páry, [mg/cm²]

W_3 propustnost pro vodní páru, [mg/cm².h]

W_1 absorpce vodní páry, [mg/cm²]

Výsledek se zaokrouhlí na nejbližší 0,1 [mg/cm²]

[75]

13.2 Naměřené hodnoty

Tab. 25 Naměřené hodnoty absorpce vodní páry u matric PU^a a PU^b

| Zkušební vzorek | Číslo zkušební nádoby | Číslo vzorku | Hmotnost zkušebního vzorku [mg] | | |
|---------------------|-----------------------|--------------|---------------------------------|------------------|-------------------------|
| | | | m_1 (počátek) | m_2 (konec) | $m_2 - m_1$ (rozdíl) |
| PU ^a 0 % | 1 | 1 | 2,9717 | 2,9742 | 0,0025 |
| PU ^a 0 % | 2 | 2 | 5,9251 | 5,9286 | 0,0035 |
| PU ^b 0 % | 3 | 3 | 4,3874 | 4,3902 | 0,0028 |
| PU ^b 0 % | 4 | 4 | 4,7454 | 4,7473 | 0,0019 |
| PU ^b 3 % | 5 | 5 | 6,0822 | 6,0843 | 0,0021 |
| PU ^b 3 % | 6 | 6 | 5,4958 | 5,4985 | 0,0027 |



Obr. 92: Přístroj na stanovení propustnosti a absorpce vodní páry

13.3 Měření propustnosti vodní páry

Propustnost pro vodní páru W_3 se vypočítá podle rovnice:

$$W_3 = \frac{m}{At} = \frac{m}{\pi r^2 t} \quad (20)$$

Kde je:

W_3 propustnost pro vodní páru, [mg/cm².h]

m $m = m_2 - m_1$, [mg]

m_2 konečná hmotnost láhve se zkušební tělesem a silikagelem, [mg]

m_1 počáteční hmotnost láhve se zkušební tělesem a silikagelem, [mg]

A plocha zkušební plochy, [cm²]

r poloměr zkušební plochy, [cm]

t rozdíl času mezi prvním a druhým vážením, [h]

Norma EN ISO 20344 také udává tento koeficient jako další charakteristický údaj.

Koeficient vodní páry W_2 se vypočítá podle vzorce:

$$W_2 = 8W_3 + W_1 \quad (21)$$

Kde je:

W_2 koeficient vodní páry [mg/cm²]

W_3 propustnost pro vodní páru [mg/cm².h]

W_1 absorpce vodní páry [mg/cm²]

Výsledek se zaokrouhlí na nejbližší 0,1 [mg/cm²]

[75]

13.4 Naměřené hodnoty

Tab. 26 Naměřené hodnoty propustnosti vodní páry u polyuretanové matrice

| Zkušební vzorek | Číslo zkušební nádoby | Číslo vzorku | Fáze kondičiace | Fáze zkoušení |
|---------------------|-----------------------|--------------|---------------------|---------------------|
| | | | Hmotnost m_1 [mg] | Hmotnost m_2 [mg] |
| PU ^a 0 % | 1 | 1 | 165,3143 | 165,5632 |
| PU ^a 0 % | 2 | 2 | 163,9162 | 163,9182 |
| PU ^b 0 % | 3 | 3 | 163,4537 | 163,5094 |
| PU ^b 0 % | 4 | 4 | 167,7612 | 167,7622 |
| PU ^b 3 % | 5 | 5 | 162,5919 | 162,996 |
| PU ^b 3 % | 6 | 6 | 170,395 | 170,3981 |

Tab. 27 Vypočtené hodnoty absorpce vodní páry, koeficientu vodní páry a propustnosti vodní páry u polyuretanové matrice

| Absorpce vodní páry W_1 [mg.cm ⁻²] | Koeficient vodní páry W_2 [mg.cm ⁻²] | Propustnost vodní páry W_3 [mg.cm ⁻² .h] |
|--|--|---|
| 0,00026 | 0,040499875 | 0,00503 |
| 0,00036 | 0,000683825 | 0,00004 |
| 0,00029 | 0,00933106 | 0,00113 |
| 0,0002 | 0,000357505 | 0,00002 |
| 0,00022 | 0,065578295 | 0,00817 |
| 0,00028 | 0,000760665 | 0,00006 |

Byla použita metoda pro stanovení propustnosti pro vodní páry pro obuvnické materiály. Měřené vzorky jsou nestlačitelné. Což neodpovídá podmínkám zkoušky, kdy norma uvádí, že zkušební materiály jsou stlačitelné.

Naměřené hodnoty jsou v rozptylu od 0,0202 po 0,0627 mg/cm².h pro jednotlivé zkoušené materiály.

14. Měření činitele prostupu světla

Tato norma platí pro měření denního osvětlení a doplňuje základní požadavky pro měření stanovené v ČSN 36 0011-1. Stanovuje požadavky na přípravu i postup měření denního osvětlení. Její součástí je i stanovení postupu měření venkovní horizontální osvětlenosti, činitele denní osvětlenosti, činitele prostupu světla, činitele znečištění osvětlovacích otvorů a jasů. Rozvádí požadavky na měřicí přístroje a požadavky na přesnost měření. Obsahuje i požadavky na zpracování naměřených hodnot a na obsah protokolu z měření denního osvětlení. V příloze je uveden doporučený postup měření a doporučený obsah protokolu vzhledem k požadované přesnosti měření. [76]

14.1 Světelné ztráty při průchodu světla osvětlovacím otvorem

Při šíření světla přes osvětlovací otvor vznikají světelné ztráty podle druhu materiálu zasklení, vlivem neprůsvitných částí konstrukce osvětlovacího otvoru, vlivem znečištění na obou stranách okna a částečným stíněním osvětlovacího otvoru (v exteriéru i interiéru). Charakteristickou veličinou pro popis světelných ztrát při průchodu světla přes osvětlovací otvor je činitel prostupu světla τ [-], který je dán poměrem prošlého světelného toku přes osvětlovací otvor a dopadajícího světelného toku na osvětlovací otvor činitel prostupu světla byl měřen dle poměru:

$$\tau = \frac{E_p}{E_d}, \quad (22)$$

Kde E_p – osvětlenost naměřená při šíření světla skrz materiál za tímto materiálem.
 E_d – osvětlenost dopadajícího světla bez vloženého materiálového vzorku. [76]

V případě více vrstev materiálů, které jsou mezi sebou odděleny vzduchem, je výsledný činitel přestupu světla dán součinem jednotlivých činitelů průchodu světla.

Měření bylo provedeno pomocí luxmetru Voltcraft MS – 1300.

Tab. 28 Hodnoty činitele prostupu světla u vybraných materiálů při kolmém dopadu světla na daný materiál [76]

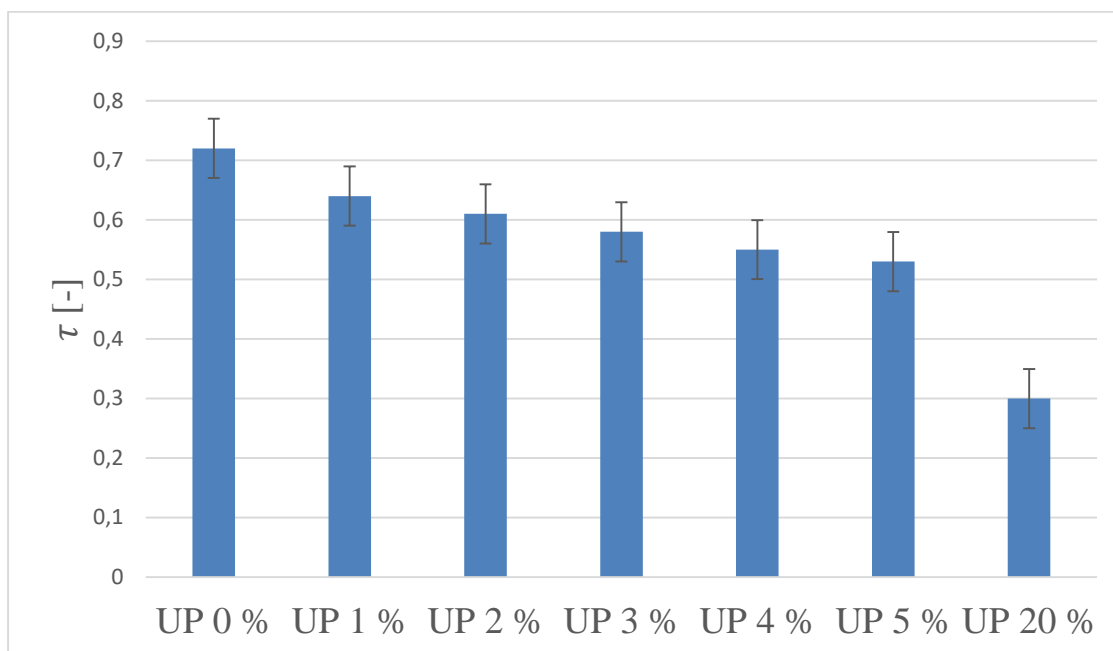
| Druh materiálu | Činitel prostupu světla $\tau_{s,nor}$ [-] |
|------------------------------|--|
| Čiré tabulové sklo 3 až 4 mm | 0,92 |
| Surové sklo (nevzorované) | 0,88 |
| Vzorované sklo | 0,85 až 0,90 |
| Laminát se skelným vláknem | 0,35 až 0,85 |
| Akrylát čirý | 0,85 až 0,92 |
| Akrylát rozptýlený | 0,60 až 0,80 |
| Netermální skla | 0,35 až 0,70 |
| Reflexní skla | 0,55 až 0,65 |



