

Zpracování a charakterizace přírodních kompozitů

Ing. Přemysl Strážnický, Ph.D.

Teze disertační práce

Teze disertační práce

Zpracování a charakterizace přírodních kompozitů

Processing and Characterization of Natural Composites

Autor: **Ing. Přemysl Strážnický, Ph.D.**

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

© Ing. Přemysl Strážnický, Ph.D.

Vydala **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně** v edici **Teze 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

Plná verze disertační práce je dostupná v Knihovně UTB ve Zlíně.

ISBN 978-80-7678-009-5

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.....	8
SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	9
1. VLÁKNA	9
1.1 Vlákna jako výztuž polymerních materiálů	9
1.1.1 Druhy, zpracování a aplikace vláken.....	9
1.1.2 Živočišná vlákna.....	9
1.2 Kompozitní materiály	9
1.2.1 Základní rozdělení kompozitních materiálů	9
2. Kritické zhodnocení současného stavu z toho vyplývající cíle a hypotézy ..	10
3. Cíle disertační práce	11
4. Praktická část.....	13
4.1 Prototyp přírodního kompozitního materiálu, návrh tvaru a následná specifikace výrobních podmínek.....	13
4.1.1 Postup výroby testovacích vzorků.....	13
4.2 Zvolené metody testování.....	13
4.2.1 Statická zkouška tříbodovým ohybem.....	13
5. Elektrické a dielektrické vlastnosti kompozitů z ovčích vláken	14
5.1 Vliv obsahu ovčích vláken v různých matricích.....	14
5.1.1 Systém EP – ovčí vlákna	14
5.1.2 Systém UP – ovčí vlákna.....	14
5.1.3 Systém PU – ovčí vlákna.....	14
5.1.4 Systém LATEX – ovčí vlákna.....	14
6. Měření zvukové pohltivosti materiálů	15
6.1 Koeficient redukce hluku.....	16
7. Měření přenosu mechanického kmitání	18
7.1 Naměřené hodnoty	19
8. Měření propustnosti a absorpce vodní páry	21

8.1	Měření a výpočet absorpce vodní páry	21
8.2	Měření propustnosti vodní páry	21
9.	Měření činitele prostupu světla.....	23
9.1	Světelné ztráty při průchodu světla osvětlovacím otvorem	23
10.	Ekonomické zhodnocení.....	24
11.	PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU	26
12.	PŘÍNOS PRÁCE PRO PRAXI	26
13.	ZÁVĚR.....	27
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	30
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	32
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	35
	SEZNAM TABULEK.....	36
	ODBORNÝ ŽIVOTOPIS AUTORA	37
	PUBLIKAČNÍ AKTIVITY STUDENTA.....	39

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.

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 měřeními 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. Nespřadatelná i některá spřadatelná vlákna jsou používána jako výplňový materiál, pro výrobu netkaných textilií, popřípadě jsou upravovány tvarováním pro další použití především v pletařském průmyslu. [1]

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. Aktuálně se využívají vlákna přírodní a chemická. Přírodní vlákna vynikají zejména svou obnovitelností, a to jak u rostlinného, tak i živočišného původu. [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 nevykazuje dokonalost 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. [1]

1.1.2 Živočišná vlákna

Do této kategorie spadají vlákna, která jsou získávána nejčastěji ze srstí zvířat, jako například ovčí vlna, srst kozy angorské, kašmírské, srst velbloudí, králičí a zaječí. [1]

1.2 Kompozitní materiály

1.2.1 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 výztuže a matrice, ale také na geometrii výztuže. Základní rozdělení je tedy na vláknové kompozity a částicové (partikulární) kompozity. Podle velikosti příčného rozměru výztuže jsou rozděleny na makro kompozity, mikro kompozity a nano kompozity. Podrobnější členění kompozitních materiálů je na obrázku 2. [2]

2. 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.

3. 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 třibodovým 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.

4. Praktická část

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

4.1.1 Postup výroby testovacích vzorků

Pro přípravu kompozitního materiálu byl použit izolační pás vyrobený z rouna ovčích vláken, pomocí nůžek nastříhán a pomocí nožového mlýnu se síťovým třídičem FRITSCHE 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.

