



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní



Studentská vědecká a odborná činnost 2018

Textil

24. květen 2018

**Technická univerzita v Liberci
Univerzitní náměstí 1410/1
budova G,
461 17 Liberec**



Recenzent: Martin Bílek

Editor: Dora Kroisová

Obsah

TEXTIL – bakalářský studijní program

PAROPROPUSTNOST PERFOROVANÝCH AUTOSEDAČEK

Veronika BUŠOVÁ 5

APLIKACE NANOVLÁKENNÉ MEMBRÁNY DO VRSTEV STAVENÍ KONSTRUKCE

František BÖHM 15

ANALÝZA VLIVU MLETÍ RECYKLOVANÝCH UHLÍKOVÝCH VLÁKEN NA MECHANICKÉ VLASTNOSTI EPOXIDOVÝCH KOMPOZITŮ

Jan KOČÍB 25

MODIFIKACE NANOVLÁKENNÝCH VRSTEV L-ARGININEM

Zuzana OULEHLOVÁ 35

TEXTIL – navazující studijní program

PROTIPOŽÁRNÍ UZÁVĚRY

Natalia ANDRIEIEVA 44

STUDY OF DIFFUSION OF ALAPTIDE FROM NANOFIBROUS LAYERS

Nikifor ASATIANI 54

VLIV VLHKOSTI PROUDÍCÍHO VZDUCHU NA TEPELNĚ IZOLAČNÍ VLASTNOSTI TEXTILÍ

Ivana CÉEOVÁ 64

NÁVRH A REALIZACE ZAŘÍZENÍ PRO TESTOVÁNÍ VODNÍCH FILTRŮ TEXTILNÍHO CHARAKTERU

Petr HORNYCH 74

KOMFORT AUTOMOBILOVÝCH SEDAČEK

Jana KAISEROVÁ 84

VÝVOJ NOVÉ METODY MĚŘENÍ JEMNOSTI VLÁKEN VYROBENÝCH NA BÁZI KYSELINY HYALURONOVÉ	
Pavel KUŠNIERIK	94
VIDITELNOST CHODCŮ ZA SNÍŽENÉ VIDITELNOSTI	
Mária KUZMOVÁ	104
APLIKACE ANTIMIKROBIÁLNÍCH ÚPRAV NA VLNĚNÉ PŘÍZE PRO VÝROBU KOBERCŮ JAKO NÁSTROJ INOVATIVNÍHO MARKETINGU PRO FIRMU DANSPIN	
Monika LAZAROVÁ	115
FUNKČNOST BARIÉROVÝCH TEXTILÍ PO SIMULOVANÉM KOMBINOVANÉM CYKlickÉM NAMÁHÁNÍ	
Jana MÁDLOVÁ	125
HODNOCENÍ VRÁSNĚNÍ ŠVŮ	
Kateřina RAŠKOVÁ	135
STUDIUM KŘIVOSTI TAŽENÉHO VLÁKNA POMOCÍ OBRAZOVÉ ANALÝZY	
David VÍTOVSKÝ	145
TEXTIL – doktorský studijní program	
ELEKTROMAGNETICKÉ STÍNÍCÍ VLASTNOSTI A AC A DC VODIVOST EPOXIDOVÝCH KOMPOZITŮ PLNĚNÝCH UHLÍKOVÝMI NANO A MIKRO PLNIVY	
Jana NOVOTNÁ	155

PAROPROPUSTNOST PERFOROVANÝCH AUTOSEDAČEK

Bušová Veronika

Sekce - TEXTIL,
Fakulta textilní, 3. ročník
Bakalářský studijní program – TEXTILNÍ MARKETING

Anotace: Téma práce je testování automobilových polyuretanových sedaček a potahu, které mají velice důležitý vliv na pocit komfortu při jízdě. Obsahuje výsledky měření paropropustnosti a prodyšnosti rozdílných vzorků polyuretanových pěn a jejich následné porovnávání. Dále se zaměřuje na zjišťování tepelné jímavosti potahu při různých stupních zavlhčení. Hlavním cílem práce je optimalizace struktury polyuretanových pěn pro zlepšení jejich paropropustnosti a prodyšnosti.

Klíčová slova: Komfort textilií, polyuretanová pěna, paropropustnost, prodyšnost, tepelná jímavost

Úvod

Tato práce se zabývá testováním polyuretanové pěny (dále jen PUR) používané v automobilovém průmyslu. Soustředí se na měření vzorků PUR pěny a potahu automobilových sedaček.

Při jízdě automobilem má automobilová sedačka důležitý vliv na pocit komfortu. Proto je jedním z cílů práce zjištění paropropustnosti a prodyšnosti perforovaných a neperforovaných PUR pěn a vybraných vlastností potahu z hlediska komfortu. Vzorky potahu jsou testovány více způsoby, a to za sucha, za mokra a při potupném sušení. Hlavním cílem je pak optimalizace struktury perforovaných PUR pěn pro zlepšení její prodyšnosti a paropropustnosti.

K testování a měření byly použity přístroje Permetest, Alambeta a přístroj na měření prodyšnosti dostupné na Katedře hodnocení jakosti Fakulty textilní, Technické university v Liberci (dále jen TUL). Veškeré testované vzorky PUR pěny jsou z materiálu methyldiisokyanát (dále jen MDI) a poskytla je firma Proseat Mladá Boleslav.

1. Komfort

Komfortem se rozumí, když je stav organismu člověka v optimu, tzn. pocit pohody a pohodlí, ve kterém je možno setrvávat delší dobu a pracovat v něm. Lze ho definovat jako nepřítomnost nepříjemných či bolestivých vjemů. Člověk vnímá komfort všemi svými smysly kromě jednoho a tím je chuť. Podle důležitosti je na prvním místě hmat, na druhém zrak, dále sluch a jako poslední čich. Komfort se dělí na komfort psychologický, senzorický, termofyziologický a patofyziologický. [1]

Jak bylo výše zmíněno, hmat slouží jako jeden z nejdůležitějších nástrojů hodnocení kvality a komfortu. Hmat je možné zahrnout mezi subjektivní pocity vyvolané měřitelnou charakteristikou textílie. Subjektivně hodnocený hmat je spojený zejména s povrchovou, mechanickou a tepelnou vlastností. [2]

Opakem komfortu je diskomfort, kdy lidské vjemy zaznamenávají pocity tepla či chladu, ať už je to při nadměrném pracovním zatížení, nebo působení vlhkého klimatu.

Lidská populace se dělí na určité skupiny, přičemž má každá odlišný nárok na komfort. Třeba je vyzdvihnout velmi malé děti, nemocné lidi a lidi staršího věku. Dále je třeba zmínit zvláštní skupinu lidské populace nosící ochranné oděvy chránící před pracovním nebezpečím či ohrožením ostatní populace, týká se to zejména záchranářů, lékařů, hasičů apod. [1]

2. Průběh měření

Probíhalo mnoho měření za různých podmínek, proto jsou uvedeny jejich zkratky pro lepší orientaci: VP – vzorek potahu, PS – PUR pěna se strukturou, PC – PUR pěna celistvá, PPS – potah a PUR pěna se strukturou, PPC potah a PUR pěna celistvá, PPSF – potah, PUR pěna se strukturou a fólie, PPCF – potah, PUR pěna celistvá a fólie, PSD – potah s PUR pěnou se strukturou a deskou, PCD – potah s PUR pěnou celistvou a deskou, PRS – PUR pěna s reálnou strukturou.

Pro měření byly využity 4 vzorky PUR pěn celistvých, 4 vzorky PUR pěn se strukturou a 3 vzorky potahu, a to z toho důvodu, že při měření ovlivňuje hmotnost pěny vlhkost z Permetestu a mokrého potahu. Proto každé měření probíhalo s novým vzorkem PUR pěny, aby byla zaručena hmotnost při normální vlhkosti.

Měření PUR pěn probíhalo za několika různých podmínek. Pro lepší orientaci v měření PUR pěn je popis několika podmínek. Měření póry nahoru znamená, že měření probíhá na povrchu

pěny, tedy na lící straně, jak je v reálném světě skutečně používána. Měření póry dolů je přesně naopak, tedy rubní strana. S touto pozicí se v realitě není možné setkat, ale díky ní se simulovala paropropustnost samotné pěny. V praktické části byla využita sušící komora, která sloužila pro zjištění ultrasuché hmotnosti potahů, v dalších krocích praktické části je po namočení potahu ve vodě s kapkou detergentu využito už jen postupné sušení papírovými ubrousky. Sušení se provádělo do doby, než se hmotnost vzorku dostala na jeho původní jako při normální vlhkosti.

V grafech je porovnávána hladina významnosti p , která je zaokrouhlována na 3 desetinná místa, oproti koeficientu spolehlivosti α , která je pro 95% interval spolehlivosti 0,05. V případě menší hladiny významnosti je měření statisticky významné a naopak. Dále je v tabulkách uváděn průměr a variační koeficient. Variačním koeficientem se rozumí poměr směrodatné odchylky proti aritmetickému průměru, tedy jak jsou hodnoty vychýlené od průměru.

Začátek měření je soustředěn na prověřování samostatného potahu. Zjišťování jeho hmotnosti při normální vlhkosti, kterou se míní hmotnost za běžných klimatických podmínek v laboratoři, a po sušení v komoře, tedy zjištění jeho ultrasuché hmotnosti. Dále stanovení jeho relativní vlhkosti. Relativní vlhkostí se míní procentuální vyjádření nasycení vzorku vodními parami. Relativní vlhkost je vypočítána z ultrasuché hmotnosti získané sušením vzorku v komoře a mokré hmotnosti získané namočením potahu ve vodě s kapkou detergentu, následným sušením papírovými ubrousky a okamžitým vážením.

Dalším krokem je zjišťování relativní propustnosti vodních par a výparného odporu samostatného potahu a PUR pěn. U měření PUR pěn se nejprve porovnávaly hodnoty při měření póry nahoru a póry dolů. Dále pak měření PUR pěn v kombinaci s potahem. V případě samostatného potahu se poté měřila ještě relativní propustnost vodních par za mokra a při následném sušení. Další měření relativní propustnosti vodních par spočívalo v nalepení fólie, která nahrazovala faktickou tloušťku sedačky, na PUR vzorky. Tyto byly proměřovány v kombinaci s mokrým potahem a při následném sušení papírovými ubrousky. U každého měření byl použit nový vzorek PUR pěny (suchý), kvůli ovlivnění vlhkosti z potahu a z Permetestu.

Jako poslední kapitolou je stanovení prodyšnosti, tedy prostupu vzduchu skrze vzorky. Jednotlivé komponenty byly nejdříve měřeny samostatně za různých podmínek. Tím se míní měření póry nahoru, dolů, mokrého potahu a při postupném sušení a podobně. Navazovalo zjišťování prodyšnosti skrze pěny s potahem a průtok vzduchu do stran. Toto měření bylo

prováděno za pomoci plastové destičky, která simulovala neprodyšnost skrze pěny a zároveň tak simulovala tloušťku reálné automobilové sedačky. V závěru praktické části byla porovnána prodyšnost vzorku se strukturou reálné sedačky a vzorku simulující propojení kanálků ve struktuře s příčnými drážkami.

3. Výpočet relativní vlhkosti potahů

Vypočítaná relativní vlhkost vzorku **RH** [%] dle vzorce:"

$$RH = \frac{m_{mokr\acute{a}} - m_{us}}{m_{us}} * 100$$

Kde **RH** je relativní vlhkost vzorku [%], **m_{mokrá}** je hmotnost [g] mokrého vzorku a následně sušeného papírovými ubrousky a **m_{us}** je hmotnost [g] ultra suchého vzorku.