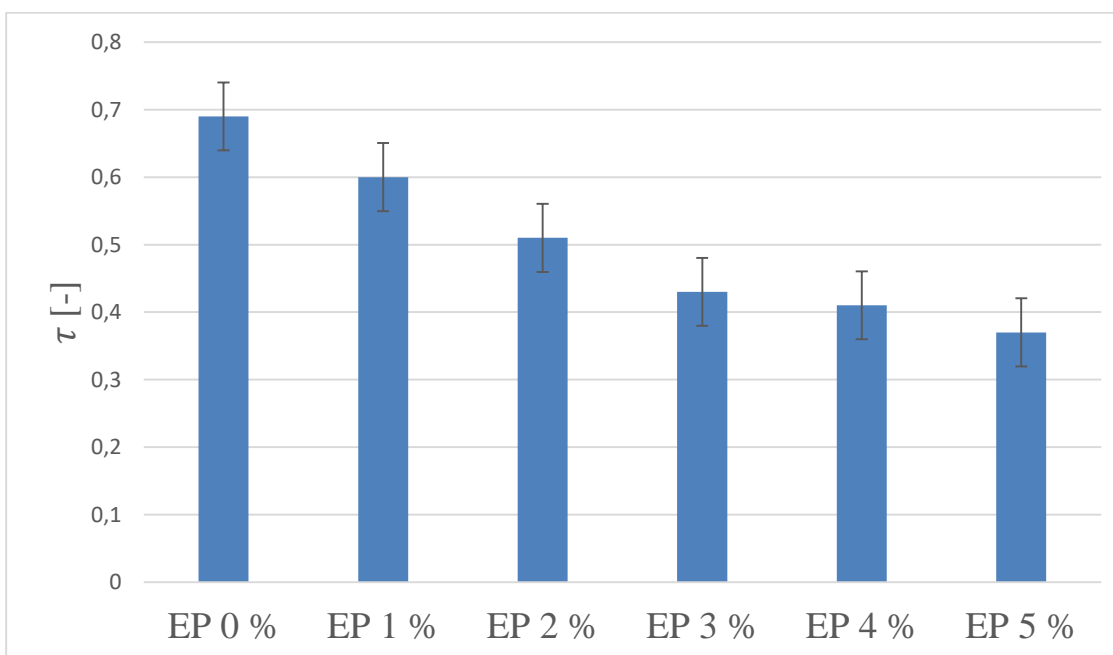
Obr. 93: Luxmetr Voltcraft MS - 1300

Pro porovnání byly vybrány jen vzorky z epoxidové a polyesterové pryskyřice, jelikož vzorky polyuretanové pryskyřice jsou neprůhledné.

Porovnáním naměřených hodnot činitele prostupu světla τ bylo zjištěno, že s rostoucí koncentrací ovčích vláken v matrici činitel prostupu světla klesá.



Obr. 94: Naměřené hodnoty činitele prostupu světla τ pro UP vzorky



Obr. 95: Naměřené hodnoty činitele prostupu světla τ pro EP vzorky

15. Ekonomické zhodnocení

Pro ekonomické zhodnocení (porovnání nákladů) výroby kompozitů z polymerní matrice a ovčí vlny je třeba určit, zda se bude jednat o typ výroby A, tedy výrobu včetně technologie praní ovčí vlny nebo se bude jednat o typ výroby B, kdy se bude vyrábět ze zakoupené vyprané ovčí vlny.

Pokud se bude jednat o typ výroby A, je třeba zahrnout do nákladů i pořizovací cenu zařízení na čištění, praní, sušení a zpracování ovčí vlny, jehož součástí je také potřebná infrastruktura a zaměstnanci. Další náklady budou zahrnovat přípravu kompozitních materiálů viz typ výroby B.

Pokud se bude jednat o typ výroby B, budou zde jen náklady na přípravu kompozitních materiálů. Předpokladem pro tento typ výroby jsou provozy k tomu určené s dobře odvětrávanými prostory dle příslušných legislativních norem.

Z hlediska dostupných informací byla v roce 2020 průměrná hrubá měsíční mzda zaměstnance (přepočteného na plnou pracovní dobu) podle místa pracoviště ve Zlínském kraji ve výši 31.644,- Kč [77], což odpovídá průměrné hodinové mzdě 197,80,- Kč (při osmihodinové pracovní době a dvaceti pracovních dnech v měsíci).

Pokud budou pro zjednodušení výpočtu uvažovány jen náklady na materiál a hodinová mzda, (nebudou uvažovány například náklady na provoz stroje, odvody na zaměstnance, odpisy) je možné vypočítat základní náklady na výrobu kompozitní desky z polymerní matrice s plnivem z ovčích vláken.

Níže uvedené ceny jednotlivých surovin a chemikálií jsou včetně DPH.

Náklady na pořízení polyuretanové pryskyřice PU^a (Gaform R30) činí přibližně 265,- Kč za sadu 0,5 kg pryskyřice a 0,5 kg tvrdidla, při větším odběru je pak cena 2 385,- Kč za sadu 5 kg pryskyřice a 5 kg tvrdidla. [78]

Náklady na pořízení polyuretanové pryskyřice PU^b (Gaform R55) činí přibližně 325,- Kč za sadu 0,5 kg pryskyřice a 0,5 kg tvrdidla, při větším odběru je pak cena 2 783,- Kč za sadu 5 kg pryskyřice a 5 kg tvrdidla. [78]

Náklady na pořízení epoxidové pryskyřice EP (Epoxy G20) činí přibližně 295,- Kč za sadu pryskyřice a tužidla (1 kg), při větším odběru je pak cena 2 650,- Kč za sadu pryskyřice a tužidla (10 kg). [79]

Náklady na pořízení polyesterové pryskyřice UP (GPE 100) činí přibližně 265,- Kč za sadu pryskyřice a tužidla (1 kg), při větším odběru je pak cena 2 385,- Kč za sadu pryskyřice a tužidla (10 kg). [80]

Náklady na pořízení separátoru V 11 činí přibližně 325,- Kč za litr. [78]

Náklady na pořízení vyprané ovčí vlny se pohybují v rozmezí 125,- až 290,- Kč za kilogram. [10]

Náklady na pořízení krátkých skelných vláken délky 0,2 mm jsou dle množství odběru a cena začíná na 416,36,- Kč za 0,5 kg, 389,50,-Kč za 1 kg. Při odběru 5 kg a více je to 362,64,- Kč za 1 kg a při odběru nad 30 kg se prodávají za 349,21,- Kč za 1 kg [81].

Náklady na pořízení krátkých uhlíkových vláken délky 3 mm závisí na množství odběru a cena začíná na 1 981,98,- Kč za 0,5 kg, 1 783,78,- Kč za 1 kg. Při odběru 5 kg a více je to 1 585,58,- Kč za 1 kg a při odběru nad 10 kg se prodávají za 1 486,49,- Kč za 1 kg [82].

Náklady na pořízení krátkých bavlněných vláken délky 0,5 mm jsou dle množství odběru a cena začíná na 380,55,- Kč za 0,5 kg, 339,41,-Kč za 1 kg. Při odběru 5 kg a více je to 298,27,- Kč za 1 kg a při odběru nad 10 kg se prodávají za 277,70,- Kč za 1 kg [83].

Pokud by se jednalo o jednoduchý druh výroby B, je třeba uvažovat náklady na separátor, polymerní matrici, plnivo a hodinovou mzdu pro zaměstnance. Dále by zde mohly být i náklady na přípravu krátkých vláken pomocí nožového mlýna nebo jiným způsobem výroby.

Pro výrobu kompozitní desky o rozměru 1 x 1 x 0,01 m (0,01 m³), při použití polymerních pryskyřic činí hustota přibližně 1 g/cm³ (1000 kg/m³), při výrobě desky o tloušťce 1 cm činí vypočtená spotřeba 10 kg pryskyřice.

Tab. 29 Vypočtená cena desky z matric PU^a, PU^b, EP, UP bez plniva

| Matrice | Hmotnostních % | | |
|-----------------|----------------|-------------|-------------|
| | 100 | 97 | 95 |
| PU ^a | 2 192,10 Kč | 2 126,33 Kč | 2 082,49 Kč |
| PU ^b | 2 557,90 Kč | 2 481,17 Kč | 2 430,01 Kč |
| EP | 2 523,81 Kč | 2 448,10 Kč | 2 397,62 Kč |
| UP | 2 120,00 Kč | 2 056,40 Kč | 2 014,00 Kč |

Tab. 30 Vypočtená cena pro 3 % plniva

| Plnivo | Ovčí vlákna $l = 1$ [mm] | Skelná vlákna $l = 0,2$ [mm] | Uhlíková vlákna $l = 3$ [mm] | Bavlněná vlákna $l = 0,5$ [mm] |
|-----------------|--|--|--|--|
| Matrice | 3 % | 3 % | 3 % | 3 % |
| PU ^a | 35,57 Kč | 99,99 Kč | 409,88 Kč | 76,57 Kč |
| PU ^b | 35,57 Kč | 99,99 Kč | 409,88 Kč | 76,57 Kč |
| EP | 36,86 Kč | 103,61 Kč | 424,71 Kč | 79,34 Kč |
| UP | 34,40 Kč | 96,70 Kč | 396,40 Kč | 74,05 Kč |

Tab. 31 Vypočtená cena pro 5 % plniva

| Plnivo | Ovčí vlákna $l = 1$ [mm] | Skelná vlákna $l = 0,2$ [mm] | Uhlíková vlákna $l = 3$ [mm] | Bavlněná vlákna $l = 0,5$ [mm] |
|-----------------|--|--|--|--|
| Matrice | 5 % | 5 % | 5 % | 5 % |
| PU ^a | 59,28 Kč | 166,65 Kč | 683,13 Kč | 127,62 Kč |
| PU ^b | 59,28 Kč | 166,65 Kč | 683,13 Kč | 127,62 Kč |
| EP | 61,43 Kč | 172,69 Kč | 707,85 Kč | 132,24 Kč |
| UP | 57,33 Kč | 161,17 Kč | 660,66 Kč | 123,42 Kč |