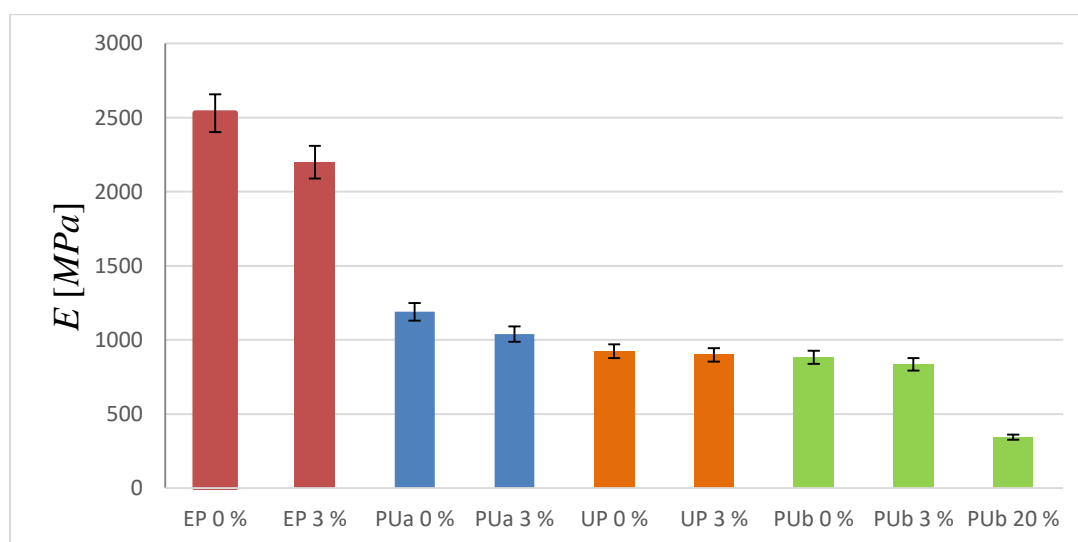
Při přípravě matric bylo v nádobách smícháno potřebné množství směsi pryskyřice a tvrdidla a vytvořeny vzorky bez použití plniva z ovčích vláken. Tyto vzorky jsou označeny „PU^{a,b} 0%“, „UP 0%“ a „EP 0%“. Dále byly připraveny plněné matrice s přidavkem 3 objemových procent plniva z ovčích vláken. Tyto vzorky jsou označeny „PU^{a,b} 3%“, „UP 3%“ a „EP 3%“. Příprava zkušebních vzorků byla provedena za pokojové teploty. Orientace plniva je v matricích náhodná a byla provedena ručně. Vzorky nebyly tepelně upraveny.

4.2 Zvolené metody testování

4.2.1 Statická zkouška tříbodovým ohybem

Vlákný vyztužený plastový kompozit - Stanovení ohybových vlastností dle ČSN EN ISO 14125 [3]

Porovnáním naměřených hodnot (viz obr. 1) je vidět vliv na modul elasticity (E). Přidáním ovčího vlákna modul elasticity klesá.



Obr. 1: Porovnání naměřených hodnot modulu pružnosti E_i

5. Elektrické a dielektrické vlastnosti kompozitů z ovčích vláken

5.1 Vliv obsahu ovčích vláken v různých matricích

Měření elektrických a dielektrických parametrů ve stejnosměrném elektrickém poli bylo provedeno u 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 %.

5.1.1 Systém EP – ovčí vlákna

Vzorky s obsahem 1 % a 4 % ovčích vláken mají sice ve srovnání se vzorkem bez přídavku 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.

5.1.2 Systém UP – ovčí vlákna

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.

5.1.3 Systém PU – ovčí vlákna

Při tomto systému má přídavek ovčích vláken výrazný vliv na hodnotu jednosměrné elektrické konduktivity. Je pozorovatelný pokles elektroizolační schopnosti kompozitů oproti čisté matrici PU. Nejhorší elektroizolační vlastnosti má vzorek s přídavkem 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.