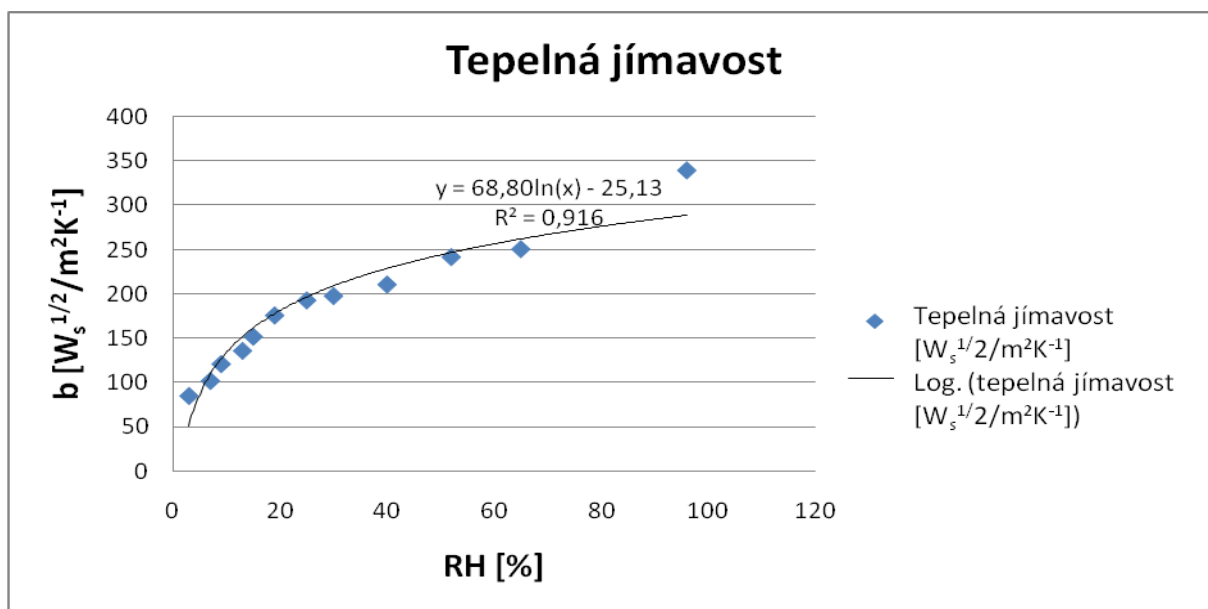
V posledním sloupci v tabulce č. 1 je možno vidět tepelnou jímavost **b** [$W_s^{1/2}/m^2K^{-1}$]. Tato hodnota byla získána na přístroji Alambeta.

Z toho měření je patrné, že mokrý potah má nejvyšší tepelnou jímavost **b**, a proto je pocitově nejchladnější. Při následném sušení vzorku se snižuje hmotnost, relativní vlhkost a i tepelná jímavost. Znamená to tedy, že při postupném sušení se stává vzorek pocitově teplejším a tím i příjemnějším na dotek.

Tab. č. 1 Hmotnosti, výsledky RH a tepelná jímavost potahů

	VP č. 1		
	hmotnost [g]	RH [%]	tepelná jímavost b [$W_s^{1/2}/m^2K^{-1}$]
ultra suchá hmotnost	3,67		
mokrý potah	7,19	96	340
sušení č. 1	6,00	65	251
sušení č. 2	5,57	52	242
sušení č. 3	5,13	40	211
sušení č. 4	4,78	30	198
sušení č. 5	4,59	25	193
sušení č. 6	4,38	19	176
sušení č. 7	4,22	15	152
sušení č. 8	4,14	13	136
sušení č. 9	4,01	9	121
sušení č. 10	3,91	7	102
sušení č. 11	3,78	3	85

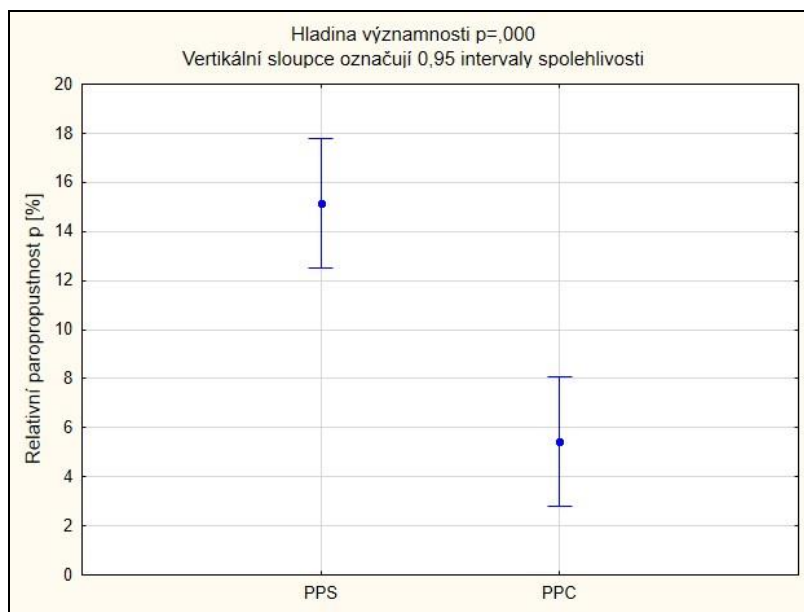
Na obrázku č. 1 je vyobrazený graf s tepelnou jímavostí na svislé ose y a relativní vlhkostí vzorku potahu na vodorovné ose x. Osa y, tedy tepelná jímavost, je proměnná a závislá na ose x, tedy na relativní vlhkosti vzorku. Znamená to, že se stoupající, či klesající relativní vlhkostí vzorku se bude měnit tepelná jímavost.



Obr. č. 1 Graf závislosti tepelné jímavosti na relativní vlhkosti

4. Relativní propustnost vodních par

Hodnoty relativní propustnosti vodních par pěny celistvé a pěny se strukturou jsou znázorněné na obrázku č. 2. Při tomto měření byl použit mokrá potah, který byl následně sušen papírovými ubrousky, viz kapitola průběh měření. Hladina významnosti p je menší než α , struktura má vliv na relativní propustnost vodních par a je statisticky významná.



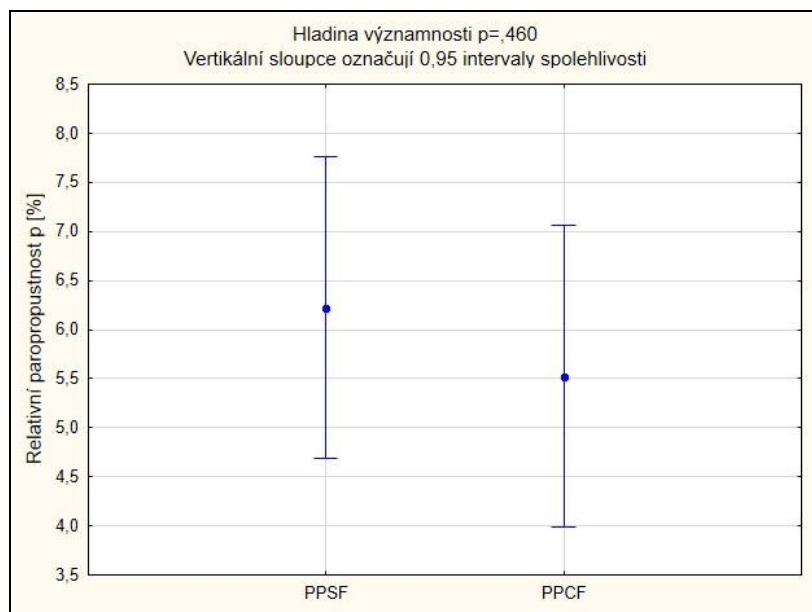
Obr. č. 2 Relativní paropropustnost pěny celistvé a se strukturou v kombinaci s mokrým potahem a při jeho postupném sušení

V následujících krocích byla porovnána relativní paropropustnost pěny celistvé a pěny se strukturou, za použití fólie a potahu. Pro měření byl opět použit mokrý potah, který byl sušen papírovými ubrousky.

Z grafu na obrázku č. 3 lze vyčíst, že hodnota hladiny významnosti p je větší než α , tudíž struktura není statisticky významná. Intervaly se překrývají. Použití fólie simuluje skutečnou tloušťku automobilové sedačky a to v případě, že by byl celý povrch styčné plochy sedačky tvořen tak zvanou „Z“ strukturou.

Tímto měřením se ověřilo, že pěna automobilové sedačky je nepropustná a vlhkost prochází boky. Lze tedy říci, že jsou drážky pro odvod vlhkosti nezbytné.

V tomto případě se testoval pocit toho, co bude osoba cítit po dvou minutách po usednutí. Hlavicí Permetestu se nasimulovalo zatížení a tím se vložila vlhkost do vzorků PUR pěn, které byly pro každé měření nové (suché). Část vlhkosti se sdílí volnou konvekci v drážkách a zbytek difúzí do PUR pěny. V každém měření byla tedy měnící se vlhkost a suchý podklad.



Obr. č. 3 Relativní paropropustnost potahu a pěn s fólií

5. Prodyšnost

Prodyšností rozumíme prostup vzduchu skrz textilií, v tomto případě skrz PUR pěnu a potah. Jednotky prodyšnosti jsou uváděny v $[l/m^2/s]$ a tlakový spád byl 100 Pa.

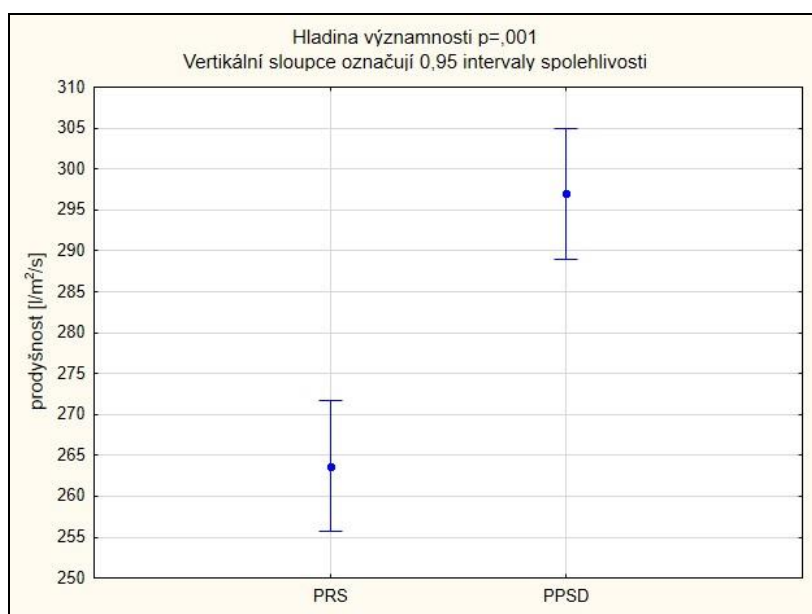
Dalšími kroky v kapitole prodyšnosti je měření průtoku vzduchu skrz pěnu s potahem a měření pěny s potahem a 5mm plastovou destičkou, simulující průtok vzduchu do stran, tedy neprodyšnost skrz pěnu, viz obrázek č. 4.



Obr. č. 4 Prodyšnost PUR pěny s plastovou deskou

Graf na obrázku č. 5 porovnává průtok vzduchu u reálné struktury a u struktury simulující propojení kanálků s příčnou drážkou. Lze vidět, že hladina významnosti p je menší než α , struktura simulující propojení kanálků má vliv na prodyšnost a je statisticky významná. Vzorek reálné struktury ze skutečné sedačky je doplněn velkými otvory, ale vzhledem k jejich

nízkému počtu v sedačce, jsou z hlediska prodyšnosti a paropropustnosti ztracené. Tento vzorek však lze porovnávat jen se strukturovaným vzorkem 16 cm x 16 cm za použití plastové desky, která nahrazuje zbylou část PUR sedačky a struktura tohoto vzorku simuluje propojení kanálků s příčnou drážkou. Lze tak tedy říci, že propojením kanálků se nám zlepšila prodyšnost až o 33 l/m²/s, tedy o 12,5 %.



Obr. č. 5 Průtok vzduchu reálné struktury (PRS) a zkoušeného vzorku (PPSD) simulující propojení struktury

Závěr

Jako první se měřila tepelná jímavost potahu, při různých stupních vlhkosti. V případě mokrého potahu byla hmotnost 7,19 g a tepelná jímavost nejvyšší $340 \text{ W}_s^{1/2}/\text{m}^2\text{K}^{-1}$. Zde byl potah na omak nejchladnější. Nejlepších výsledků bylo dosaženo u potahu při jedenáctém sušení, kdy se hmotnost potahu nacházela na jeho původní, 3,78 g. V tomto případě vycházela tepelná jímavost nejnižší $85 \text{ W}_s^{1/2}/\text{m}^2\text{K}^{-1}$ a tudíž byl potah na omak nejteplejší, což je z hlediska komfortu velice důležitý faktor.