Tab. 32 Vypočtená celková cena pro 3 % plniva

| Plnivo | Ovčí vlákna $l = 1$ [mm] | Skelná vlákna $l = 0,2$ [mm] | Uhlíková vlákna $l = 3$ [mm] | Bavlněná vlákna $l = 0,5$ [mm] |
|-----------------|--|--|--|--|
| Kompozit | 3 % | 3 % | 3 % | 3 % |
| PU ^a | 2 161,90 Kč | 2 226,33 Kč | 2 536,21 Kč | 2 202,90 Kč |
| PU ^b | 2 516,74 Kč | 2 581,16 Kč | 2 891,05 Kč | 2 557,74 Kč |
| EP | 2 484,95 Kč | 2 551,71 Kč | 2 872,81 Kč | 2 527,44 Kč |
| UP | 2 090,80 Kč | 2 153,10 Kč | 2 452,80 Kč | 2 130,45 Kč |

Tab. 33 Vypočtená celková cena pro 5 % plniva

| Plnivo | Ovčí vlákna $l = 1$ [mm] | Skelná vlákna $l = 0,2$ [mm] | Uhlíková vlákna $l = 3$ [mm] | Bavlněná vlákna $l = 0,5$ [mm] |
|-----------------|--|--|--|--|
| Kompozit | 5 % | 5 % | 5 % | 5 % |
| PU ^a | 2 141,77 Kč | 2 249,14 Kč | 2 765,62 Kč | 2 210,11 Kč |
| PU ^b | 2 489,29 Kč | 2 596,66 Kč | 3 113,14 Kč | 2 557,63 Kč |
| EP | 2 459,05 Kč | 2 570,31 Kč | 3 105,47 Kč | 2 529,86 Kč |
| UP | 2 071,33 Kč | 2 175,17 Kč | 2 674,66 Kč | 2 137,42 Kč |

V ceně kompozitů není zohledněna mzda, náklady na infrastrukturu a odpisy. Jedná se o náklady na nákup polymerních pryskyřic a plniv včetně DPH 21 %.

Pro přípravu polymerní desky je třeba přihlídnout k vlastnostem na zpracování jednotlivých druhů polymerních pryskyřic, kdy doba zpracování je v rozmezí několika minut až po několik hodin. Pro přípravu výroby ručním odléváním lze tedy odhadnout čas na dvě hodiny pro přípravu jednoduché formy separátorem, rozmíchání složek pryskyřic s plnivem až po nalití do takto připravené formy činí na jednoho zaměstnance náklady přibližně 400,- Kč při výrově jednoho kusu výrobku. Při přípravě více odlitků se cena na jeden výrobek snižuje podílem počtu vyráběných výrobků v jeden časový úsek, při výrobě více výrobků bývá zapotřebí alespoň dvou zaměstnanců, náklady tedy budou odvislé, dle časové náročnosti na technologii odlévání příslušných výrobků.

Pro přípravu směsí jsou ve větších výrobních provozech využívány strojní míchací a směšovací zařízení, snižuje se tak variabilita kvality výrobku z pohledu homogenity a struktury.

Z hlediska ekonomického zhodnocení použití ovčích vláken jako plniva do polymerních matic, se jedná o úsporu ceny materiálu, respektive plniva na 1 kg oproti: skelným vláknům o 237,64,- Kč, uhlíkovým vláknům o 1 361,49,- Kč a bavlněným vláknům o 152,70,- Kč. Tato úspora se projeví zejména u velkých odlitků a sériové výroby.

16. PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU

Kompozitní materiály plněné přírodními vlákny jsou mimo jiné využívány zejména ve stavebním a dopravním průmyslu. Přínosem práce je stanovení technologických podmínek pro přípravu plniva, ověření stupně plnění polymerních reaktivních pryskyřic a určení vlivu ovčích vláken na fyzikální a mechanické vlastnosti kompozitu.

17. PŘÍNOS PRÁCE PRO PRAXI

Kompozitní materiály plněné přírodními vlákny mohou mít uplatnění ve stavebním průmyslu, například ve formě bariér pro odraz hluku a také v podobě poloprůhledných bariér kolem dopravních komunikací a na železnici. Další možné uplatnění je při výrobě krytů elektrických a strojních zařízení. Své místo si najde i v designu nábytku a dekorací.

Na základě provedených měření lze určit možné směry dalšího vývoje, jako jsou zdokonalit přípravu vzorků profesionálnější metodou. Nasnadě jsou i možnosti směsí plniva ovčích vláken s dalšími přírodními vlákny pro zlepšení jejich vlastností.

Dalším možným směrem při řešení disertační práce by bylo zaměření se na problematiku z pohledu ekonomického, kde je návratnost investic možná především z důvodu celosvětového tlaku na snižování množství odpadu a využití odpadních surovin pro průmyslové aplikace. Pro přípravu ve větším množství výroby z důvodu prvotních nároků na zařízení pro zpracování plniva ve formě krátkých a dlouhých vláken může být tato investice v relativně krátké době navrácena díky ekologickému přístupu jednotlivých výrobců na trhu.

18. ZÁVĚR

Disertační práce se zabývá zpracováním a charakterizací přírodních kompozitů. Pomocí nožového mlýnu byla připravena krátká ovčí vlákna s délkou do 1 mm. Tato vlákna byla použita jako plnivo pro polymerní matrice. Jako matrice byly vybrány polyuretanová, polyesterová a epoxidová pryskyřice. Testování proběhlo statickou zkouškou třibodovým ohybem. Pro testování elektrických a dielektrických vlastností byly vzorky doplněny maticí z latexu. Kromě těchto měření byly testovány i akustické vlastnosti, jako je akustická pohltivost či přenosový útlum. Stejně tak jsou zajímavé i poznatky z měření absorpce vodní páry a světelné ztráty při průchodu těmito vzorky. Pro porovnání tvrdých a měkkých kompozitů plněných ovčími vlákny. Tato měření byla tedy provedena na zkušebních vzorcích čtyř matic bez plniva a s plnivem 1 až 5, respektive 10 až 20 hmotnostních procent. Naměřené hodnoty jsou rozdílné, jak v použitých maticích, tak i v procentuálním hmotnostním množství ovčích vláken.

Cílem tohoto výzkumu je využít především vlákna z ovčích vlny, ale i z jiných zvířat, pro široké uplatnění bez negativního účinku na přírodu. Pro použití v průmyslu a v předmětech pro běžnou potřebu s vědomím ekologického přístupu k životnímu prostředí. Jelikož se v České republice a i v celé Evropě tuzemská ovčí vlna příliš nevyužívá, ale likviduje jako odpadní surovina, lze ji po vyprání použít pro aplikace obvykle mimo textilní průmysl. V České republice se ročně získá řádově 1000 tun ovčí potní vlny z níž je jen část průmyslově využita.

Výsledný materiál má potenciál užití v oblasti akustické a elektrické izolace, například u obráběcích a tvářecích zařízení jejichž provoz je doprovázen vznikem vibrací, což mohou být třeba hrotové brusky nebo malé vstříkolisy.

Praktické využití může být také v konstrukci a designu nábytku, kde se přírodní materiály uplatňují nejen pro povrchové úpravy výrobku. Dalšími aplikacemi mohou být rukojeti nástrojů a sportovního vybavení, stejně tak dobře je možné uplatnění v dopravním průmyslu.

Výhodou je také recyklace, kdy lze tento kompozit nadrtit a použít jako plnivo do totožné matrice. Výsledné kompozity jsou odolné pro teploty do 200 °C.

Jednotlivé zkušební vzorky se lišily užitou maticí a procentem hmotnostního objemu plniva ve formě krátkých ovčích vláken. Výsledné vlastnosti zkušebních vzorků byly ovlivněny i postupným vytvrzováním reaktivních pryskyřic při pokojové teplotě 25°C. Při této teplotě nebyl zajištěn odtah vzduchu ze struktury

vzorků a vznikly tak vzduchové kapsy. Tyto kapsy mají podíl i na lepších vlastnostech výsledných kompozitních materiálů. Tyto vlastnosti je možné použít u absorbérů hluku v místnosti i ve venkovních prostorech, například v okolí rodinné zástavby nebo rušných cest, popřípadě i v budovách jako jsou učebny, posluchárny, divadla, kina a podobné prostory.

Měřením elektroizolačních vlastností u kompozitních materiálů s přísádkou ovčích vláken bylo zjištěno, že u některých vzorků jednosměrná konduktivita roste nebo klesá, respektive se zlepšuje nebo zhoršuje právě s obsahem ovčích vláken v polymerní matici.

Tato měření poskytují informace o stabilitě systémů například o průběhu síťovací reakce, jak se mění její kinetika a dynamika s přísádkou ovčích vláken a také poskytují informace o nasycení vodou, v závislosti od obsahu přírodního plniva.

Lze tak získat i dodatečné informace o vlastnostech jednotlivých vzorků z hlediska kvality struktury a materiálu matrice již ve stádiu těsně po přípravě. Pokud mají vzorky malý rozptyl v hodnotách naměřených vlastností, je možné předpokládat dobrou reprodukovatelnost jejich přípravy.

Naměřené hodnoty jednosměrné konduktivity vykazují s rostoucím obsahem ovčího vlákna ve struktuře spíše zhoršující se vlastnosti.