5.1.4 Systém LATEX – ovčí vlákna

Při tomto systému má přídavek ovčích vláken výrazný vliv na hodnotu jednosměrné elektrické konduktivity. Elektroizolační schopnosti výrazně klesají při přidání 3 %. Dalším růstem přídavku ovčích vláken (4 %, 5 %, 10 %) elektroizolační schopnosti opět rostou. Při 10 % při vyšších teplotách elektroizolační schopnosti kompozitu překonávají vlastnosti čisté matrice.

6. Měření zvukové pohltivosti materiálů

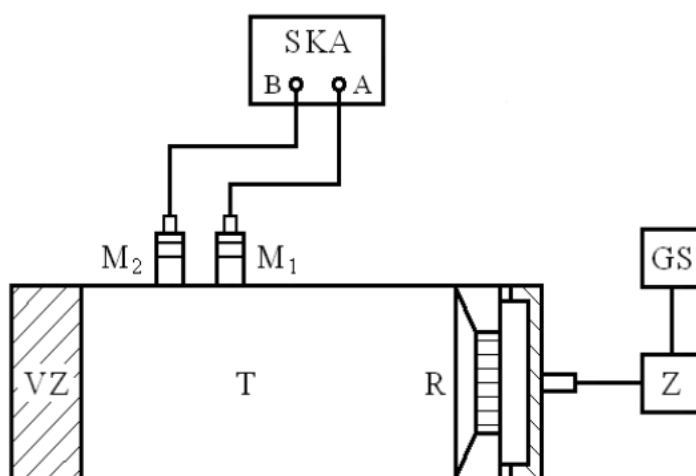
Měření činitele zvukové pohltivosti se realizuje na Kundtově impedanční trubici metodou přenosové funkce (viz obr. 2) podle normy ČSN ISO 10534-2. Na jednom konci trubice T je umístěn zkoumaný vzorek VZ a na druhém konci je umístěn reproduktor R, který je napájen generátorem signálu GS. Signál je následně 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:

$$\alpha = 1 - |r|^2 = 1 - r_r^2 - r_i^2, [4] \quad (1)$$

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:

$$r = \frac{H_{12} - H_I}{H_R + H_{12}} \cdot e^{2k_0 \cdot x_1 i}, [4] \quad (2)$$

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 multianalýzátoru Brüel & Kjær typu 3560-B-030, zesilovače Brüel & Kjær typu 2706 pro zesílení vstupního signálu a počítače pro ukládání naměřených dat. [4]



Obr. 2: Princip měření činitele zvukové pohltivosti v Kundtově impedanční trubici metodou přenosové funkce [4]

Materiálové vzorky, které byly využity pro měření akustický parametrů, vykazovaly lokální pohltivost u všech matic. 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 vlákem 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 $\alpha = 0,6$.

6.1 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.

$$NRC = \frac{1}{4} \cdot (\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}), [4] \quad (3)$$

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. 10 až 13 znamenají první dvě písmena označení matrice, číslice -0 označuje hmotnostní % ovčích vláken, další číslice _0 vzduchovou mezeru 0 cm (0, 10, 20 a 30 cm).

Tab. 1 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

Tab. 2 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

Tab. 3 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

Tab. 4 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

7. 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 [5].

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 [5].

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 [5].

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. 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 přidavné 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 pro měření zrychlení na obou stranách vzorků. [6]

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:

$$T_d = \frac{a_O}{a_I} = \frac{x_O}{x_I} = \sqrt{\frac{k^2 + (c\omega)^2}{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} = \sqrt{\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2}}, \quad [6] \quad (4)$$

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 (N.s/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:

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}} = \frac{c}{2m\omega_n}, [6] \quad (5)$$