Ve výzkumu se prokázalo, že u měření PUR pěn v kombinaci s fólií bylo modelováno, co bude osoba cítit po dvou minutách po usednutí, které simuluje zatížení hlavičky Permetestu. Část vlhkosti se sdílí volnou konvekcí v drážkách a zbytek difúzí do pěny. Fólie nahrazovala reálnou tloušťku automobilové sedačky. Dá se říci, že drážky jsou v pění nezbytné a jakákoliv další drážka bude mít vliv na zlepšení paropropustnosti.

V závěrečné části bylo prokázáno zlepšení prodyšnosti u PUR pěn. Tyto jsou málo prodyšné a v tomto případě funguje pumpovací efekt, v důsledku něhož se zvyšuje prodyšnost a tím se zvyšuje i paropropustnost. Lze tedy říci, že jakýkoliv kanál výrazně zvýší prodyšnost.

Měřením se prokázalo zlepšení prodyšnosti a tím i paropropustnosti u pěn se strukturou simulující propojení kanálků s příčnou drážkou oproti PUR pěnám se strukturou z automobilové sedačky, kde struktura propojená není, a také oproti PUR pěnám celistvým. V realitě je příčná drážka v PUR sedačce pro prodyšnost dobrá, avšak pouze v případě propojení struktury s touto příčnou drážkou se prodyšnost zlepšila o $33 \text{ l/m}^2/\text{s}$, tedy o 12,5 %.

Literatura

[1] HES, L., SLUKA, P.: Úvod do komfortu textilií. Skriptum TUL-FT, Liberec 2005.

[2] MILITKÝ, J., BAJZÍK, V.: Some open problems of hand evaluation. Technical University of Liberec, Dept. of Textile Materials, Liberec, Czech Republic. Stránka DSpace [online].

Copyright©n [cit.20.03.2018]. Dostupné z:

<https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/16685/vlakna%20a%20textil2.pdf?sequence=1>

Aplikace nanovláknenné membrány do vrstev stavení konstrukce

František Böhm

Sekce - TEXTIL,
Fakulta textilní, 3. ročník
Bakalářský studijní program – TEXTILNÍ MARKETING

Abstrakt: Práce se zabývá využitím nanovláknenné membrány ve stavebních konstrukcích. Byl zjištěn statisticky významný vliv materiálu na výparný odpor a stanovena závislost na ekvivalentní difuzní tloušťce. Následně byl proveden experiment sledování paropropustnosti vlastní metodikou. Při pozorování vykazala membrána statisticky významně nejvyšší hodnoty paropropustnosti, nejrychlejší pozorovaný průnik vodních par a nulovou kondenzaci na povrchu textilie. Stanovila se závislost na ekvivalentní difuzní tloušťce a navzájem se potvrdila predikce fyzikálních hodnot difuzního odporu pro stavební materiály. Posledním krokem byla softwarová simulace vlivu nanovláknenné membrány a standardního materiálu na kondenzaci v konstrukci a možnosti ohrožení životnosti dřevěných prvků. Výsledkem bylo u membrány vyloučení kondenzace včetně ohrožení dřevěných prvků a optimalizace vrstev stavební konstrukce vedoucí ke snížení nákladů bez předčasné degradace vlivem vlhkosti.

Klíčová slova: Nanovláknenná membrána, stavitelství, pojistné hydroizolace, vlhkost, paropropustnost, ekvivalentní difuzní tloušťka.

Úvod

Stavba obecně je systémem konstrukcí podléhající přirozeným ztrátám vlastností rovnoměrně vůči stárí, popřípadě podléhající vadám či destrukcím za podmínek způsobených technologickou chybou či vlivem nepředpokládané klimatické nehody. Spousta faktorů je nahodilých (jako například povodně), v převážné většině se dá již z principu těmto faktorům zabránit volbou správné technologie a předpisu. Jsou tu ale také situace, jež jsou na poli stavitelství řešeny téměř experimentálně s podstatnou rolí náhody. Největším problémem je bezesporu vlhkost a její vliv na stavební materiály v celém širokém spektru. S tím je úzce spojena nejen životnost samotné stavby, ale i zdraví osob obývajících objekt. Nesčetné množství úvah se zabývá zabráněním pronikání vlhkosti z venkovního prostředí do obvodových konstrukcí. Tato problematika je řešena v rámci samotných bází omítkového systému a dodatečných hydroizolací v místech přímého kontaktu se zemí včetně soklu. Množství vody, které se takto do konstrukce dostane, je minimální a je rovno množství, které je konstrukce schopna vypařit zpět do exteriéru. Hlavní úskalí a velký problém je v obecném užívání staveb jejich uživateli. Právě lidský faktor je nebezpečná proměnná, jelikož ne vždy jsou hodnoty vlhkostních ukazatelů odpovídající normovým ukazatelům. Právě cesta vlhkosti na základě difuzních zákonů prostupující z interiéru do exteriérové části působí v oblasti stavitelství velké potíže. Směr vytvoření difuzně otevřené nebo difuzně vyrovnané konstrukce je středem zájmu zamýšlené práce.

1 Charakteristika testovaných materiálů

Pro experimentální část této práce bylo připraveno velké množství standardních pojistných hydroizolací střešních konstrukcí, nanovláknenná membrána a netkané textilie typu SMS, SM a S, u kterých (díky základním vlastnostem z dané technologie výroby) očekáváme dobré výsledky námi pozorovaných vlastností. Pro různé metodiky byl z velké škály dostupných vzorků vybrán určitý počet dle vhodnosti.

2 Metodika

Primární posuzovanou vlastností testovaných materiálů je paropropustnost za různých podmínek nasycení prostředí. Mechanické vlastnosti všech testovaných vzorků řeší vrstvy textilie, hydrostatické odolnosti zátěry, membrány a povrchové úpravy. UV ochranu části zajišťující nosné vlastnosti zaopatřuje nosná textilie, popřípadě povrchové úpravy. Jedinou variabilní vlastností je tedy otevřenost k prostupu vodních par skrz konstrukci. Nejvhodnější metodikou pro naše testování se jeví laboratorní přístroj PERMETEST, který kalkuluje do hodnoty výparného odporu všechny důležité fyzikální jevy. Standardní certifikovaná metoda DRY-WET se pro naše účely nejeví jako nejvhodnější z důvodu složitého vytvoření klimatických podmínek a zanášení chyby do praktického měření. V souvislosti s tímto poznatkem testujeme vlastní metodiku, která bude sloužit jako poměrový ukazatel mezi paropropustností každé série vzorku. [1]

2.1 Vlastní metodika měření paropropustnosti

Tvorba vlastní metodiky je založená na principu zákona difuze vodních par. Jde o to, vytvořit dvě prostředí, ve kterých bude rozdílný tlak vodní páry závisující na teplotě prostředí. V praktickém znění se jedná o dvě spojené nádoby, kdy do spodní části představující prostředí č. 1. bude umístěna kapalina, která bude difundovat do druhé nádoby označené jako prostředí č. 2. Protože v prostředí č. 2. bude nižší teplota, nastane opačný děj, tedy kondenzace. Díky bariérovým vlastnostem testovaných materiálů neprojde kondenzát zpět do prostředí č. 1. Budeme sledovat, kolik vodních par projde skrz testovaný vzorek za jednotku času. Toto množství vypočteme jako hmotnostní nebo objemový úbytek kapaliny v prostředí č. 1. k době pozorování.

V naší metodice vycházíme z poznatku, že k uvolňování molekul vodní páry z hladiny vody dochází za každé teploty. Množství odparu je ovlivněno zejména teplotou, tlakem vodní páry nad hladinou a plochou. V rámci plánování a konstruování metodiky sledování paropropustnosti materiálů se nám nejlépe ovlivňuje teplota. Můžeme si v našich podmínkách nejsnadněji nadefinovat výkon topného tělesa [kW] nebo teplotu předávací plochy. Zvýšená teplota vody v prostředí č. 1. způsobí rychlejší a větší odpar z vodní hladiny, tím větší bude relativní vlhkost prostředí č. 1. Pro prostředí č. 2. bude méně nasycené a teplota bude menší. Tyto podmínky zajistí cestu molekul vodní páry do prostředí č. 2 a následnou kondenzaci. Námi navržená metodika bude sloužit jako ukazatel množství vodní páry, které překoná částečný (nizký) difuzní odpor textilního materiálu. Ukáže nám, o kolik lépe bude propouštět vodní páry než jiný materiál v závislosti na hmotnostní změně kapaliny v prostředí č. 1. za stejných podmínek měření několika materiálů (stejný výkon použitý k ohřevu kapaliny ve stejném čase za stejného prostředí).

2.2 Příprava měření

Po aplikaci nadefinovaného množství kapaliny se zváží celá sestava a stav se zaznamená (M_1). Paropropustnost je definována na základě zvážené sestavy (spodní nádoba + kapalina) po ukončení měření (M_2) na základě vztahu $MVTR = M_1 - M_2$ a přepočtena na plochu 1 m^2 v rozměru $[\text{g/m}^2/24\text{h}]$.

3 Výsledky a diskuze

V laboratořích katedry hodnocení textilií jsme provedli řadu měření pomocí přístroje PERMETEST. Primárně jsme se zaměřili na hodnocení pomocí výparného odporu R_{et} $[\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}]$. Získaná data jsou uvedena v tabulce č.1. Testovali jsme mnoho vzorků textilií a počet náměrů byl stanoven dle rozměru a stavu vzorků. Některé vzorky bylo možné měřit pouze jedenkrát, jiné byly v ploše testovány opakovaně. Mezi měřenými vzorky standardních pojistných hydroizolací byly i materiály zvažované pro možné aplikace ve stavebních technologiích. Naměřená data byla řazena do tříd dle ekvivalentní difuzní tloušťky a materiálu, následně zpracována základními statistickými nástroji v tabulce č. 2.

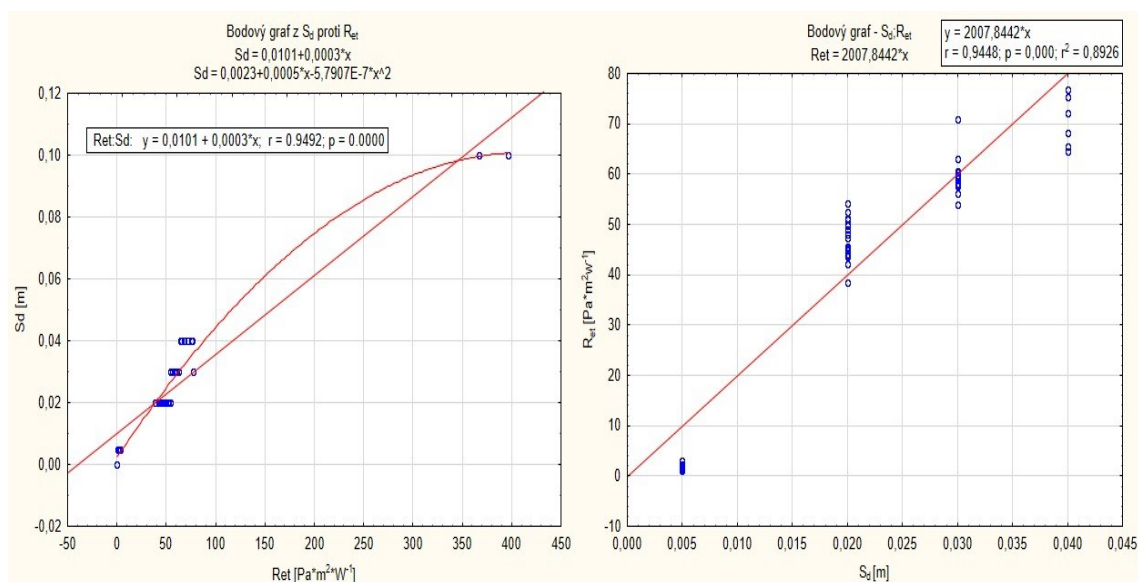
Tabulka 1 Náměr výparného odporu

Název	S_d m	Ret 1 $[\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}]$	Ret 2 $[\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}]$	Ret 3 $[\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}]$	Ret 4 $[\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}]$	Ret 5 $[\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}]$	Ret 6 $[\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}]$	Ret 7 $[\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}]$	Ret 8 $[\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}]$	Ret 9 $[\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}]$	Ret 10 $[\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}]$	Ret 11 $[\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}]$
Ventia Wind	0,005	3,1	2,1	1,5	1,3	1,2	2,30	1,7	1,7	1,9	1,8	2,10
Tyvek Pro/Tape	0,02	49,8	38,4	44,2								
Tyvek Comfortec	0,02	45,6	44,8	44,8								
Ventia Iron	0,02	43,7	49,9									
Ventia Bronze	0,02	51,3	51,1	52,5								
Jutadach 150	0,02	45,2	47,2	48,1								
Ventia Titanium	0,02	49,1										
Tyvek Solid	0,02	54,3										
Jutadach 115	0,02	43,9	45,3	45,1								
Jutadach 135	0,02	42,1	42,2									
Vaxo S	0,03	58,1										
Vaxo M	0,03	58,2	54	57,7								
Vaxo L	0,03	59,0	59,6	60,4								
Vaxo XL	0,03	63,0	77,2	56,2	59,9	60,5						
Ventia Platinum	0,04	72,2	76,8									
Ventia Cobalt plus	0,04	65,5										
Ventia premium	0,04	64,6	68,1	75,3								
Jutadach Monolithic	0,1	396,1	366,8									
Nanomembrane	-	2,5	2,3	2,2	2,2	2,3	2,1	2,3	1,7			
Tyvek Papír	-	5,1	12,1	7,7								
Pegas SM	-	1,3	1,6	1,5	0,8	1,5	2,1	0,7	1,5	0,5	2,2	
Pegas S	-	0,1	1,2	0,9								
Pegas SMS	-	2,2	1,8	1,4	2,1	1,4						