Při hodnocení ztrátové elektrické konduktivity ve střídavém elektrickém poli do 1000 V při frekvenci 50 Hz lze u naměřených vzorků dobře charakterizovat změny struktury kompozitů, a díky tomu mohou nalézt vzorky uplatnění v elektrotechnice v jednoduchých aplikacích, pracujících při frekvencích do 100 kHz.

Důležité je, že plnivo může ovlivňovat i schopnost polarizace, což je důležité z hlediska aplikace, povrchové úpravy, lakování, zachycování nečistot a podobně, a také u elektrotechnických součástek a zařízení shromažďující energii, jako jsou například kondenzátory.

Permitivita určuje vznik a hromadění elektrostatického náboje pod vlivem elektrického pole, je důležitá z hlediska stanovení vhodnosti pro některé aplikace a technologie vyžadující antistatický povrch, například pro lakování.

Ztrátový činitel určuje množství energie, která se přemění na teplo při působení střídavého pole na materiál. To je důležitý údaj pro součástky a zařízení.

Z hlediska struktury může být silně ovlivněn různými mechanismy transportu elektrického náboje, tedy je přirozeně závislý i na koncentraci ovčích vláken v kompozitech což ukazuje, že izolační vlastnosti se zhoršují s vyšším podílem plniva vůči matici, materiál je málo vhodný, co by izolant.

Příznivým účinkem tohoto materiálu je snížení hromadění elektrického náboje, což je možné využít u aplikací jako jsou kryty, nádoby pro těkavé a výbušné látky, ochrana elektrických zařízení.

Z hlediska srovnání všech systémů lze konstatovat, že hodnoty ztrátového činitele se s přidáním ovčích vláken u epoxidové, polyesterové a polyuretanové matrice společně s hodnotou střídavé elektrické konduktivity zhoršují a u latexové matrice se tyto hodnoty zlepšují.

Ovčí vlákna přispívají ke snížení tuhosti jednotlivých plněných kompozitních materiálů, což bylo potvrzeno jak zkouškou tříbodovým ohybem, tak i vibrační nedestruktivní metodou.

Z hlediska ekonomického zhodnocení použití ovčích vláken jako plniva do polymerních matic, se jedná o úsporu ceny materiálu, respektive plniva na 1 kg oproti: skelným vláknům o 237,64,- Kč, uhlíkovým vláknům o 1 361,49,- Kč a bavlněným vláknům o 152,70,- Kč. Tato úspora se projeví zejména u velkých odlitků a sériové výroby.

Z hlediska porovnání typů výroby A a B, je typ A spíše pro větší firmy, které chtějí podnikat i v oblasti praní ovčí vlny, zde lze mít pak vypranou ovčí vlnu za výrobní náklady a snížit tak potažmo i cenu výrobků. Typ B mohou provozovat menší firmy a živnostníci.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. HUDEC, Mojmir, 2012. Pasivní domy z přírodních materiálů [online]. Praha: Grada [cit. 2019-4-4]. ISBN 978-80-247-7939-3.
2. STANĚK, Jaroslav. Textilní zbožíznalství. Liberec: Technická univerzita, Textilní fakulta, 2001, v tiráži 2002. ISBN 80-7083-555-9.
3. EHRENSTEIN, Gottfried W. Polymerní kompozitní materiály. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.
4. STRÁŽNICKÝ, Přemysl, Soňa RUSNÁKOVÁ a Pavel MOKREJŠ, 2019. Animal fibers and their applications. In: Recenzovaný sborník příspěvků mezinárodní vědecké konference Mezinárodní Masarykova konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky 2019. Hradec Králové: MAGNANIMITAS, 10. ISBN 978-80-87952-31-3.
5. HORÁK, František. Chováme ovce. 2. doplněné vydání. Praha: Ve spolupráci se Svazem chovatelů ovcí a koz v ČR vydalo nakl. Brázda, 2012. ISBN 978-80-209-0390-7.
6. Akademie vlny, 2020. In: *Woolife* [online]. Litomyšl: VITAPUR spol. s r.o. [cit. 2020-07-24]. Dostupné z: <https://www.woolife.cz/akademie-vlny/>
7. Ovčí vlna, 2013. Naturwool [online]. Brumov-Bylnice: Naturwool [cit. 2019-10-18]. Dostupné z: <https://www.naturwool.cz/aktuality/ovci-vlna/>
8. Tepelně izolační vlastnosti izolačních materiálů a jejich porovnání, In: *Izolant.cz* [online]. [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <https://www.izolant.cz/tepelneizolacni-vlastnosti-izolacnich-materialu-a-jejich-porovnaní/>
9. KLEVCOV, Pavel, 2021. *Výkup vlny* [online]. Velké Svatoňovice [cit. 2021-04-01]. Dostupné z: http://www.klevcov.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=75:vykup-vlny
10. PFEIFER, Pavel. VLNA. *European husky team* [online]. [cit. 2021-04-01]. Dostupné z: <https://www.eurohusky.cz/obchod/ovci-vlna/>
11. BHARATH, KN, Mudasar PASHA a BA NIZAMUDDIN. Characterization of natural fiber (sheep wool)-reinforced polymer-matrix composites at different operating conditions. *Journal of Industrial Textiles*. 2014, 45(5), 730-751. DOI: 10.1177/1528083714540698. ISSN 1528-0837. Dostupné také z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1528083714540698>
12. FIORE, V., G. DI BELLA a A. VALENZA. Effect of Sheep Wool Fibers on Thermal Insulation and Mechanical Properties of Cement-Based Composites. *Journal of Natural Fibers*. 2019, 1-12. DOI: 10.1080/15440478.2019.1584075. ISSN 1544-0478. Dostupné také z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15440478.2019.1584075>

13. LENFELD, Petr et al., *Kompozit se syntetickou polymerní matricí a buničinou ve formě přírodních vláknenných plniv*. Česká republika. 23865 Užitný vzor. Zapsáno 24.05.2012.
14. LENFELD, Petr et al., *Kompozitní materiál s přírodními vláknennými plnivy na bázi buničiny pro výrobu plastových dílů*. Česká republika. 23866 Užitný vzor. Zapsáno 24.05.2012.
15. LENFELD, Petr et al., *Kompozitní materiál s přírodními vláknennými plnivy na bázi kokosu pro výrobu plastových dílů*. Česká republika. 24040 Užitný vzor. Zapsáno 28.06.2012.
16. LENFELD, Petr et al., *Kompozitní materiál s přírodními vláknennými plnivy na bázi konopí pro výrobu plastových dílů*. Česká republika. 23867 Užitný vzor. Zapsáno 24.05.2012.
17. LENFELD, Petr et al., *Kompozitní materiál s přírodními vláknennými plnivy na bázi lnu pro výrobu plastových dílů*. Česká republika. 23868 Užitný vzor. Zapsáno 24.05.2012.
18. HABR, Jiří et al., *Polymerní kompozit s přírodními vlákny a lehčenou matricí*. Česká republika. 306882 Patent. Uděleno 12.07.2017.
19. LENFELD, Petr et al., *Kompozitní materiál s přírodními vláknennými plnivy na bázi ovčích vláken pro výrobu plastových dílů*. Česká republika. 23869 Užitný vzor. Zapsáno 24.05.2012.
20. HABR, Jiří et al., *Hybridní polymerní kompozit s vlákny přírodního původu a skleněnými dutými kuličkami*. Česká republika. 29559 Užitný vzor. Zapsáno 21.06.2016.
21. OKSMAN, K., M. SKRIFVARS a J.-F. SELIN, 2003. Natural fibres as reinforcement in polylactic acid (PLA) composites. *Composites Science and Technology*. **63**(9), 1317-1324. DOI: 10.1016/S0266-3538(03)00103-9. ISSN 02663538. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0266353803001039>
22. HABR, Jiří et al., *Hybridní polymerní kompozit s přírodními a skleněnými vlákny*. Česká republika. 29734 Užitný vzor. Zapsáno 30.08.2016.
23. LENFELD, Petr et al., *Biokompozit s PLA matricí a vlákny banánovníku*. Česká republika. 306879 Patent. Uděleno 12.07.2017.
24. AZIZ, S et al., 2005. Modified polyester resins for natural fibre composites. *Composites Science and Technology*. **65**(3-4), 525-535. DOI: 10.1016/j.compscitech.2004.08.005. ISSN 02663538. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0266353804002027>

25. THYAVIHALLI GIRIJAPPA, Yashas Gowda et al., 2019. Natural Fibers as Sustainable and Renewable Resource for Development of Eco-Friendly Composites: A Comprehensive Review. *Frontiers in Materials*. **6**. DOI: 10.3389/fmats.2019.00226. ISSN 2296-8016. Dostupné také z: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmats.2019.00226/full>
26. SABA, Naheed et al., 2015. Recent advances in epoxy resin, natural fiber-reinforced epoxy composites and their applications. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. **35**(6), 447-470. DOI: 10.1177/0731684415618459. ISSN 0731-6844. Dostupné také z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0731684415618459>
27. WU, Change et al., 2019. Mechanical properties and impact performance of silk-epoxy resin composites modulated by flax fibres. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. **117**, 357-368. DOI: 10.1016/j.compositesa.2018.12.003. ISSN 1359835X. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359835X18304718>
28. KINLOCH, A. J. et al., 2015. Tough, natural-fibre composites based upon epoxy matrices. *Journal of Materials Science*. **50**(21), 6947-6960. DOI: 10.1007/s10853-015-9246-z. ISSN 0022-2461. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s10853-015-9246-z>
29. RIBEIRO, Aline et al., 2019. Fire exposure behavior of epoxy reinforced with jute fiber applied to ceramic tiles for a ventilated facade system. *Materials Research*. **22**(suppl 1). DOI: 10.1590/1980-5373-mr-2018-0885. ISSN 1980-5373
30. REISS, Heinz, Slab shaped sound absorbing element for use under soffits. Evropský patent. EP0575710. Uděleno 17.09.1997
31. LENFELD, Petr et al., *Biokompozit s PLA matricí a vlákny kokosu*. Česká republika. 25311 Užitný vzor. Zapsáno 06.05.2013.
32. LENFELD, Petr et al., *Biokompozit s PLA matricí a vlákny konopí*. Česká republika. 25312 Užitný vzor. Zapsáno 06.05.2013.
33. LENFELD, Petr et al., *Biokompozit s PLA matricí a vlákny sóji*. Česká republika. 25314 Užitný vzor. Zapsáno 06.05.2013.
34. TUSNIM, J., N.S. JENIFAR a M. HASAN, 2018. Properties of Jute and Sheep Wool Fiber Reinforced Hybrid Polypropylene Composites. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. **438**. DOI: 10.1088/1757-899X/438/1/012029. ISSN 1757-899X. Dostupné také z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/438/1/012029>
35. MANGAT, Amarveer Singh et al., 2018. Experimental investigations on natural fiber embedded additive manufacturing-based biodegradable structures for biomedical applications. *Rapid Prototyping Journal*. **24**(7), 1221-1234. DOI: 10.1108/RPJ-08-2017-0162. ISSN 1355-2546. Dostupné také z: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/RPJ-08-2017-0162/full/html>