$$r = \frac{\omega}{\omega_n} = \frac{\omega}{\sqrt{k/m}}, [6] \quad (6)$$

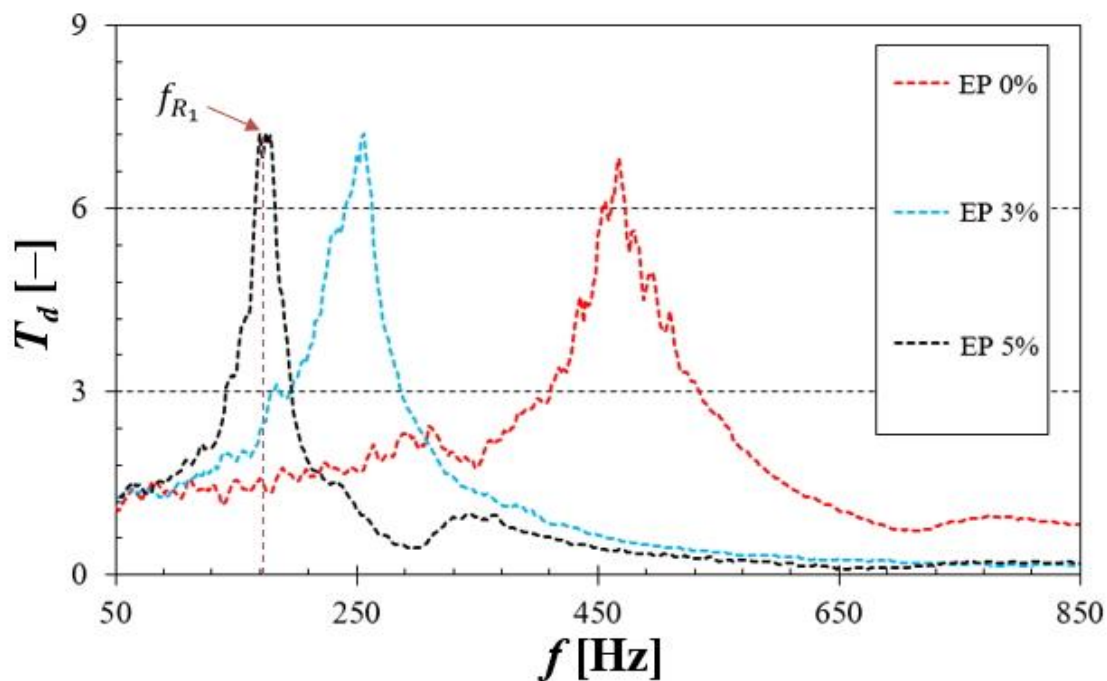
kde ω_n je netlumená kruhová frekvence [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$], která je úměrná druhé odmocnině poměru tuhosti materiálu k hmotnosti. Za podmínky $dT_d/d\zeta = 0$ v rovnici (17) je možné najít frekvenční poměr r_m :

$$r_m = \frac{\omega_R}{\omega_n} = \frac{2\pi f_{R1}}{\omega_n} = \frac{\sqrt{\sqrt{1+8\zeta^2}-1}}{2\zeta}, [6] \quad (7)$$

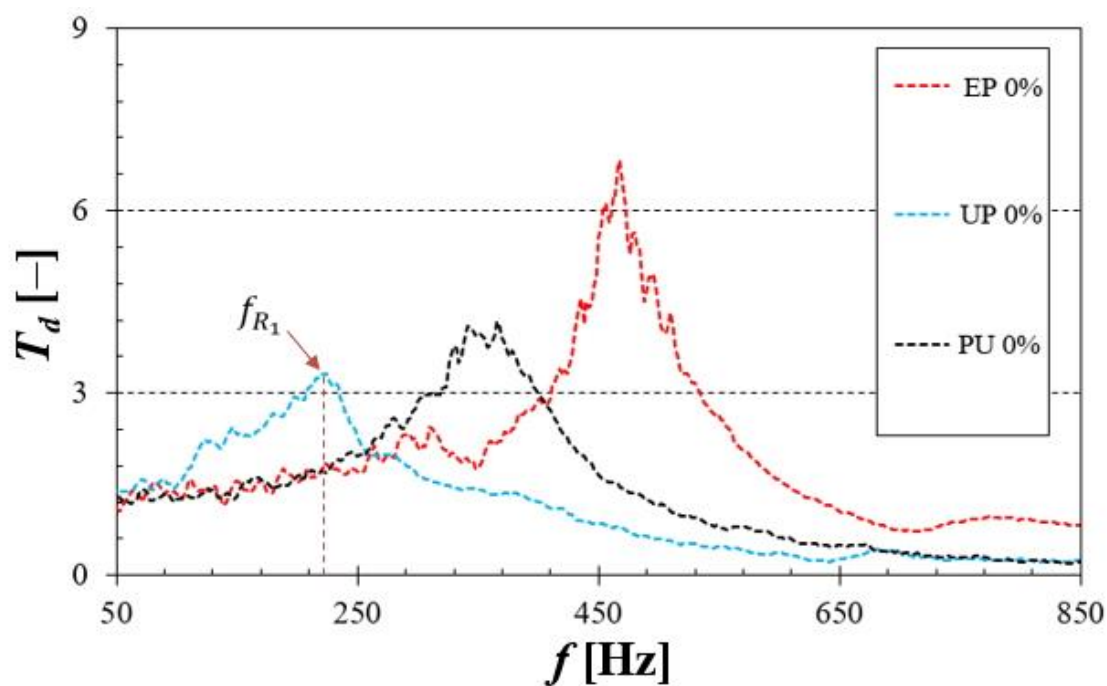
kde ω_R je kruhová frekvence [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$], při které přenositelnost posunutí dosáhne své maximální hodnoty, a f_{R1} [Hz] je rezonanční frekvence. Kruhová frekvence ω_R je vždy menší, než netlumená frekvence ω_n . Z rovnice je zřejmé, že vyšší hodnoty tlumicího poměru ζ obecně vedou k nižší hodnotě frekvenčního poměru r_m . [6]