Tabulka 2 Základní statistiky výparného odporu R_{et}

Materiál	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Směrodatná odchylka	Variační koeficient
Třída S_d 0,005	10	1,9000	1,85	1,2	3,1	0,3044	0,5518	29,04
Třída S_d 0,02	21	46,5952	45,30	38,4	54,3	15,4505	3,9307	8,44
Třída S_d 0,03	12	60,3083	59,30	54,0	77,2	33,4772	5,7860	9,59
Třída S_d 0,04	6	70,4167	70,15	64,6	76,8	26,2297	5,1215	7,27
Třída S_d 0,1	2	381,4500	381,45	366,8	396,1	429,2450	20,7182	5,43
Nanomembrána	8	2,2000	2,25	1,7	2,5	0,0543	0,2330	10,59
Pegas S	3	0,7333	0,90	0,1	1,2	0,3233	0,5686	77,54
Pegas SM	10	1,3200	1,40	0,5	2,2	0,3284	0,5731	43,42
Pegas SMS	5	1,7600	1,80	1,4	2,2	0,1280	0,3578	20,33
Tyvek papír	3	8,3000	7,70	5,1	12,1	12,5200	3,5384	42,63

Na základě porovnání závislostí a regresí dvou pozorovaných difuzních odporů označovaných jako ekvivalentní difuzní tloušťka S_d a výparný odpor R_{et} definujeme převodový vztah. Jelikož se jedná o dvě veličiny charakterizující odpor textilie proti průniku molekul vodních par, předpokládáme lineární závislost obou veličin. Do měření zavádíme výchozí stav, kdy nulová ekvivalentní difuzní tloušťka charakterizující odpor materiálu oproti odporu vzduchu v určité tloušťce (v tomto případě nulové) bude klást nulový výparný odpor R_{et} . Zjednodušeně se jedná o předpoklad, že v případě nulové tloušťky materiálu (vzduchu) nemají molekuly vodní páry žádný odpor k dalšímu pohybu ($S_d = R_{et} = 0$). Pro názornost představujeme jak graf závislostí S_d proti R_{et} , tak alternativní pro hlubší diskuzi.

Obrázek 11 Sledování závislosti S_d a R_{et}

Vyhodnocení závislostí:

Při sledování závislosti dvou způsobů hodnocení difuzního odporu jsme porovnávali závislosti difuzního odporu S_d a výparného odporu R_{et} . Jelikož obě veličiny označují jeden fyzikální jev, předpokládali jsme lineární vztah obou veličin. Jako nulový bod byl zaveden

předpoklad, že nulová ekvivalentní difuzní tloušťka je rovna nulovému výparnému odporu. Bodový graf závislosti X a Y proložený lineární přímkou demonstruje průběh do minusových hodnot, což v praxi být nemůže. Lépe vyhovuje křivka polynomiální druhého kvadrátu. V oblasti S_d 0,05 - 0,09 m nemáme žádné dostupné materiály pro možné testování. V oblasti hodnot nad 0,09 S_d [m] se jedná o poměrně špatnou propustnost vodních par. Proto zde můžeme mít nepatrné podezření o relevanci výsledků přístroje PERMETEST. Tyto důvody, včetně trendu vyrábět materiály vysoce difuzní, nás vedou k modelu v pravém grafu. V tomto případě již s predikcí hodnot výrazněji koresponduje proložení lineární. Pro přepočítání použijeme jak funkci polynomiální, tak funkci lineární na základě úvodního předpokladu včetně modelu pravého grafu. Hodnota významnosti pro oba grafy $p=0,0000$, tím zamítáme hypotézu H_0 a přijímáme alternativní hypotézu H_1 . Statistický rozdíl dat je tedy významný a data vykazují velkou závislost $R = 0,9492$ a $R^2 = 0,9009$ (levý) koeficient determinace pro pravý graf je roven 0,8926.

Tabulka 3 Návrhový přepočtový vztah pro hodnoty výparného odporu na ekvivalentní difuzní tloušťku na základě regresní analýzy a bodového grafu pro polynomiální a lineární funkci včetně alternativního modelu.

Ret [Pa.m ² .W-1]	S_d (polynomiální) [m]	S_d (lineární) [m]	S_d (lineární) alternativní [m]
2,2	0,003	0,011	0,001
4	0,004	0,011	0,002
10	0,007	0,013	0,005
20	0,012	0,016	0,010
30	0,017	0,019	0,015
40	0,021	0,022	0,020
50	0,026	0,025	0,025
60	0,030	0,028	0,030
70	0,034	0,031	0,035

Na základě dat z tabulky č. 3 vidíme dle hodnot jasnou informaci, že polynomiální funkce lépe vystihuje výsledky měření oproti lineárnímu modelu uprostřed tabulky. Dává nám představu o faktu, že naše testovaná textilie od výrobce Nanomembrane vykazuje hodnoty po přepočtu na ekvivalentní difuzní tloušťku „blíží“ se nulové vrstvě nehybného stojícího vzduchu. V alternativním lineárním modelu se v hodnotách od 40 R_{et} hodnoty S_d sblíží, pod touto hranicí by predikce byla ještě nepatrně lepší v hodnotách ekvivalentní difuzní tloušťky. Tyto přepočtové hodnoty, ačkoliv jsou přibližným vodítkem k určení, otevírají možnost zjistit objem kondenzátu vzniklý v konstrukci pro výpočtové období v softwarech k tomuto účelu určených dle příslušných norem. Takové výsledky jsme již schopni porovnat a získat představu o řešené problematice v praxi. Přepočítání z ekvivalentní difuzní tloušťky na faktor difuzního odporu je totiž již velmi snadný. Ekvivalentní difuzní tloušťka není nic víc, než součin faktoru difuzního odporu a tloušťky materiálu. Protože funkce na základě závislosti mezi X a Y jsou stanoveny na základě 51 měření, můžeme tento vztah považovat za dostatečně demonstrativní pro účely této práce. Stanovení tohoto převodového stavu by mohlo být důležitým krokem z hlediska stavební a textilní kooperace.

3.1 Paropropustnost na základě navržené metodiky

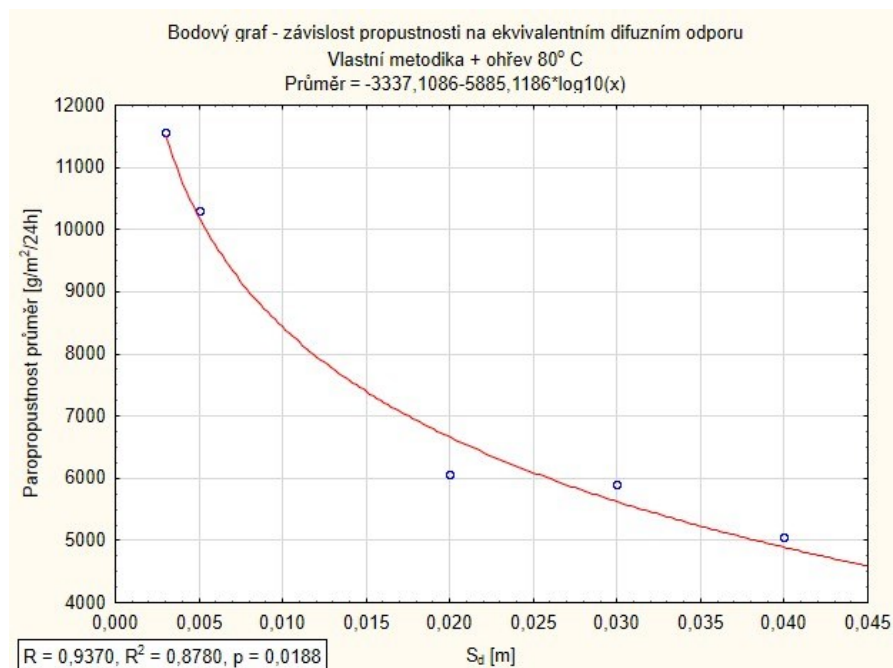
Velké množství vzorků bylo vystaveno testování propustnosti molekul vodních par na základě návrhu poměrně jednoduché, ale prakticky dobře demonstrující metody. V následujících tabulkách jsou uvedeny jednotlivé hodnoty propustnosti vodních par skrz testovaný vzorek

vystavený pro časovou jednotku 24 hodin s přepočtem na plochu 1 m² označené MVTR [g/m²/24h]. Poměrná propustnost vodních par demonstrujeme, kolika procent propustnosti dosáhly uvedené materiály oproti nejlepšímu vzorku.

Tabulka 4 Propustnost materiálů první série dle definovaných podmínek, přepočet na propustnost vodních par skrz 1 m² včetně zavedené poměrné propustnosti.

Série č. 1 (paropropustnost 24 hodin, ohřev 80 °C)						
Název	S _d [m]	M1 [g]	M2 [g]	Propustnost vzorku [g]	MVTR [g/m ₂ /24h]	Poměrná propustnost [%]
Nanomembrána	0,003	202,54	163,17	39,37	12303,13	100,00
Nanomembrána	0,003	222,14	184,05	38,09	12287,07	99,87
Nanomembrána	0,003	222,02	184,02	38,00	12258,04	99,63
Nanomembrána	0,003	222,63	185,68	36,95	11919,33	96,88
Nanomembrána	0,003	203,89	165,95	37,94	11856,25	96,37
Nanomembrána	0,003	222,57	187,13	35,44	11432,24	92,92
Ventia Windbarier	0,005	201,97	165,91	36,06	11268,75	91,59
Nanomembrána	0,003	222,50	190,84	31,66	10212,88	83,01
Nanomembrána	0,003	202,51	170,96	31,55	10177,40	82,72
Ventia Windbarier	0,005	203,88	171,32	32,56	10175,00	82,70
Ventia Windbarier	0,005	202,34	171,98	30,36	9487,50	77,11
Jutadach 150	0,02	222,67	198,00	24,67	7958,05	64,68
Ventia Gold	0,02	196,74	172,41	24,33	7603,13	61,80
Jutatop WB	0,02	204,06	180,50	23,56	7362,50	59,84
Tyvec Comfortec	0,02	194,81	171,71	23,10	7218,75	58,67
Tyvek Solid	0,03	196,20	173,33	22,87	7146,87	58,09
Vaxo XXL	0,03	222,38	201,64	20,74	6690,31	54,38
Vaxo S	0,03	202,97	183,37	19,60	6322,57	51,39
Ventia Titanium	0,02	222,07	202,57	19,50	6290,31	51,13
Ventia Cobalt +	0,04	222,13	204,05	18,08	5832,25	47,40
Jutadach Top	0,02	203,79	185,18	18,61	5815,63	47,27
Jutadach 115	0,02	222,48	204,81	17,67	5699,99	46,33
Vaxo M	0,03	222,48	205,19	17,29	5577,41	45,33
Jutadach 115	0,02	222,10	205,73	16,37	5280,63	42,92
Ventia Cobalt +	0,04	222,44	206,28	16,16	5212,89	42,37
Jutadach 135	0,02	222,37	206,30	16,07	5183,86	42,13
Ventia Base	0,02	202,42	187,94	14,48	4670,96	37,97
Ventia Premium	0,04	222,16	207,68	14,48	4670,96	37,97
Ventia platinum +	0,04	194,90	180,42	14,48	4525,00	36,78
Jutadach Super	0,03	222,22	210,43	11,79	3803,22	30,91
Jutadach Master	0,02	222,40	211,41	10,99	3545,15	28,82
Jutafold 110	2,00	202,49	198,17	4,32	1393,55	11,33
Jutadach Thermoisol WB	0,20	204,00	199,98	4,02	1256,25	10,21
Jutadach Thermoizol	0,15	222,09	218,54	3,55	1145,16	9,31
Jutadach DTB 150	5,00	195,08	192,97	2,11	659,38	5,36

Velice zajímavý poznatek na základě této metodiky pramení z vizuální kontroly chování daného materiálu. Při testování jsme mohli vidět, že na rozdíl od ostatních materiálů v případě membrány vodní páry prošly během pár minut a začaly tvořit kondenzát v prostředí označované č. 2. Tento kondenzát byl v mnohem větším viditelném množství po celou dobu testování. Stejně tak po ukončení testování jsme viděli, že u standartních difuzních PHI díky vysokému odporu kondenzují kapky vody na její spodní části. Tento jev se u membrány nikdy nevyskytl.