36. RAHMAN, Md Rezaur et al., 2017. Biocomposite Materials and Its Applications in Acoustical Comfort and Noise Control. *Green Biocomposites*. Cham: Springer International Publishing, 247-259. Green Energy and Technology. DOI: 10.1007/978-3-319-49382-4_11. ISBN 978-3-319-49381-7. Dostupné také z: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-49382-4_11
37. MAIA PEDERNEIRAS, Cinthia, Rosário VEIGA a Jorge DE BRITO, 2019. Rendering Mortars Reinforced with Natural Sheep's Wool Fibers. *Materials*. **12**(22). DOI: 10.3390/ma12223648. ISSN 1996-1944. Dostupné také z: <https://www.mdpi.com/1996-1944/12/22/3648>
38. MANIVANNAN, J et al., 2019. Tensile and Hardness Properties of Sheep Wool Fiber Reinforced Polyester Composite. In: *Materials Science Forum*. **969**, s. 266-270. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.969.266. ISSN 1662-9752. Dostupné také z: <https://www.scientific.net/MSF.969.266>
39. FLOREA, Iacob a Daniela Lucia MANEA, 2019. Analysis of Thermal Insulation Building Materials Based on Natural Fibers. In: *Procedia Manufacturing*. **32**, s. 230-235. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.02.207. ISSN 23519789. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2351978919302410>
40. GUNA, Vijaykumar et al., Engineering Sustainable Waste Wool Biocomposites with High Flame Resistance and Noise Insulation for Green Building and Automotive Applications. *Journal of Natural Fibers*. 1-11. DOI: 10.1080/15440478.2019.1701610. ISSN 1544-0478. Dostupné také z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15440478.2019.1701610>
41. SHAVANDI, Amin a M. Azam ALI, 2019. Keratin based thermoplastic biocomposites: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. **18**(2), 299-316. DOI: 10.1007/s11157-019-09497-x. ISSN 1569-1705. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s11157-019-09497-x>
42. BHARATH, K.N., G.B. MANJUNATHA a K. SANTHOSH, 2019. Failure analysis and the optimal toughness design of sheep-wool reinforced epoxy composites. *Failure Analysis in Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*. Elsevier, 97-107. DOI: 10.1016/B978-0-08-102293-1.00005-X. ISBN 9780081022931. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B978008102293100005X>
43. DUNNE, R, D DESAI a R SADIKU, 2017. A Review of the Factors that Influence Sound Absorption and the Available Empirical Models for Fibrous Materials. *Acoustics Australia*. **45**(2), 453-469. DOI: 10.1007/s40857-017-0097-4. ISSN 0814-6039. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s40857-017-0097-4>
44. STAPULIONIENĖ, Rūta, Saulius VAITKUS a Sigitas VĖJELIS, 2017. Development and Research of Thermal-Acoustical Insulating Materials Based on Natural Fibres and Polylactide Binder. In: *Materials Science Forum*. **908**, s. 123-128. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.908.123. ISSN 1662-9752. Dostupné také z: <https://www.scientific.net/MSF.908.123>

45. PARLATO, Monica C.M. a Simona M.C. PORTO, 2020. Organized Framework of Main Possible Applications of Sheep Wool Fibers in Building Components. *Sustainability*. **12**(3). DOI: 10.3390/su12030761. ISSN 2071-1050. Dostupné také z: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/3/761>
46. BORLEA (MUREȘAN), Simona Ioana et al., 2020. Innovative Use of Sheep Wool for Obtaining Materials with Improved Sound-Absorbing Properties. *Materials*. **13**(3). DOI: 10.3390/ma13030694. ISSN 1996-1944. Dostupné také z: <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/3/694>
47. TĂMAȘ-GAVREA, Daniela-Roxana et al., 2020. A Novel Acoustic Sandwich Panel Based on Sheep Wool. *Coatings*. **10**(2). DOI: 10.3390/coatings10020148. ISSN 2079-6412. Dostupné také z: <https://www.mdpi.com/2079-6412/10/2/148>
48. DIXIT, Savita et al., 2017. Natural Fibre Reinforced Polymer Composite Materials - A Review. *Polymers from Renewable Resources*. **8**(2), 71-78. ISSN 2041-2479. Dostupné z: doi:10.1177/204124791700800203
49. KUMAR, Rajiv et al., 2018. Industrial applications of natural fibre-reinforced polymer composites – challenges and opportunities. *International Journal of Sustainable Engineering*. **12**(3), 212-220. ISSN 1939-7038. Dostupné z: doi:10.1080/19397038.2018.1538267
50. PENNACCHIO, R. et al., 2017. Fitness: Sheep-wool and Hemp Sustainable Insulation Panels. *Energy Procedia*. **111**, 287-297. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.03.030. ISSN 18766102. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1876610217300528>
51. HEPWORTH, D. G. et al., 2000. The manufacture and mechanical testing of thermosetting natural fibre composites. *Journal of Materials Science*. **35**(2), 293-298. ISSN 00222461. Dostupné z: doi:10.1023/A:1004784931875
52. Woolight Firewire Sustainable Surfboards, 2021. *The Surfers Online Marketplace* [online]. [cit. 2021-4-1]. Dostupné z: <https://surfbunker.com/blog/woolight-firewire-sustainable-surfboards>
53. FOJTL, Ladislav et al., 2017. Manufacturing and Mechanical Characterization of Bio-Based Laminates and Sandwich Structures. In: *Materials Science Forum*. **891**, s. 542-546. ISSN 1662-9752. Dostupné z: doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.891.542
54. Hembury Chair, 2018. *Solidwool* [online]. [cit. 2021-4-1]. Dostupné z: <https://www.solidwool.com/chair>
55. CHAVAN, Datta. S. et al., 2017. Fabrication of wind turbine from sheep wool. 2017 *International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)*. IEEE, 3099-3103. ISBN 978-1-5386-1887-5. Dostupné z: doi:10.1109/ICECDS.2017.8390026

56. Soundproofing: Thermafleece Ultrawool- Environmentally friendly Acoustic Insulation, 2003 - 2011. In: *Sound Service* [online]. Oxford: Sound Service Oxford [cit. 2020-11-16]. Dostupné z: http://www.soundservice.co.uk/thermafleece_sheeps_wool_insulation.html
57. Thermafleece UltraWool – High Density Sheep's Wool, 2014. *Thermafleece: Nature's finest insulation* [online]. Soulands Gate, Dacre, Penrith, Cumbria: Eden Renewable Innovations [cit. 2020-11-16]. Dostupné z: <https://www.thermafleece.com/product/thermafleece-ultrawool-high-density-sheep-s-wool>
58. MADSEN, Bo a Hans LILHOLT, 2003. Physical and mechanical properties of unidirectional plant fibre composites—an evaluation of the influence of porosity. *Composites Science and Technology*. **63**(9), 1265-1272. ISSN 02663538. Dostupné z: doi:10.1016/S0266-3538(03)00097-6
59. BLEDZKI, A. Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in Polymer Science*. **24**(2), 221-274. ISSN 00796700. Dostupné: doi:10.1016/S0079-6700(98)00018-5
60. GAFORM R30, rychlá licí PUR hmota, bal. 1 kg (0,5 kg složky A + 0,5 kg složky B), 2019. *Levné tmely* [online]. [cit. 2021-4-1]. Dostupné z: <https://www.levnetmely.cz/soubory/tds/lici-pryskyrice/gaform-r30-1-1.pdf>
61. Epox G20, 100 g (včetně tužidla), 2019. *Levné tmely* [online]. [cit. 2021-4-1]. Dostupné z: <https://www.levnetmely.cz/soubory/tds/transparentni-lici/epox-g20.pdf>
62. GPE 100, 1 kg (polyesterová transparentní), 2019. *Levné tmely* [online]. [cit. 2021-4-1]. Dostupné z: <https://www.levnetmely.cz/soubory/tds/gpe-100.pdf>
63. GAFORM R55, středně rychlá licí PUR hmota, bal. 1 kg, (0,5 kg složky A + 0,5 kg složky B), 2019. *Levné tmely* [online]. [cit. 2021-4-1]. Dostupné z: <https://www.levnetmely.cz/soubory/tds/lici-pryskyrice/gaform-r55.pdf>
64. Separátor V11, 0,5 l, 2019. *Levné tmely* [online]. [cit. 2021-4-1]. Dostupné z: <https://www.levnetmely.cz/wp-content/uploads/2020/06/separ%C3%A1tor-V11.pdf>
65. Izolační pásy. *Naturwool* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.naturwool.cz/izolace-z-ovci-vlny/izolacni-pasy/>
66. ČSN EN ISO 14125. Vlákný vyztužené plastové kompozity - Stanovení ohybových vlastností. Praha: Český normalizační institut, 1999.
67. Počet hospodářských zvířat - mezikrajské srovnání, 2021. Český statistický úřad [online]. [cit. 2021-4-1]. Dostupné z: https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jspx?_af=vystup-objekt&pvo=ZEM07B&z=T&f=TABULKA&skupId=2746&katalog=30840&pvo=ZEM07B&c=v3~2_RP2020MP04DP01
68. KRŮŽ, Michal, 2014. *Příručka pro zkoušky elektrotechniků: požadavky na základní odbornou způsobilost*. 10., aktualiz. vyd. Praha: IN-EL. Elektro (IN-EL). ISBN 978-80-87942-01-7.