7.1 Naměřené hodnoty

S rostoucí rezonancí roste tuhost a materiály hůř tlumí vibrace, což koresponduje s výsledky ohybu (modulu E) a rovnicí (7).



Obr. 3: Porovnání přenosu mechanického kmitání dle koncentrace ovčí vlny u EP



Obr. 4: Porovnání přenosu mechanického kmitání u matric EP, UP, PU

Tab. 5 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

8. 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.

8.1 Měření a výpočet absorpce vodní páry

Absorpce vodní páry W_1 se vypočítá podle vzorce:

$$W_1 = \frac{m_2 - m_1}{a} \quad (8)$$

Koeficient vodní páry W_2 se vypočítá podle vzorce:

$$W_2 = 8W_3 + W_1, [7] \quad (9)$$

Tab. 6 Naměřené hodnoty absorpce vodní páry u matric PU^a a PU^b

Zkušební vzorek	Číslo zkušební nádoby	Číslo vzorku	Hmotnost zkušební 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

8.2 Měření propustnosti vodní páry

Propustnost pro vodní páru W_3 se vypočítá podle rovnice:

$$W_3 = \frac{m}{At} = \frac{m}{\pi r^2 t} \quad (10)$$

Koeficient vodní páry W_2 se vypočítá podle vzorce:

$$W_2 = 8W_3 + W_1, [7] \quad (11)$$

Tab. 7 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. 8 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.

9. Měření činitele prostupu světla

Tato norma platí pro měření denního osvětlení a doplňuje základní požadavky pro měření stanovené v ČSN 36 0011-1.

9.1 Světelné ztráty při průchodu světla osvětlovacím otvorem

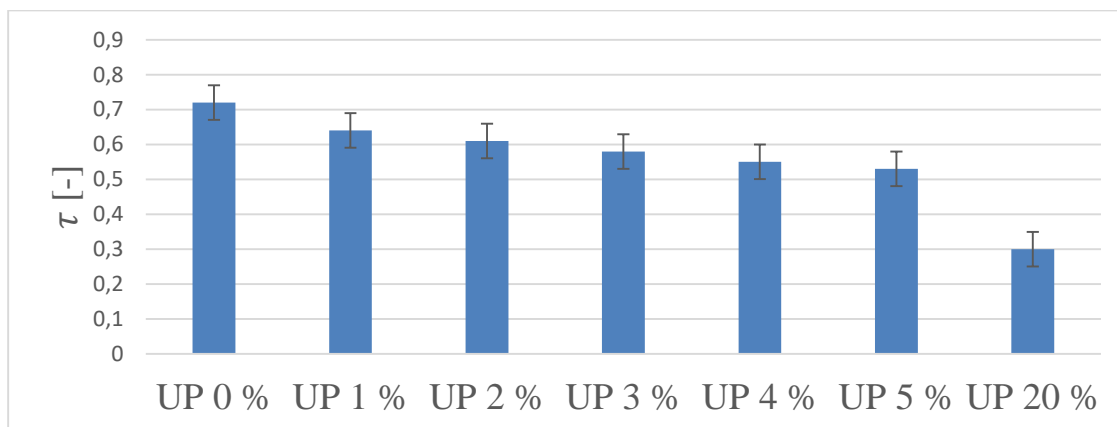
Charakteristickou veličinou pro popis světelných ztrát při průchodu světla přes osvětlovací otvor je činitel prostupu světla τ [-], dle poměru:

$$\tau = \frac{E_p}{E_d}, \quad (12)$$

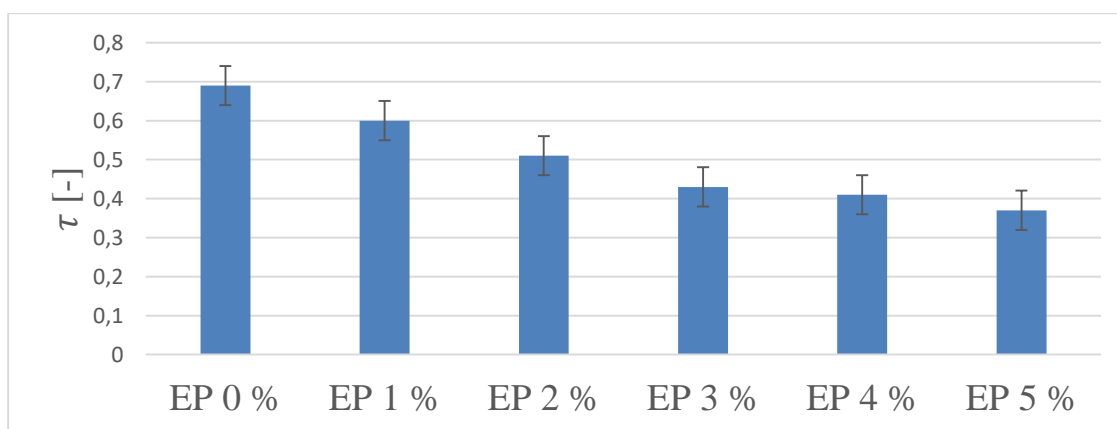
Kde E_p – osvětlenost naměřená při šíření světla skrz materiál za tímto materiálem.
 E_d – osvětlenost dopadajícího světla bez vloženého materiálového vzorku. [8]

Měření bylo provedeno pomocí luxmetru Voltcraft MS – 1300.

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



Obr. 5: Naměřené hodnoty činitele prostupu světla τ pro UP vzorky



Obr. 6: Naměřené hodnoty činitele prostupu světla τ pro EP vzorky

10. 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.

Tab. 9 Ceny jednotlivých surovin a chemikálií jsou včetně DPH [9 až 15]

Surovina	Cena	Množstevní cena	
	1 [kg]	10 [kg]	1 [kg]
PU ^a	265,00 Kč	2 385,00 Kč	238,50 Kč
PU ^b	325,00 Kč	2 783,00 Kč	278,30 Kč
EP	295,00 Kč	2 650,00 Kč	265,00 Kč
UP	265,00 Kč	2 385,00 Kč	238,50 Kč
Ovčí vlákna $l = 1$ [mm]	125,00 Kč	1 250,00 Kč	125,00 Kč
Skelná vlákna $l = 0,2$ [mm]	389,50 Kč	3 626,40 Kč	362,64 Kč
Uhlíková vlákna $l = 3$ [mm]	1 783,78 Kč	14 864,90 Kč	1 486,49 Kč
Bavlněná vlákna $l = 0,5$ [mm]	339,41 Kč	2 777,00 Kč	277,70 Kč

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.

Z hlediska ekonomického zhodnocení použití ovčích vláken jako plniva do polymerních matric, 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.

Tab. 10 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. 11 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. 12 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

11. 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.

12. 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.