Obrázek 2 Propustnost materiálu v závislosti na ekvivalentní difuzní tloušťce

Regresní analýza

Pro zobrazení pozorované závislosti byl zvolen bodový graf, na kterém jsme pozorovali nejvhodnější proložení včetně rovnice ve vrchní části grafu. Nejlépe proložené korelační pole bylo funkcí logaritmickou. Vysoký koeficient determinace o hodnotě 0,9033 nám naznačuje velmi silnou závislost.

Tabulka 5 Návrhový přepočtový vztah pro hodnoty ekvivalentní difuzní tloušťky na paropropustnost na základě regresní analýzy a bodového grafu.

Paropropustnost [g/m²/24h]	S _d [m]
14318,247	0,001
12546,650	0,002
11510,332	0,003
10204,726	0,005
6661,531	0,020
5625,213	0,030
4889,934	0,040

Paropropustnost materiálu ve třídách S_d

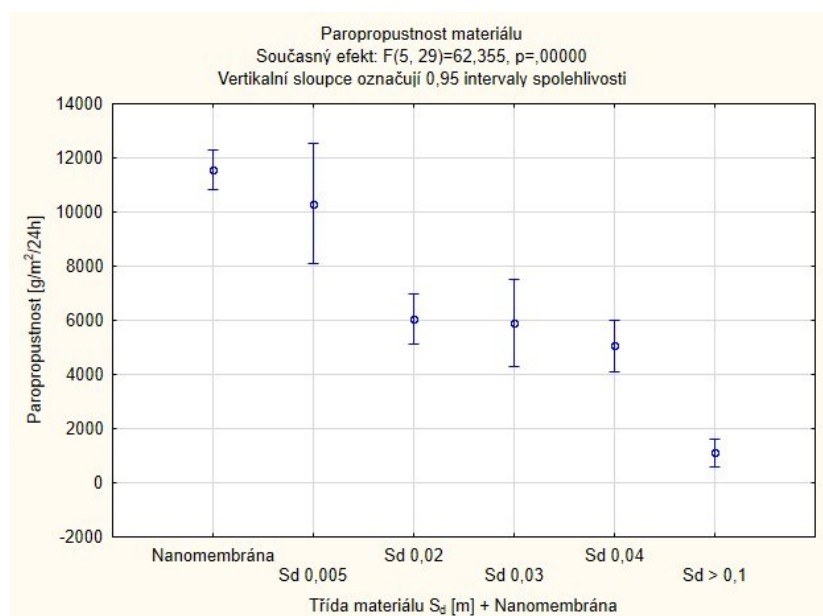
Statistické zhodnocení první série vzorků z důvodu největšího počtu náměrů a největší efektivity měření. Výsledky propustností seřadíme podle udaných hodnot ekvivalentní difuzní tloušťky a vyhodnotíme základní statistické veličiny včetně sledování vlivu materiálu o určité ekvivalentní difuzní tloušťce na propustnost u našich měřených vzorků.

Tabulka 6 Základní statistické nástroje – propustnost [$\text{g/m}^2/24\text{h}$]

Název	Statistické hodnoty							
	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch	Var.koef.
Nanomembrána	8	11555,79	11887,79	10177,40	12303,13	789643,41	888,62	7,69
S_d 0,005	3	10310,42	10175,00	9487,50	11268,75	806966,15	898,31	8,71
S_d 0,02	11	6057,18	5815,63	3545,15	7958,05	1889423,01	1374,56	22,69
S_d 0,03	5	5908,08	6322,57	3803,22	7146,87	1714520,73	1309,40	22,16
S_d 0,04	4	5060,27	4941,93	4525,00	5832,25	352439,59	593,67	11,73
$S_d > 0,1$	4	1113,58	1200,70	659,38	1393,55	102011,63	319,39	28,68

Jednofaktorová analýza variace

Byl pozorován vliv použitého materiálu na propustnost vodních par za použití jednofaktorové analýzy rozptylu. Výstupem jednoduchého třídění je zhodnocení statistické významnosti průměrné propustnosti vodních par u sledovaných materiálů. Hladina spolehlivosti $p = 0,0000$ upozorňuje na statisticky významný vliv použitého materiálu na propustnost vodních par.



Obrázek 3 Graf průměrů s odchylkami: Vliv materiálu na propustnost vodních par (ANOVA)

Následujícím krokem bylo vyhodnocení podrobnější analýzy rozptylu pomocí Turkeyho HSD unequal N testu. Výsledky jsme zobrazovali jak pomocí významných diferencí, tak pomocí homogenních skupin vždy s hodnotou $\alpha = 0,05$. Průměry se směrodatnou chybou jsme seřadili od nejlepšího k nejhoršímu a hvězdičkami ve třídách jsme označili statisticky významné rozdíly na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Tento postup nám vykazuje tabulka č. 7. Nejlepší paropropustnosti dosáhla nanomembrána. Skvělé hodnoty ihned v závěsu drží materiál od společnosti MDM, avšak není navržen jako PHI, nýbrž jenom jako větrozábrana. Ve

vyhodnocení slouží demonstrativně jako ukazatel praktického pokolení nejdostupnějšího běžného paropropustného materiálu ve stavebnictví. Potvrzujeme měření v první části na přístroji PERMETEST, ve kterých dosahujeme s nanomembránou lepších hodnot oproti materiálu ekvivalentní difuzní tloušťky 0,005 m.

Tabulka 7 Vliv materiálu na propustnost vodních par (průměr +/- směrodatná chyba) Jednofaktorová ANOVA, post hoc Turkey HSD unequal N test, hvězdičky značí rozdílné třídy dle statistické významnosti na hladině $\alpha = 0,05$.

Č. buňky	HSD TEST - Unequal N				
	Název	Paropropustnost přepočtena	1	2	3
6	$S_d > 0,10$	1113,58 ± 314,17			****
5	$S_d 0,04$	5060,27 ± 518,64	****		
4	$S_d 0,03$	5908,08 ± 414,45	****		
3	$S_d 0,02$	6057,18 ± 585,58	****		
2	$S_d 0,005$	10310,42 ± 296,83		****	
1	Nanomembrána	11555,79 ± 159,70		****	

3.2 Nanomembrána ve stavebních konstrukcích

- Určení tloušťky materiálu – h na přístroji ALAMBETA

Tabulka 8 Statistické vyhodnocení tloušťky materiálu

Materiál	Základní statistika – h [mm]									
	N	Průměr	IS dolní 95%	IS horní 95%	Median	Min	Max	Rozptyl	CV	Směrod. Ch.
Nanomembrána	15	0,49	0,47	0,51	0,50	0,43	0,54	0,001	6,454	0,008

- Přepočet na faktor difuzního odporu

Tabulka 9 Určení faktoru difuzního odporu

Materiál	Tloušťka h [m]	Ekvivalentní difuzní tloušťka S_d [m]	Faktor difuzního odporu [-]
Nanomembrána	0,00049	0,003	6,12

Na základě komplexního posouzení softwaru „Mezera 2017“, kde byla nanomembrána hodnocena spolu s jedním z nejlepších difuzních materiálů na trhu difuzních folií, byla opět ověřena hypotéza o vhodnosti aplikace nanomembrány z hlediska PHI. Oba testované subjekty splnily normové hodnoty, avšak u nanomembrány byla kondenzace zcela vyloučena. U standardního materiálu byl výsledek hraniční. V případě překročení relativní vlhkosti v interiéru nad normové hodnoty u standardního materiálu hrozí nadměrná kondenzace a je potřeba přikročit k provedení důkladné parotěsnicí vrstvy, případně k nadkroevní tepelné izolaci.

Druhý pozorovaný ukazatel vychází velmi nepříznivě pro standardní materiál, kdy hrozí nebezpečí relativní vlhkosti nad 80 % v ročním cyklu u dřevěných prvků po dobu 181 dní. U nanomembrány se jedná o přibližně poloviční období.

Na základě výsledků může v případě nanomembrány dojít k zjednodušení konstrukce a absenci parotěsné vrstvy. V hodnoceném případě není potřeba rozšiřování dřevěných prvků ani použití nadkrokovní tepelné izolace.

Závěr

Naše hodnocené materiály (nanomembrána, Pegas S, SM a SMS) se na základě měření ukázaly jako nositelé řádově nejlepších difuzních vlastností v porovnání se standardním sortimentem dostupným na trhu označovaným jako nejlepší difuzní pojistné hydroizolace. Membrána z nanovláken dokonce při svých výjimečných difuzních vlastnostech garantuje hydrostatickou odolnost až 30 m vodního sloupce, čímž nabízí cestu na trh jako jeden z nejlepších difuzních materiálů vůbec, ale také jako jeden z nejlepších PHI v hydrostatické odolnosti. Zároveň má potenciál být možnou bariérou proti průniku vody při záplavách a povodních. Při porovnání s aktuálně dostupnou nabídkou na trhu stavebních materiálů jsme prokázali mnohem lepší sledované vlastnosti.

S pomocí měření a statistických nástrojů jsme zjistili statisticky významné rozdíly v hodnotách difuzních odporů a paropropustností u nanomembrány oproti standardním materiálům. Stanovili jsme přepočtovou tabulku pro měřené výparné odpory do veličin ve stavitelství standardně využívaných. Výsledek regrese v případě námi navržené metodiky a ekvivalentní difuzní tloušťky potvrdil náměry pro obě použité metodiky oboustranně. Měřená data hodnocených vlastností a zařazení nanomembrány do třídy $S_d 0,003$ [m] je tím potvrzeno jako relevantní.

V poslední fázi testování byla nanomembrána vystavena za použití softwarových nástrojů simulaci praktické montáže do stavební konstrukce. Kondenzace a ohrožení dřevěných prvků bylo vyloučeno a výsledkem je pro nás optimalizace skladby konstrukce. Je možná úplná absence parotěsníci vrstvy bez rizika kondenzace vodních par a ohrožení dřevěných prvků.

Seznam citací

- [1] Hes, L a Sluka, P. "Úvod do komfortu textilií" Vyd. 1. Liberec - TUL, 2005, [cit: 4.01.2018]

ANALÝZA VLIVU MLETÍ RECYKLOVANÝCH UHLÍKOVÝCH VLÁKEN NA MECHANICKÉ VLASTNOSTI EPOXIDOVÝCH KOMPOZITŮ

Kočib Jan

Sekce - TEXTIL,
Fakulta textilní, 3. ročník
Bakalářský studijní program – TEXTIL

Abstrakt: Tato bakalářská práce se zaměřuje na problematiku mechanických vlastností kompozitů z recyklovaných uhlíkových vláken. V první části práce je obecné seznámení s kompozitními materiály a uhlíkovými vlákny. Dále je zde popisován proces mletí uhlíkových vláken a tvorba kompozitních vzorků, které jsou následně mechanicky testovány. Výsledky testování jsou analyzovány.

Předpokladem pro tuto práci je, že množství mletí recyklovaných uhlíkových vláken a jejich koncentrace v epoxidových kompozitech mají vliv na mechanické vlastnosti materiálu.