69. NOVÝ, Richard, 2009. *Hluk a chvění*. Vyd. 3. V Praze: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-04347-9.
70. VAŠINA, Martin et al., 2019. A Study of Factors Influencing Sound Absorption Properties of Porous Materials. *Manufacturing Technology*. **19**(1), 156-160. ISSN 12132489. Dostupné z: doi:10.21062/ujep/261.2019/a/1213-2489/MT/19/1/156
71. PETRÁK, Peter, 2015. *Hluk a vibrácie v dopravnej technike*. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave. ISBN 978-80-227-4499-7.
72. SKOTNICOVÁ, Iveta, Miloslav ŘEZÁČ a Jiří VAVERKA, 2006. *Odhlučnění staveb*. Brno: ERA. Stavíme. ISBN 80-736-6070-9.
73. Bezpečnost a ochrana zdraví při práci: státní odborný dozor nad bezpečností práce, 2020. Ostrava: Sagit. ÚZ. ISBN 978-80-7488-398-9.
74. MONKOVA, Katarina et al., 2021. Mechanical Vibration Damping and Compression Properties of a Lattice Structure. *Materials*. **14**(6). ISSN 1996-1944. Dostupné z: doi:10.3390/ma14061502
75. ČSN EN ISO 20344, Osobní ochranné prostředky - Metody zkoušení obuvi, 2012. Praha: Český normalizační institut.
76. ČSN 36 0011-2, Měření osvětlení prostorů - Část 2: Měření denního osvětlení. Praha: Český normalizační institut, 1999.
77. Mzdy, náklady práce, 2021. *Český statistický úřad* [online]. [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/xz/mzdy-xz>
78. Lepidla, Lepící Tmely. *Levné tmely* [online]. [cit. 2021-4-2]. Dostupné z: <https://www.levnetmely.cz/kategorie/lepidla-lepici-tmely/>
79. Epox G20. *Levné tmely* [online]. [cit. 2021-4-2]. Dostupné z: <https://www.levnetmely.cz/kategorie/transparentni-pryskyrice/epoxidove-transparentni-pryskyrice/epox-g20/>
80. Gpe 100, 2021. *Levné tmely* [online]. [cit. 2021-4-2]. Dostupné z: https://www.levnetmely.cz/?s=gpe+100&post_type=product&product_cat=0
81. Sekaná skelná vlákna 0,2 mm., 2021. *Havel Composites* [online]. [cit. 2021-4-2]. Dostupné z: <https://www.havel-composites.com/cs/produkty/sekana-skelna-vlakna-0-2-mm-545-4374>
82. Uhlíková vlákna sekaná 3mm., 2021. *Havel Composites*. [online]. [cit. 2021-4-2]. Dostupné z: <https://www.havel-composites.com/cs/produkty/uhlikova-vlakna-sekana-3mm-2747-4807>

83. Bavlněná vlákna mletá - 0,5 mm., 2021. *Havel Composites*. [online]. [cit. 2021-4-2]. Dostupné z: <https://www.havel-composites.com/cs/produkty/bavlnena-vlakna-mleta-0-5-mm-540-7387>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | | |
|-----------|------------------------|---|
| a | [m.s ⁻²] | Zrychlení |
| a_0 | [mm] | Tloušťka vzorku |
| b_0 | [mm] | Šířka vzorku |
| c | [m.s ⁻¹] | Rychlost zvuku v prostředí |
| c | [N.s.m ⁻¹] | Viskózní koeficient tlumení |
| E_i | [MPa] | Modul pružnosti v ohybu (Youngův modul) |
| F | [N] | Síla |
| f | [Hz] | Frekvence |
| F_D | [N] | Dolní mez zatěžující síly |
| F_H | [N] | Horní mez zatěžující síly |
| F_{max} | [N] | Maximální síla |
| h_0 | [mm] | Výška průřezu středu vzorku |
| I | [W.m ⁻²] | Intenzita zvuku |
| k | [N.m ⁻¹] | Tuhost materiálu |
| k_0 | [-] | Komplexní vlnové číslo |
| L | [dB] | Hladina intenzity zvuku |
| L, l | [mm] | Délka vzorku |
| l_p | [mm] | Rozteč podpor |
| m | [g] | Hmotnost |
| n | [-] | Počet vzorků |
| p | [Pa] | Akustický tlak |
| P | [W] | Akustický výkon zdroje |
| R | [m ² .K/W] | Tepelný odpor |

| | | |
|----------------------|------------------------|---|
| R | [-] | Vzduchová neprůzvučnost |
| r | [-] | Činitel odrazu akustického tlaku |
| r_i | [-] | Imaginární složka činitele odrazu akustického tlaku |
| r_r | [-] | Reálná složka činitele odrazu akustického tlaku |
| s | [mm] | Hodnota deformace |
| S | [m ²] | Celková uzavřená plocha |
| \bar{s} | [-] | Směrodatná odchylka |
| S_0 | [mm ²] | Plocha průřezu vzorku |
| s_p | [mm] | Šířka vzorku |
| T | [°C] | Teplota |
| T | [K] | Termodynamická teplota |
| T_d | [-] | Přenos mechanického kmitání |
| t | [s] | Čas |
| U | [W/m ² .K] | Součinitel prostupu tepla |
| u | [m] | Akustická výchylka |
| W_M | [Nmm] | Práce potřebná k maximálnímu průhybu vzorku |
| x | [mm] | Vzdálenost |
| \bar{x} | [-] | Aritmetický průměr |
| z | [N.s.m ⁻³] | Akustická impedance |
| Z | [N.s.m ⁻³] | Vlnový odpor prostředí |
| α | [-] | Činitel zvukové pohltivosti |
| β | [-] | Činitel zvukové odrazivosti |
| \mathcal{E}_{Fmax} | [%] | Poměrné prodloužení |
| λ | [m] | Vlnová délka |

| | | |
|------------------|--------------------|--|
| μ | [-] | Poisonova konstanta |
| η | [-] | Variační koeficient |
| $\bar{\sigma}_M$ | [MPa] | Pevnost v ohybu |
| τ | [-] | Činitel zvukové průzvučnosti |
| ω | [s ⁻¹] | Úhlová frekvence |
| <i>ASTM</i> | [-] | Americká státní norma |
| <i>ČSN</i> | [-] | Česká státní norma |
| <i>EP</i> | [-] | Epoxidová pryskyřice |
| <i>EPS</i> | [-] | Pěnový polystyren |
| <i>NRC</i> | [-] | Koeficient redukce hluku |
| <i>PU</i> | [-] | Polyuretanová pryskyřice |
| <i>PUR</i> | [-] | Pěnový polyuretan |
| <i>SDOF</i> | [-] | Lineární oscilátor s jedním stupněm volnosti |
| <i>UP</i> | [-] | Polyesterová pryskyřice |
| % | [-] | Procenta |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obr. 1: Schématické rozdělení vláken [2] | 13 |
| Obr. 2: Schématické rozdělení kompozitních materiálů [3] | 16 |
| Obr. 3: Struktura ovčího vlákna. [6]..... | 19 |
| Obr. 4: Technologie máčení před praním ovčí vlny (foto autora) | 21 |
| Obr. 5: Technologie praní ovčí vlny (foto autora) | 22 |
| Obr. 6: Tepelná vodivost malt plněných vlákny z ovčí vlny. [12]..... | 26 |
| Obr. 7: SEM povrchu kompozitu TLK – polyester B po rázové zkoušce [24]..... | 29 |
| Obr. 8: Deskový izolační prvek a způsob zavěšení na stropu [30] | 31 |
| Obr. 9: a) Vypraná ovčí vlna, b) konopná vlákna, c) panel Fitnes. [50] | 37 |
| Obr. 10: Kompozitní surfovací prkno značky Woolight [52] | 38 |
| Obr. 11: Židle Hembury [54]..... | 39 |
| Obr. 12: Větrná turbína s lopatkami z kompozitu ovčí vlny [55] | 40 |
| Obr. 13: Akustický izolační materiál Thermaflece [56]..... | 41 |
| Obr. 14: Konfokální mikroskop Keyence Laser Microscope | 46 |
| Obr. 15: Ovčí rouno před mletím | 47 |
| Obr. 16: Ovčí rouno po mletí zvětšení 1000 μm | 47 |
| Obr. 17: Ovčí vlákna po mletí zvětšení 1000 μm | 48 |
| Obr. 18: Distribuce velikosti délek vláken | 48 |
| Obr. 19: Distribuce velikosti průměrů vláken při zvětšení 200 μm | 49 |
| Obr. 20: Uspořádání statické zkoušky „tříbodovým ohybem“ [66]..... | 54 |
| Obr. 21: Zkušební tělesa UP 0 %, EP 3 % a EP 0 % před měřením. | 54 |
| Obr. 22: Univerzální zkušební stroj ZWICK 1456 | 55 |
| Obr. 23: Porovnání naměřených hodnot modulu pružnosti E_i | 57 |
| Obr. 24: Řádkovací elektronový mikroskop Aspek Psem Explorer | 58 |
| Obr. 25: EP 0 %, zvětšení 500 μm | 58 |
| Obr. 26: EP 3 %, zvětšení 100 a 500 μm | 59 |
| Obr. 27: UP 0 %, zvětšení 500 μm | 59 |
| Obr. 28: UP 3 %, zvětšení 100 μm | 60 |
| Obr. 29: PU ^a 0 %, zvětšení 500 μm | 60 |
| Obr. 30: PU ^a 3 %, zvětšení 500 μm | 61 |
| Obr. 31: PU ^b 0 %, zvětšení 500 μm | 61 |
| Obr. 32: PU ^b 3 %, zvětšení 100 μm , 500 μm | 62 |
| Obr. 33: PU ^b 20 %, zvětšení 500 μm | 62 |
| Obr. 34: Digitální úchylkoměr ID-H Mitutoyo | 63 |
| Obr. 35: Detail měření výšky vlákna na Digitální úchylkoměr ID-H Mitutoyo | 64 |
| Obr. 36: Diagram měření minimálního až maximálního průměru vláken | 64 |
| Obr. 37: Rozdělení na vlákna I. typu $\varnothing \leq 0,04 \text{ mm}$ a vlákna II. typu $\varnothing > 0,04 \text{ mm}$. | 65 |
| Obr. 38: Shluková analýza, Wardova metoda..... | 65 |
| Obr. 39: Počet ovcí v roce 2020 v krajích České republiky. [67] | 66 |
| Obr. 40: Měřicí aparatura Concept 90 Novocontrol | 67 |
| Obr. 41: Detail měřicí buňky BDS 1200 | 68 |
| Obr. 42: Teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity σ_{dc} vzorky EP s přídatkem 5 % ovčích vláken: ■ první měření, □ druhé | |