13. 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 tříbodovým ohybem. Pro testování elektrických a dielektrických vlastností byly vzorky doplněny matricí 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 matric bez plniva a s plnivem 1 až 5, respektive 10 až 20 hmotnostních procent. Naměřené hodnoty jsou rozdílné, jak v použitých matricích, 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 matricí 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 absorberů 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 přísávkou 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 přísávkou 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 matrici, 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 přidavkem 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 matric, 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 oblastí 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. STANĚK, Jaroslav. Textilní zbožíznalství. Liberec: Technická univerzita, Textilní fakulta, 2001, v tiráži 2002. ISBN 80-7083-555-9.
2. EHRENSTEIN, Gottfried W. Polymerní kompozitní materiály. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.
3. ČSN EN ISO 14125. Vlákný vyztužené plastové kompozity - Stanovení ohybových vlastností. Praha: Český normalizační institut, 1999.
4. 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
5. NOVÝ, Richard, 2009. *Hluk a chvění*. Vyd. 3. V Praze: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-04347-9.
6. 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
7. ČSN EN ISO 20344, Osobní ochranné prostředky - Metody zkoušení obuvi, 2012. Praha: Český normalizační institut.
8. ČSN 36 0011-2, Měření osvětlení prostorů - Část 2: Měření denního osvětlení. Praha: Český normalizační institut, 1999.
9. PFEIFER, Pavel. VLNA. *European husky team* [online]. [cit. 2021-04-01]. Dostupné z: <https://www.eurohusky.cz/obchod/ovci-vlna/>
10. Lepidla, Lepicí Tmely. *Levné tmely* [online]. [cit. 2021-4-2]. Dostupné z: <https://www.levnetmely.cz/kategorie/lepidla-lepici-tmely/>
11. Epox G20. *Levné tmely* [online]. [cit. 2021-4-2]. Dostupné z: <https://www.levnetmely.cz/kategorie/transparentni-pryskyrice/epoxidove-transparentni-pryskyrice/epox-g20/>
12. 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
13. 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>
14. 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>

15. 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
$\mathcal{E}_{F\ max}$	[%]	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: Porovnání naměřených hodnot modulu pružnosti E_i	13
Obr. 2: Princip měření činitele zvukové pohltivosti v Kundtově impedanční trubici metodou přenosové funkce [4]	15
Obr. 3: Porovnání přenosu mechanického kmitání dle koncentrace ovčí vlny u EP	20
Obr. 4: Porovnání přenosu mechanického kmitání u matric EP, UP, PU	20
Obr. 5: Naměřené hodnoty činitele prostupu světla τ pro UP vzorky	23
Obr. 6: Naměřené hodnoty činitele prostupu světla τ pro EP vzorky	23

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Vyhodnocení hodnot <i>NRC</i> pro vzorky EP 0 až 5 %	16
Tab. 2 Vyhodnocení hodnot <i>NRC</i> pro vzorky Latex 0 %	17
Tab. 3 Vyhodnocení hodnot <i>NRC</i> pro vzorky UP 0 až 10 %.....	17
Tab. 4 Vyhodnocení hodnot <i>NRC</i> pro vzorky PU ^a 0 až 5 %.....	17
Tab. 5 Přenos mechanického kmitání <i>fR1</i> u matric EP, PU, UP s 0, 3, 5 %	20
Tab. 6 Naměřené hodnoty absorpce vodní páry u matric PU ^a a PU ^b	21
Tab. 7 Naměřené hodnoty propustnosti vodní páry u polyuretanové matrice	22
Tab. 8 Vypočtené hodnoty absorpce vodní páry, koeficientu vodní páry a propustnosti vodní páry u polyuretanové matrice	22
Tab. 9 Ceny jednotlivých surovin a chemikálií jsou včetně DPH [9 až 15]	24
Tab. 10 Vypočtená cena desky z matric PU ^a , PU ^b , EP, UP bez plniva.....	25
Tab. 11 Vypočtená celková cena pro 3 % plniva.....	25
Tab. 12 Vypočtená celková cena pro 5 % plniva.....	25

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, Ph.D.

Zpracování a charakterizace přírodních kompozitů

Processing and Characterization of Natural Composites

Teze 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

ISBN 978-80-7678-009-5