Klíčová slova: Kompozit, uhlíkové vlákno, mletí, epoxidová pryskyřice, mechanické vlastnosti

1. Úvod

V historii vývoje konstrukčních a stavebních materiálů či nejen v průmyslové výrobě, byli inženýři a konstruktéři odkázáni na tradiční materiály jako je železo, ocel či beton a další „základní“ materiály a s postupem času docházelo k vývoji nových a nových konstrukčních materiálů. Po druhé světové válce došlo k rozvoji konstrukčních materiálů na bázi polymerů a jejich modifikací. Tyto materiály jsou využívány ve všech odvětvích výroby a člověk je jimi obklopen téměř všude.

Polymerní materiály tak dokázaly v mnoha případech nahradit spoustu dříve užívaných materiálů, nicméně i tyto plasty nelze užít všude. Polymery jsou totiž limitovány svou pevností, tuhostí, tepelnou odolností a dalšími podstatnými vlastnostmi. Pokud však do polymeru přidáme aditivum neboli formu výztuže v podobě prášku či vláken, lze získat vysoce odolné materiály, jedná se pak o kompozitní materiály.

Výhodou těchto kompozitních materiálů je jejich flexibilita a rozsáhlá škála užitných vlastností. Při širokém uplatnění kompozitů ve výrobě však narážíme na jedno úskalí, a tím je jejich životnost a opotřebení. Žádný materiál není věčný a kompozity nejsou výjimkou.

Jako příklad nám může posloužit letecký průmysl. Všechna moderní letadla jsou vyrobena z kompozitních materiálů, především z uhlíkových vláken. V současné době dochází k postupnému nahrazování stávajících letadel letadly novými právě z důvodu opotřebení. Opotřeбенá letadla jsou tak odstavena na tzv. hřbitovy letadel. Tato místa dosahují nepředstavitelných rozloh a jsou ekologickou zátěží. Kompozitní materiály vhodné pro recyklaci však nacházíme i v dalších odvětvích lidské činnosti.

1. Teoretická část

1.1. Kompozity

Kompozit je takový materiál, který obsahuje dvě nebo více komponent, které jsou svými chemickými i fyzikálními vlastnostmi odlišné. Smísením těchto komponent pak dojde k vytvoření materiálu (kompozitu), který kombinuje vlastnosti výchozích mísených komponent a dá vzniknout jedinečné materiálové struktuře jedinečných vlastností. Tento výsledný produkt

pak lze využít v konstrukčních materiálech na rozdíl od čisté pryskyřice (polymeru), která takových vlastností nedosahuje.

Výhoda kompozitních materiálů spočívá právě v možnosti kombinace komponent s odlišnými vlastnostmi. Další výhodou je pak samotná pryskyřice, též nazývána jako matrice neboli polymerní pojivo. Pryskyřici lze tvarovat do složitých tvarů, což výrazně rozšiřuje využití a aplikaci kompozitních materiálů.

Kompozity lze dělit do několika skupin. Např. dle materiálu výztuže a matrice, podle geometrického tvaru výztuže a podle použití kompozitu ve výrobku.

Tyto vlastnosti umožňují vyrobit výrobek se sníženou hmotností, čímž dojde k úspoře materiálu a k celkové úspoře energie.

V této práci je popisován kompozitní materiál, jehož matici tvoří organický polymer neboli epoxid. Výztuží jsou pak několikanásobně mletá uhlíková vlákna, která jsou v kompozitu náhodně orientovaná. (Meissner a Zilvar 1987); (Jančář 2003)

1.2. Uhlíková vlákna

Uhlíkové vlákno je druh vlákna obsahující uhlík v jeho různých modifikacích, spojující nízkou měrnou hmotnost, vysokou pevnost, modul pružnosti a tepelnou odolnost. Atomy uhlíku spojené v krystaly jsou paralelně orientovány s osou vlákna. Toto makroskopické uspořádání dává poměrně tenkým vláknům vysokou pevnost.

Uhlíková vlákna lze vyrábět z polyakrylonitrilových (PAN) či z viskóзовých vláken anebo se dají zvláknovat v tavenině z anizotropní smoly.

Prvním výrobním krokem je tzv. karbonizace prekurzoru, kterým je výchozí materiál. Při procesu karbonizace dojde k převodu prekurzoru na uhlíkové vlákno s obsahem uhlíku 95 %. Takto vzniklé uhlíkové vlákno se nazývá vysokopevnostní neboli uhlíkové vlákno nižších parametrů a využívá se v tepelných izolacích a v materiálech stínících elektromagnetické pole, kde je využíván princip Faradayovy klece.

Uhlíková vlákna prošla procesem karbonizace, lze ještě dál upravovat na vlákna grafitová. Tato úprava probíhá procesem grafitizace. Během procesu dojde k nárůstu krystalů, trojrozměrnému uspořádání grafenových rovin a ke snížení vzdálenosti mezi jednotlivými rovinami. Po dokončení dojde k navýšení obsahu uhlíku ve vlákně až na 99 %. Tato transformace je závislá především na předchozím uspořádání krystalů a na procesní teplotě.

Vlákna, která projdou i tímto volitelným procesem jsou nazývána uhlíková vlákna s vysokými mechanickými vlastnostmi neboli vysokomodulová.

Poslední fází úpravy uhlíkových vláken vyrobených z prekurzoru PAN je povrchová úprava. Nejdříve se zvyšuje povrchová energie vláken oxidací a následně se vlákna opatřují tzv. sizingem. Jedná se o elektrolytické nanesení tenké povrchové vrstvy epoxidové pryskyřice, která chrání uhlíková vlákna před poškozením a zvyšuje adhezi povrchu monofilů. Ty tak drží pohromadě v káblu.

Uhlíková vlákna dělíme na vysokopevnostní, vysokomodulová a dále se pak dělí dle prekurzoru ze kterého byla vyrobena. V této práci bylo užíváno uhlíkových vláken z PAN prekurzoru. (Morgan 2005); (Jančář 2003); (Legendre 2001); (Kořínek 2016)

1.3. Recyklovaná uhlíková vlákna

Využití kompozitních materiálů ve světě stále roste především díky jejich unikátním vlastnostem a relativně nízkým výrobním a provozním nákladům v porovnání s ostatními materiály. Kompozitní materiály vykazují unikátní vlastnosti, ale každý výrobek má svou omezenou životnost a není tomu jinak ani u kompozitů. Po uplynutí doby životnosti je nutné tyto materiály různými způsoby likvidovat či recyklovat. Po recyklaci těchto materiálů dojde

k opětovnému využití recyklovaného materiálu. Recyklát, ale nedosáhne totožných vlastností jako výchozí materiál. Proto musejí být recykláty užity na místech, pro které budou jejich nové vlastnosti dostačující. Opakovanou recyklací lze zpracovávat materiál až na kritické minimum jejich užitných vlastností. Po překročení tohoto kritického minima, již nelze materiály užít pro výrobu a lze je využít jen pro výrobu energie spalováním.

Recyklace kompozitních materiálů na bázi uhlíkových vláken se užívá ve srovnání s ostatními kompozity asi nejvíce. To je dáno hlavně vlastnostmi uhlíku. Nejzákladnějšími technologiemi pro recyklaci kompozitů jsou pyrolýza, spalování, drcení a chemické zpracování. Pro uhlíkové kompozity se pak nejčastěji využívá procesu spalování a pyrolýzy.

Metoda spalování je jednou ze základních a nejjednodušších metod recyklace odpadů. Tímto procesem lze zpracovávat vysloužilé kompozitní materiály, které dosáhly již zmiňované kritické hodnoty užitých vlastností. Kompozity jsou využity jako topný materiál za účelem výroby tepelné energie ve spalovnách.

Pyrolýza je alternativní metodou rozkladu k procesu spalování. Při pyrolýze je zamezen přístup médiím obsahující kyslík. U kompozitních uhlíkových materiálů je samotnou podstatou procesu štěpení látek, při zachování vazeb mezi uhlíkem a vodíkem. Dojde tak k odstranění matrice kompozitu odpařením za doprovodu plynů a kapalin z pryskyřice. Nesmí být však překročena teplota rozkladu uhlíkové výztuže.

Dle teploty lze dělit pyrolýzu na nízkoteplotní (pod 500 °C), středně teplotní (500–800 °C) a vysokoteplotní (nad 800 °C). Tuhým zbytkem jsou pak uhlíková vlákna. Ta lze využít při dalším procesu výroby kompozitů na uhlíkové bázi. Problémem však zůstává, že u takto separovaných vláken klesají mechanické hodnoty. Dále nejsou vlákna zcela osamocena a vyskytují se zde spečené hrudky vláken.

Chemické zpracování uhlíkových kompozitních materiálů je poměrně novou metodou vyvinutou ve společnosti Siemens. Oproti předchozí pyrolýze skrývá tato metoda několik výhod. Těmi jsou nízká energetická náročnost, a především maximální šetrnost k uhlíkovým vláknům.

Při tomto procesu dochází k zahřívání uhlíkových kompozitů na teplotu 200 °C, kdy se začne polymerní materiál přeměňovat na mnohem menší molekuly alkoholů a následně je pomocí vody odlučován od uhlíkové výztuže. Nedojde tak k výraznému ovlivnění mechanických vlastností uhlíkových vláken. Díky tomu se výrazně prodlužuje jejich životnost a rozšiřuje se pole jejich využití jakožto recyklátu. Vlákna tak mohou být znovu využita na podobné konstrukční prvky jako vlákna prvovýrobní. Pokud by byl tento proces aplikován na vysloužilé uhlíkové kompozity, mohlo by dojít k obrovským úsporám jinak vynaloženým na zpracování a výrobu nových uhlíkových vláken. (Legendre 2001); (Siemens 2014);

2. Experimentální část

2.1. Mletí uhlíkových vláken

Výchozí surovinou pro mletí byla využita již mletá uhlíková vlákna Carbiso. Mletá uhlíková vlákna Carbiso Mil 100 µm vyrobená firmou Easycomposites. Tato předem mletá uhlíková vlákna mají dobrou dispergovatelnost a jsou kompatibilní s matricí většiny termosetů. Mletá uhlíková vlákna jsou distribuována ve formě velice jemného černého prášku. Prekurzorem pro tato uhlíková vlákna je PAN.

Pro mletí uhlíkových vláken byl využit nano mlýnek Pulverisette 7 premium line firmy Fritsch. Do mechanického ústrojí jsou vkládány dvě mlecí misky. Do mlecích misek, které mají vnitřní povrch ze zirkonového materiálu je vsypán materiál, který bude semlet a přesný počet zirkonových mlecích kuliček o stejném průměru. Mlecí misky jsou uzavřeny tlakovým víčkem a zasazeny do mechanického ústrojí stroje. Na řídicí jednotce přístroje je pak zvolen průměr mlecích kuliček, požadovaný počet otáček za minutu a délka trvání procesu mletí v minutách.

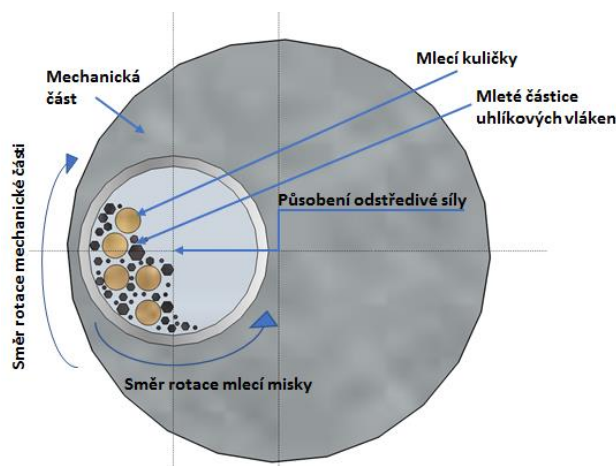
Po semletí je veškerý obsah mlecí misky vyjmut a pomocí síta oddělen na semletý materiál a mlecí kuličky. Na konci celého procesu jsou mlecí misky čištěny. (Easycomposites 2015); (Fritsch GmbH 2018)

2.1. Princip a postup mletí uhlíkových vláken

Do mlecí misky je vsypáno odvážené množství 15 g uhlíkových vláken Carbiso a 12 ks. mlecích kuliček o průměru 10 mm. Mlecí miska o obsahu 80 ml je uzavřena tlakovým uzávěrem a je vložena do mechanické části stroje. Do mechanické části stroje lze vložit dvě uzavřené mlecí misky. Obě misky musí obsahovat stejné množství kuliček totožného průměru. Po vložení mlecích misek do přístroje následuje nastavení mlecích parametrů. Je nastavena rychlost otáčení mechanické části na hodnotu 850 ot/min. Dále je nastaven průměr kuliček na hodnotu 10 mm a doba trvání procesu mletí na 5 min. Stroj je uzavřen a probíhá proces mletí.