| | | |
|---|---|----|
| měření, ● třetí měření s vlastní elektrodou z grafitu, ○ čtvrté měření s vlastní elektrodou z grafitu..... | s | 70 |
| Obr. 43: Teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity σ_{dc} vzorků EP s přídavkem 5 % ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou naměřené při prvním ohřevu: ■ vzorek A, ● vzorek B, ▲ vzorek C, ▼ vzorek D... | | 72 |
| Obr. 44: Teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity σ_{dc} vzorků EP s přídavkem 5 % ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou naměřené při druhém ohřevu: ■ vzorek A, ● vzorek B, ▲ vzorek C, ▼ vzorek D | | 72 |
| Obr. 45: Teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity σ_{dc} vzorků EP s přídavkem 5 % ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou naměřené při třetím ohřevu: ■ vzorek A, ● vzorek B, ▲ vzorek C, ▼ vzorek D | | 73 |
| Obr. 46: Teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity σ_{dc} vzorky EP s přídavkem 5 % ovčích vláken (vzorek A) s grafitovou vlastní elektrodou: ■ první ohřev, □ druhý ohřev, ⊕ třetí ohřev | | 73 |
| Obr. 47: Teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity σ_{dc} vzorky EP s grafitovou vlastní elektrodou s postupně rostoucí maximální teplotou při měření: ■ 80 °C, ● 90 °C, ▲ 100 °C, ▼ 110 °C, ◆ 120 °C, ◀ 130 °C, ▶ 140 °C, □ 150 °C, ○ 160 °C, △ 170 °C, ▽ 180 °C, ◁ 190 °C, ▷ 200 °C | | 75 |
| Obr. 48: Teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity σ_{dc} vzorky EP s přídavkem 5 % ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou s postupně rostoucí maximální teplotou při měření: ■ 80 °C, ● 90 °C, ▲ 100 °C, ▼ 110 °C, ◆ 120 °C, ◀ 130 °C, ▶ 140 °C, □ 150 °C, ○ 160 °C, △ 170 °C, ▽ 180 °C, ◁ 190 °C, ▷ 200 °C..... | | 76 |
| Obr. 49: Teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity σ_{dc} vzorky EP s přídavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při třetím měření: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ◀ 5 %, ▶ 10 %, a při prvním měření □ 0%, ○ 1 %, △ 2 %, ▽ 3 %, ◆ 4 %, ◁ 5 %, ▷ 10 % | | 77 |
| Obr. 50: Teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity σ_{dc} vzorky UP s přídavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při třetím měření: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2%, ▼ 3%, ◆ 4%, ◀ 5%, a při prvním měření □ 0%, ○ 1%, △ 2%, ▽ 3%, ◆ 4% , ◁ 5% | | 78 |
| Obr. 51: Teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity σ_{dc} vzorku PU s přídavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při třetím měření: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2%, ▼ 3%, ◆ 5%, při prvním měření □ 0%, ○ 1%, △ 2%, ▽ 3%, ◆ 5% , a při druhém měření: ⊕ 3% | | 79 |
| Obr. 52: Teplotní závislosti jednosměrné elektrické konduktivity σ_{dc} vzorky LATEX s přídavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při třetím měření: ■ 0 %, ● 3 %, ▲ 4 %, ▼ 5 %, ◆ 10 %, při prvním měření □ 0 %, ○ 3 %, △ 4 %, ▽ 5 %, ◆ 10 % | | 80 |
| Obr. 53: Frekvenční závislosti střídavé elektrické konduktivity σ_{ac} vzorky EP s přídavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C: ■ 0 %, ● 2 %, ▲ 3 %, ▼ 5 %, ◆ 10 % | | 83 |
| Obr. 54: Frekvenční závislosti střídavé elektrické konduktivity σ_{ac} vzorku PU s přídavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ◀ 5 %, ▶ 10 % | | 83 |

| | |
|--|----|
| Obr. 55: Frekvenční závislosti střídavé elektrické konduktivity σ_{ac} vzorky UP s přídavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ◀ 5 % | 84 |
| Obr. 56: Frekvenční závislosti střídavé elektrické konduktivity σ_{ac} vzorky LATEX s přídavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C: ■ 0 %, ● 3 %, ▲ 4 %, ▼ 5 %, ◆ 10 % | 84 |
| Obr. 57: Frekvenční závislosti permitivity ϵ' vzorky EP s přídavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C: ■ 0 %, ● 2 %, ▲ 3 %, ▼ 5 %, ◆ 10 % | 85 |
| Obr. 58: Frekvenční závislosti permitivity ϵ' vzorku PU s přídavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ◀ 5 %, ▶ 10 % | 85 |
| Obr. 59: Frekvenční závislosti permitivity ϵ' vzorky UP s přídavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ◀ 5 % | 86 |
| Obr. 60: Frekvenční závislosti permitivity ϵ' vzorky LATEX s přídavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C: ■ 0 %, ● 3 %, ▲ 4 %, ▼ 5 %, ◆ 10 % | 86 |
| Obr. 61: Frekvenční závislosti ztrátového činitele $tg\delta$ vzorky EP s přídavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C: ■ 0 %, ● 2 %, ▲ 3 %, ▼ 5 %, ◆ 10 % | 88 |
| Obr. 62: Frekvenční závislosti ztrátového činitele $tg\delta$ vzorky PU EP s přídavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ◀ 5 %, ▶ 10 % | 88 |
| Obr. 63: Frekvenční závislosti ztrátového činitele $tg\delta$ vzorky UP EP s přídavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ◀ 5 % | 89 |
| Obr. 64: Frekvenční závislosti ztrátového činitele $tg\delta$ vzorky LATEX EP s přídavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při 80 °C: ■ 0 %, ● 3 %, ▲ 4 %, ▼ 5 %, ◆ 10 % | 89 |
| Obr. 65: Teplotní závislosti střídavé elektrické konduktivity σ_{ac} vzorky EP s přídavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz: ■ 0 %, ● 2 %, ▲ 3 %, ▼ 5 %, ◆ 10 % | 91 |
| Obr. 66: Teplotní závislosti střídavé elektrické konduktivity σ_{ac} vzorky LATEX s přídavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz: ■ 0 %, ● 3 %, ▲ 4 %, ▼ 5 %, ◆ 10 % | 91 |
| Obr. 67: Teplotní závislosti střídavé elektrické konduktivity σ_{ac} vzorky UP s přídavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ◀ 5 % | 92 |
| Obr. 68: Teplotní závislosti střídavé elektrické konduktivity σ_{ac} vzorky PU s přídavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ◀ 5 %, ▶ 10 % | 92 |
| Obr. 69: Teplotní závislosti permitivity ϵ' vzorky EP s přídavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz: ■ 0 %, ● 2 %, ▲ 3 %, ▼ 5 %, ◆ 10 % | 93 |