Při procesu mletí dochází k rotaci mechanické části ve směru hodinových ručiček o rychlosti 850 ot/min. Směr rotace mlecí misky je protichůdný oproti rotaci mechanické části. Uvnitř mlecí misky působí odstředivá síla na mlecí kuličky a mleté částice uhlíkových vláken. Díky působení odstředivé síly a protichůdným rotacím mechanické části a mlecí misky dochází k mletí uhlíkových částic mlecími kuličkami. Mlecí kuličky rotují a poskakují v mlecí misce a narážejí do kuliček okolních a do stěn mlecí misky. Kuličky mezi sebou mají uhlíkové částice, které jsou soustavnými nárazy kuliček drceny a mlety na mnohem menší částice, než byla velikost uhlíkových částic na začátku procesu mletí.

Parametry nastavení přístroje byly provedeny na základě předchozích měření pracovníky laboratoře, při kterých byly právě tyto parametry vypořádovány jako nejvhodnější pro tento typ zpracovávaného materiálu. Princip mletí kuliček je přesněji znázorněn na následujícím schématu. (Rowe 2009); (Fritsch GmbH 2018)



Obrázek 1 : Schéma principu mletí uhlíkových vláken v mlýnku

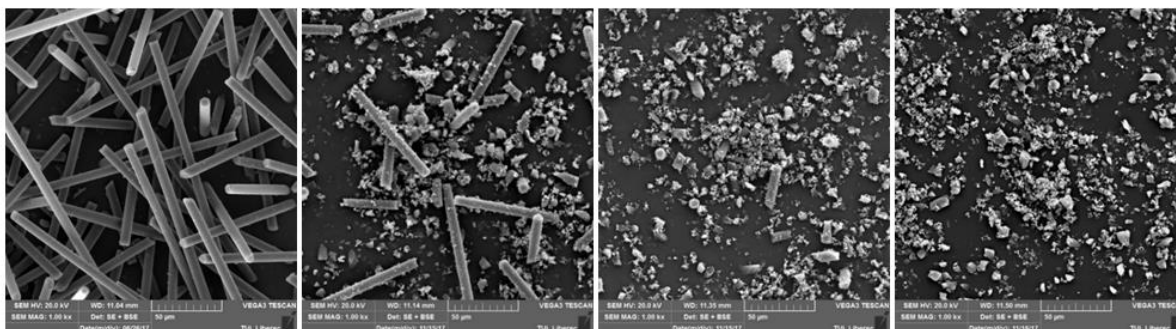
2.2. Zhodnocení mlecího procesu uhlíkových vláken

Pro účely této práce byla mleta uhlíková vlákna Carbiso v mlýnku celkem 3×. Následně byl namletý materiál vložen pod skenovací elektronový mikroskop (SEM), kde byly pořízeny mikroskopické snímky. Snímky zachycují a znázorňují materiál po jednotlivých průchodech mlýnkem viz obr. 2.

Na snímku prvním snímku zleva můžeme pozorovat výchozí surovinu. Tedy výrobcem připravená uhlíková vlákna o délce 100 μm a průměru 7,5 μm . Druhý snímek zleva zobrazuje uhlíková vlákna po prvním procesu mletí. Materiál obsahuje mleté částice uhlíkových vláken i nerozemletá vlákna. Tato geometrická nestejnost částic o průměru 6,5 μm byla dána krátkou dobou procesu mletí. Této krátké doby bylo užito z důvodu velkého uvolňování energie

při procesu mletí převážně v podobě tepla. Přílišná zvyšující se teplota při chodu stroje by mohla zapříčinit negativní vliv na práci stroje a mohla by ovlivnit zpracováváný materiál, při překročení stanovené doby mletí.

Třetí snímek zobrazuje materiál, který prošel druhým procesem mletí. Podruhé mletý materiál je tvořen převážně menšími mletými částicemi, stále však můžeme v rozemletém materiálu pozorovat malé kousky nerozemletých vláken. Průměr mletých částic činí $3,8\ \mu\text{m}$ a geometrie materiálu dosahuje větší stejnoměrnosti. Poslední snímek zobrazuje materiál, který prošel procesem mletí třikrát. Při třetím procesu mletí již došlo k plnému rozemletí uhlíkových vláken na malé částice dosahující své průměrnou naměřenou velikostí $3,6\ \mu\text{m}$. Ve skutečnosti zde nalézáme částice mnohem menší. Měřicí přístroj však detekoval mnoho shlukovaných částic, a proto je průměrná hodnota takto vysoká ve srovnání s $2\times$ mletými částicemi.



Obrázek 2 :obrazové zhodnocení mlecího procesu uhlíkových vláken

Při porovnání všech snímků lze ověřit, že s opakujícím se procesem mletí aplikovaným na jeden hmotnostní vzorek materiálu dochází ke zmenšování uhlíkových částic na částice s rozměry jednotek mikrometrů.

Proces mletí uhlíkových vláken v mlýnku je vzhledem k časové náročnosti a výslednému množství, vhodný spíše pro laboratorní účely. Pokud bychom chtěli tento proces uplatnit při průmyslové výrobě, museli bychom využít mlecí stroje s větším mlecím ústrojím, kam by mohlo být vloženo větší množství zpracovávaného materiálu.

Intenzifikací mlecího procesu by mohlo být lepší řešení odvodu tepelné energie vznikající při mlecím procesu. Řešením tohoto problému by mohlo být například chladicí médium na bázi vody či oleje, které by obklopovalo mlecí misku a proces jejího zahřívání by mohl být zpomalen. Při nastavování parametrů přístroje, by musel být brán zřetel na přítomnost těchto médií, zvláště pak při nastavování otáček mlecí misky.

Dalším intenzifikátorem mlecího procesu by mohla být výměna zirkonových mlecích kuliček za mlecí kuličky vyrobené z jiného materiálu. Z podstaty zirkonu by však při použití jiných materiálů jako jeho náhrady, docházelo k rychlejšímu opotřebení mlecích kuliček, a tudíž k neekonomické bilanci. Srovnatelným materiálem k zirkonu dle jeho tvrdosti je chrom.

Vlákna, která prošla třetím procesem mletí, nebyla při následující výrobě epoxidových vzorků užita z důvodu časové náročnosti experimentu. Budou použita pro přípravu dalších vzorků pro diplomovou práci.

2.3. Výroba epoxidových vzorků

Výroba epoxidových vzorků probíhá postupným mísením určitého množství epoxidové pryskyřice a tužidla. Pro tvorbu epoxidového vzorku s příměsí uhlíkových vláken jsou do tužidla tato vlákna aplikována, a to před přidáním epoxidové pryskyřice. Veškeré mísení probíhá za neustálého míchání na magnetickém míchadle.

Na laboratorní váze navážíme do kádinky $28\ \text{g}$ ($\pm 0,2\ \text{g}$) epoxidové pryskyřice L 258 (MGS), dále jen pryskyřice. Do druhé kádinky navážíme $8\ \text{g}$ ($\pm 0,2\ \text{g}$) tužidla H 508, dále jen tužidlo.

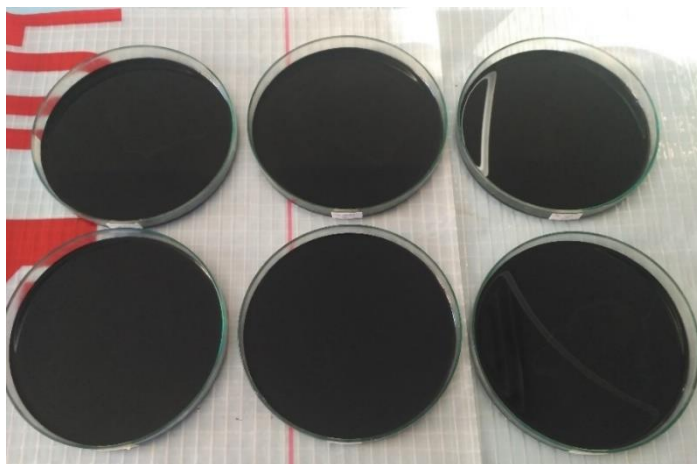
Kádinku s tužidlem vložíme na elektromagnetické míchadlo. Do kádinky s tužidlem vložíme magnet a míchadlo zapneme. Do kádinky s tužidlem přidáme předem navážené množství pryskyřice a obě látky necháme míchat po dobu 3 minut při laboratorních podmínkách. Vytváříme-li vzorek s příměsí uhlíkových vláken, vsypeme určité množství vláken do tužidla před přidáním pryskyřice. Míchadlo necháme pomalu promíchávat obě látky do doby, než dojde alespoň k částečnému promísení obou látek. Z pravidla dojde k promísení obou látek téměř okamžitě nejpozději do 2 minut. Poté přidáme odvážené množství pryskyřice a necháme míchat po dobu 3 minut.

Po uplynutí doby míchání vypneme magnetické míchadlo a z kádinky vyndáme magnet pomocí magnetické tyčinky. Pryskyřici z kádinky přelijeme do připravené formy uložené na laboratorní desce, která je vodorovně vyvážená. Proces odlití vzorku musí proběhnout do 15 minut od smísení tužidla a epoxidové pryskyřice, tzv. gel time. Po uplynutí této doby dojde k nevratné chemické reakci zesíťováním prepolymerů tužidla a pryskyřice. Výsledná látka tak začne tuhnout a nelze ji odlít do připravené formy tak, aby došlo k rovnoměrnému rozliti ve formě. U vzorku by tak nebylo dosaženo konstantní vrstvy o stejné tloušťce a vzorek by byl nevhodný pro následné mechanické testování.

Ve formě je pak pryskyřice ponechána po dobu 24 hodin při laboratorních podmínkách a pokojové teplotě. Po 24 hodinách je naplněná forma vložena do horkovzdušné pece a tvrzena po dobu 15 hodin při teplotě 60 °C. Po uplynutí doby vytvrzování je pryskyřice z formy jednoduše vyjmuta.

Na konci tohoto procesu vznikne epoxidový vzorek kruhového tvaru o průměru 15 cm a konstantní tloušťce 3 mm ($\pm 0,5$ mm). Výsledný vzorek má vysoce lesknoucí, nelepivý povrch s ostrými hranami. Takto připravený vzorek je připraven pro další zpracování.

Pro účely práce byl vytvořen vzorek epoxidové pryskyřice bez příměsí uhlíkových vláken. Dále byly vytvořeny vzorky s 1; 2; 3; 4 a 5 % koncentrací uhlíkových vláken, a to s uhlíkovými vlákny dodanými výrobcem, 1×mletými uhlíkovými vlákny a 2×mletými uhlíkovými vlákny. Všechny zmíněné vzorky byly dále podrobeny mechanickému testování.



Obrázek 3 : Vzorky s příměsí uhlíkových vláken po vyndání z pece

2.4. Testování mechanických vlastností

Uhlíkové kompozitní materiály lze mechanicky testovat hned několika normovanými způsoby. V této bakalářské práci byly provedeny zkoušky:

- Stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy ČSN EN ISO 179-1
- Stanovení ohybových vlastností metodou tříbodového ohybu ČSN EN ISO 14125

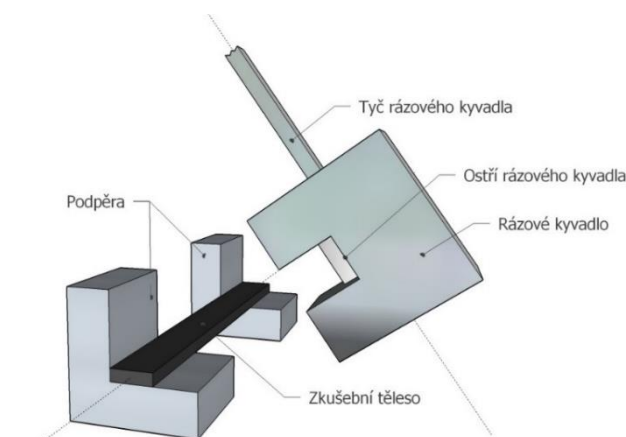
2.4.1. Zkouška rázové houževnatosti Charpyho metodou

„Tato metoda ČSN EN ISO 179-1 je vhodná pro zkoušení materiálů vykazujících mezi vrstvý smykový lom a je určena pro kompozitní materiály plněné vlákny na bázi reaktoplastů nebo termoplastů vyztuženými v jednom nebo více směrech.“

„Zkušební těleso umístěné vodorovně na podpěrách je přeráženo úderem rázového kyvadla, přičemž směr rázu je veden středem vzdálenosti mezi podpěrami.“

(Český normalizační institut 2011)

Bylo provedeno vždy 5 měření vzorku stejných rozměrů o stejné koncentraci příměsí uhlíkových vláken. Takto byly otestovány všechny skupiny vzorků o rozdílných koncentracích uhlíkových vláken. Výsledkem zkoušky byla hodnota rázové houževnatosti A [J/m²].