| | |
|---|-----|
| Obr. 70: Teplotní závislosti permitivity ϵ' vzorky LATEX s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz: ■ 0 %, ● 3 %, ▲ 4 %, ▼ 5 %, ◆ 10 % | 94 |
| Obr. 71: Teplotní závislosti permitivity ϵ' vzorky UP s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ◀ 5 % | 94 |
| Obr. 72: Teplotní závislosti permitivity ϵ' vzorky PU s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ◀ 5 %, ▶ 10 % | 95 |
| Obr. 73: Teplotní závislosti ztrátového činitele $\text{tg}\delta$ vzorky EP s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz: ■ 0 %, ● 3 %, ▲ 5 %, ▼ 10 % | 96 |
| Obr. 74: Teplotní závislosti ztrátového činitele $\text{tg}\delta$ vzorky LATEX s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz: ■ 0 %, ● 3 %, ▲ 4 %, ▼ 5 %, ◆ 10 % | 96 |
| Obr. 75: Teplotní závislosti ztrátového činitele $\text{tg}\delta$ vzorky UP s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ◀ 5 % | 97 |
| Obr. 76: Teplotní závislosti ztrátového činitele $\text{tg}\delta$ vzorky PU s přidavkem ovčích vláken s grafitovou vlastní elektrodou při frekvenci 1kHz: ■ 0 %, ● 1 %, ▲ 2 %, ▼ 3 %, ◆ 4 %, ◀ 5 %, ▶ 10 % | 97 |
| Obr. 77: Šíření zvuku od zdroje ve formě vlnoploch [69] | 98 |
| Obr. 78: Princip měření činitele zvukové pohltivosti v Kundtově impedanční trubici metodou přenosové funkce [70] | 106 |
| Obr. 79: Schéma zapojení aparatury pro měření činitele zvukové pohltivosti [70].... | 106 |
| Obr. 80: Fotografie měřicí aparatury pro měření činitele zvukové pohltivosti..... | 106 |
| Obr. 81: Kundtova impedanční trubice | 107 |
| Obr. 82: Naměřené hodnoty zvukové pohltivosti EP 3 % | 108 |
| Obr. 83: Naměřené hodnoty zvukové pohltivosti Latex 0 % | 109 |
| Obr. 84: Naměřené hodnoty zvukové pohltivosti UP 5 % | 110 |
| Obr. 85: Naměřené hodnoty zvukové pohltivosti UP 10 % | 110 |
| Obr. 86: Naměřené hodnoty zvukové pohltivosti PU ^a 2 % | 111 |
| Obr. 87: Schéma zapojení měřicí aparatury pro měření přenosového útlumu [74] | 113 |
| Obr. 88: Fotografie aparatury pro měření přenosového útlumu [74] | 113 |
| Obr. 89: Fotografie aparatury pro měření přenosového útlumu vzorku EP 4 % před měřením | 114 |
| Obr. 90: Porovnání přenosu mechanického kmitání dle koncentrace ovčích vláken u EP | 115 |
| Obr. 91: Porovnání přenosu mechanického kmitání u matric EP, UP, PU | 116 |
| Obr. 92: Přístroj na stanovení propustnosti a absorpce vodní páry | 118 |
| Obr. 93: Luxmetr Voltcraft MS - 1300 | 122 |
| Obr. 94: Naměřené hodnoty činitele prostupu světla τ pro UP vzorky | 123 |
| Obr. 95: Naměřené hodnoty činitele prostupu světla τ pro EP vzorky | 123 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|-----|
| Tab. 1 Porovnání mechanických vlastností přírodních a skleněných vláken [3] | 14 |
| Tab. 2 Užité vlastnosti vlny plemen ovcí chovaných v České republice [5] | 17 |
| Tab. 3 Jemnost vláken ovčích vláken [5] | 18 |
| Tab. 4 Tepelně izolační vlastnosti přírodních a polymerních materiálů [8] | 23 |
| Tab. 5 Vlastnosti polyuretanové pryskyřice Gaform R30 (PU ^a) [60] | 50 |
| Tab. 6 Vlastnosti epoxidové pryskyřice EPOX G20 (EP) [61] | 50 |
| Tab. 7 Vlastnosti polyesterové pryskyřice GPE 100 (UP) [62] | 51 |
| Tab. 8 Vlastnosti polyuretanové pryskyřice Gaform R55 (PU ^b) [63] | 52 |
| Tab. 9 Vlastnosti izolačního pásu 100 Naturwool A 500 [65] | 53 |
| Tab. 10 Vyhodnocení hodnot pro vzorky EP 0 % | 55 |
| Tab. 11 Vyhodnocení hodnot pro vzorky EP 3 % | 56 |
| Tab. 12 Vyhodnocení hodnot pro vzorky PU ^a 0 % | 56 |
| Tab. 13 Vyhodnocení hodnot pro vzorky PU ^a 3 % | 56 |
| Tab. 14 Vyhodnocení hodnot pro vzorky UP 0 % | 56 |
| Tab. 15 Vyhodnocení hodnot pro vzorky UP 3 % | 56 |
| Tab. 16 Vyhodnocení hodnot pro vzorky PU ^b 0 % | 57 |
| Tab. 17 Vyhodnocení hodnot pro vzorky PU ^b 3 % | 57 |
| Tab. 18 Vyhodnocení hodnot pro vzorky PU ^b 20 % | 57 |
| Tab. 19 Plemena ovcí a průměry vláken vlny [5] | 66 |
| Tab. 20 Vyhodnocení hodnot <i>NRC</i> pro vzorky EP 0 až 5 % | 108 |
| Tab. 21 Vyhodnocení hodnot <i>NRC</i> pro vzorky Latex 0 % | 108 |
| Tab. 22 Vyhodnocení hodnot <i>NRC</i> pro vzorky UP 0 až 10 % | 109 |
| Tab. 23 Vyhodnocení hodnot <i>NRC</i> pro vzorky PU ^a 0 až 5 % | 111 |
| Tab. 24 Přenos mechanického kmitání <i>fR1</i> u matric EP, PU, UP s 0, 3, 5 % | 116 |
| Tab. 25 Naměřené hodnoty absorpce vodní páry u matric PU ^a a PU ^b | 118 |
| Tab. 26 Naměřené hodnoty propustnosti vodní páry u polyuretanové matrice | 120 |
| Tab. 27 Vypočtené hodnoty absorpce vodní páry, koeficientu vodní páry a propustnosti vodní páry u polyuretanové matrice | 120 |
| Tab. 28 Hodnoty činitele prostupu světla u vybraných materiálů při kolmém dopadu světla na daný materiál [76] | 122 |
| Tab. 29 Vypočtená cena desky z matric PU ^a , PU ^b , EP, UP bez plniva | 125 |
| Tab. 30 Vypočtená cena pro 3 % plniva | 126 |
| Tab. 31 Vypočtená cena pro 5 % plniva | 126 |
| Tab. 32 Vypočtená celková cena pro 3 % plniva | 126 |
| Tab. 33 Vypočtená celková cena pro 5 % plniva | 127 |

ODBORNÝ ŽIVOTOPIS AUTORA

Ing. Přemysl Strážnický

Centrum transferu technologií, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Narozen: 24. 11. 1982, Zlín, Česká republika

Vzdělání:

- 1998 – 2002** Střední průmyslová škola Zlín
Studijní obor: Strojírenství
Zaměření: Počítačové CAD/CAM
- 2009 – 2011** Úřad průmyslového vlastnictví ČR
Institut průmyslověprávní výchovy
- 2009 – 2012** Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická
Bakalářský studijní program: Procesní inženýrství
Studijní obor: Technologická zařízení
- 2012 – 2014** Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická
Magisterský studijní program: Procesní inženýrství
Studijní obor: Výrobní inženýrství
- 2014 – dosud** Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická
Doktorský studijní program: Procesní inženýrství
Studijní obor: Nástroje a procesy

Studijní stáž:

- 6/2019 – 7/2019** Slovenská technická univerzita v Bratislavě,
Fakulta materiálovotechnologická se sídlem v Trnavě

Pracovní zkušenosti:

- 1/2004 – 4/2010** ZPS Nástrojárna a.s., Flow Tech s.r.o.
Plánovač výroby
- 5/2010 – 12/2010** Flow Tech s.r.o.
Referent logistiky

- 1/2011 – dosud** Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Univerzitní institut,
Centrum transferu technologií
Specialista transferu technologií a licencí
Asistent patentového zástupce
- 2/2011 – 2/2012** Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR
Pilotní projekty EF Trans

Řešené projekty:

IGA/FT/2016/002 Výzkum polymerních kompozitních materiálů a nástrojů pro jejich zpracování

IGA/FT/2017/002 Výzkum polymerních kompozitních materiálů a nástrojů pro jejich zpracování a simulace

IGA/FT/2018/004 Výzkum, simulace a hodnocení polymerních a kompozitních materiálů a nástrojů pro jejich zpracování

PUBLIKAČNÍ AKTIVITY STUDENTA

1. STRÁŽNICKÝ, Přemysl, Soňa RUSNÁKOVÁ a Pavel MOKREJŠ, 2019. Animal fibers and their applications. In: Recenzovaný sborník příspěvků mezinárodní vědecké konference Mezinárodní Masarykova konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky 2019. Hradec Králové: MAGNANIMITAS, 10. ISBN 978-80-87952-31-3.
2. STRÁŽNICKÝ, Přemysl et al., 2020. The Technological Properties of Polymer Composites Containing Waste Sheep Wool Filler. Materials Science Forum. 994, 170-178. ISSN 1662-9752. Dostupné z: doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.994.170
3. SOUKALOVÁ, Radomila, Eva ŠVIRÁKOVÁ a Přemysl STRÁŽNICKÝ, 2016. Design stories, aneb, Kreativní inovace a problémy jejich transferu do praxe. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, FMK. ISBN 978-80-7454-637-2.
4. SOUKALOVÁ, Radomila a Přemysl STRÁŽNICKÝ, 2015. Marketing... je věda kreativní. Zlín: Radim Bačuvčik - VeRBuM. ISBN 978-80-87500-71-2.
5. ŠVIRÁKOVÁ, Eva et al., 2015. Inovace a tradice, kvalita a kvantita v projektovém managementu. Zlín: Radim Bačuvčik - VeRBuM. ISBN 978-808-7500-699.

Ing. Přemysl Strážnický

Zpracování a charakterizace přírodních kompozitů

Processing and Characterization of Natural Composites

Disertační práce

Vydala Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,
nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín.

Náklad: vyšlo elektronicky

Sazba: autor

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.

Rok vydání 2021