Obrázek 4 : Schéma Charpyho rázové zkoušky ČSN EN ISO 179-1

2.4.2. Zhodnocení výsledků zkoušky rázové houževnatosti

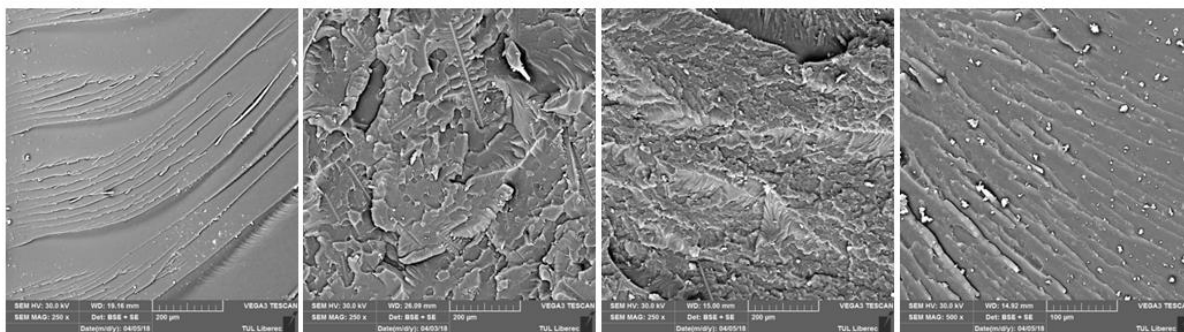
Nejlepších hodnot rázové houževnatosti (58 J/m²) dosáhl vzorek s 3 % koncentrací 2×mletých uhlíkových vláken. O něco nižších hodnot pak dosahovali vzorky s vlákny dodanými výrobcem. Vzorky s 1×mletými uhlíkovými vlákny vykazovali nízké hodnoty rázové houževnatosti.

Dle naměřených výsledků má na mechanické vlastnosti kompozitu vliv geometrie částic obsažených v epoxidové pryskyřici. Geometrie vzorků s nemletými uhlíkovými vlákny je stejnoměrná. Nemletá uhlíková vlákna jsou ve tvaru válce o průměru 7,5 μm a o délce 100 μm. Veškerá nemletá uhlíková vlákna jsou tedy stejného tvaru. U vláken, která prošla jedním mlecím procesem je geometrie částic nestejnoměrná. V kompozitu jsou obsaženy malé částičky rozemletých vláken tak i velké válcové části vláken. U 2×mletých uhlíkových vláken lze opět hovořit o stejnoměrné geometrii mletých částic. Viz kapitola 2.2.

Hodnoty výsledků mechanického testování mohly být ovlivněny konkrétní náhodnou orientací vláken v kompozitním materiálu v místě přerážení vzorku Charpyho kladivem. Ovlivnění hodnot mohlo být způsobeno procesem tuhnutí matrice kompozitu při jeho výrobě, kdy mohlo dojít k pohybu vláken v matrici vlivem uvolňování vnitřních sil mezi částicemi. K ovlivnění hodnot mohlo také dojít nedostatečným rozmícháním uhlíkových vláken a také tokem materiálu při jeho vlévání do formy anebo díky odlišným laboratorním podmínkám při tvorbě kompozitů.

2.4.3. Obrazové zhodnocení výsledků zkoušky rázové houževnatosti

Po provedení rázové zkoušky byla provedena SEM analýza lomů testovaného materiálu.



Obrázek 5 : obrazové zhodnocení lomů vzniklých rázovou zkouškou

Na prvním snímku zleva můžeme pozorovat lom epoxidového vzorku bez výztuže uhlíkovými vlákny. Snímek zobrazuje malé trhliny v materiálu dlouhé až 3 mm vzniklé nárazem kyvadla do vzorku. Došlo tak k porušení celistvosti struktury a k nevratné deformaci vzorku. V blízkosti trhlín lze pozorovat i malé úlomky materiálu, které byly uvolněny při lomu.

Druhý snímek zleva zobrazuje lom kompozitního materiálu s výztuží z uhlíkových vláken, které neprošli procesem mletí. V testovaném vzorku nedošlo k tvorbě jednosměrně orientovaných trhlín, jako tomu bylo u čisté pryskyřice. Došlo zde k tvorbě trhlín orientovaných všemi směry. Trhliny vytvářejí jakési ostrovy, což je způsobeno právě výztuží z uhlíkových vláken. Při nárazu kladiva na vzorek došlo k tvorbě trhliny, ta se vlivem působení síly šířila dál od místa nárazu kladiva. Takto rozrůstající se trhlina narážela na místa s uhlíkovými vlákny, o která se větвила a došlo tak k vytvoření ostrovů s vlákny obklopenými trhlínami.

Na třetím snímku zleva můžeme pozorovat lom kompozitu s 1×mletými uhlíkovými vlákny. V porovnání s materiálem obsahujícím nemletá uhlíková vlákna jsou zde trhliny lineárnější od směru nárazu kladiva. Tento jev způsobují menší částice mletých vláken. Trhlina tak při jejím šíření nemusí obcházet tak velký kus vlákna jako tomu bylo u předchozího vzorku. Stále však dochází k tvorbě ostrovů.

Na posledním snímku jsou viditelné miniaturní trhliny, které jsou lineárního průběhu ve srovnání s předchozími vzorky obsahujícími výztuž. To je způsobeno obsahem 2×mletých uhlíkových vláken se stejnoměrnými rozměry.

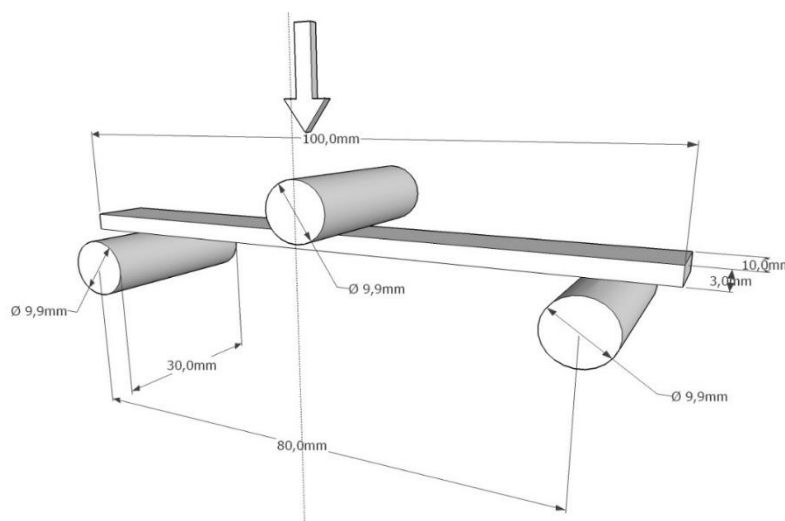
Ze snímků vyplývá, že obsah uhlíkových vláken v kompozitním materiálu má vliv na jeho vnitřní uspořádání a na jeho strukturní vlastnosti

2.4.4. Zkouška ohybových vlastností třibodovým ohybem

Tato metoda ČSN EN ISO 14125 je určena pro vlákna vyztužené plastové kompozity na bázi reaktoplastů a termoplastů. Do této normy jsou zahrnuty i nové typy vláken využívaných v kompozitech, uhlíková a aramidová.

Jedná se o statickou zkoušku, jejímž cílem je stanovení průhybu testovaného materiálu. Zkušební těleso je umístěno ve zkušební přípravku, kde je ohýbáno konstantní rychlostí, dokud nedojde k jeho porušení nebo dokud deformace nedosáhne předem stanovených hodnot. V průběhu zkoušky se měří průhyb a síla působící na těleso. (Český normalizační institut 1999) Bylo provedeno vždy 5 měření vzorku stejných rozměrů o stejné koncentraci příměsi uhlíkových vláken. Takto byly otestovány všechny skupiny vzorků o rozdílných koncentracích uhlíkových vláken v matrici. Maximální zatěžování testovaného vzorku bylo nastaveno tak, aby nedošlo k destrukci vzorku. Příčník stroje se posouval z výchozí polohy o 1,5 mm směrem proti testovanému vzorku uloženému na podpěrách.

Výsledkem zkoušky byly hodnoty ohybového napětí σ_f [MPa] a modulu pružnosti E_f [MPa].



Obrázek 6 : schéma zkoušky tříbodovým ohybem ČSN EN ISO 14125

2.4.5. Zhodnocení zkoušky tříbodovým ohybem

Nejvyšších hodnot modulu pružnosti (3917 MPa) dosáhl vzorek s 3 % koncentrací nemletých uhlíkových vláken. Vysokých hodnot dosahovali i vzorky s 2×mletými uhlíkovými vlákny. Vzorky s 1×mletými uhlíkovými vlákny vykazovali nižší hodnoty modulu pružnosti, což souvisí s nestejnou geometrií částic plniva v těchto vzorcích.

Při zjišťování ohybového napětí dosáhl nejvyšších hodnot (15,39 MPa) vzorek s 5 % koncentrací nemletých uhlíkových vláken. Nepatrně nižší hodnoty (15,13 MPa) vykazoval i vzorek s 3 % koncentrací nemletých vláken.

Závěr

Uhlíkové kompozity jsou v dnešní době široce užívaným materiálem k výrobě a konstrukci. Jsou široce užívané v mnoha odvětvích průmyslu. Dříve se využívaly tyto materiály především v kosmonautice a letectví. Dnes je nalézáme v širokém zastoupení i v automobilovém, strojním, vojenském či sportovním průmyslu.

Práce se zabývá vlivem mletí recyklovaných uhlíkových vláken na uhlíkové kompozitní materiály. Z těchto mletých vláken byly vyrobeny vzorky o různých koncentracích a následně byly testovány jejich mechanické vlastnosti.

Mechanické vlastnosti byly testovány rázovou zkouškou Charpyho metodou a zkouškou tříbodového ohybu.

Obrazová analýza společně s naměřenými hodnotami mechanického testování dokazují vliv mletých uhlíkových vláken na mechanické vlastnosti epoxidových kompozitů.

Optimální koncentrace uhlíkových vláken v kompozitu činila 5 % nemletých vláken nebo 3 % 2×mletých uhlíkových vláken. Tyto uvedené koncentrace se jeví jako vhodné pro zlepšení mechanických vlastností v uhlíkových kompozitech. Obsahují vhodné množství uhlíkových částic se stejnou geometrií, které vylepšují námi testované mechanické vlastnosti.

Uhlíkové kompozity vynikají unikátními vlastnostmi, ale jejich výroba je obtížná a ekonomicky náročná. V poslední době stále roste poptávka po těchto materiálech. Proto se klade stále větší důraz na recyklaci těchto materiálů. Již dnes nalézáme mnohá skladiště vysloužilých výrobků z kompozitních materiálů, která jsou velkou ekologickou zátěží. Recyklace takovýchto materiálů je však obtížná, především díky složení kompozitu, který je složen z více materiálů odlišných chemických i fyzikálních vlastností.

Literatura

1. ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1999. ČSN EN ISO 14125. Česká republika, 1999.
2. ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2011. ČSN EN ISO 179-1. Česká republika, 2011.
3. EASYCOMPOSITES, 2015. *Milled Carbon Fibre Powder* [online] [vid. 2018-01-05]. Dostupné z: <http://www.easycomposites.co.uk/#!/resin-gel-silicone-adhesive/filler-powders-and-additives/general-fillers-and-additives/milled-carbon-fibre-powder.html>
4. FRITSCH GMBH, 2018. *Planetary Micro Mill Pulverisette 7 premium line* [online] [vid. 2018-02-05]. Dostupné z: <http://www.fritsch-international.com/sample-preparation/milling/planetary-mills/details/product/pulverisette-7-premium-line/>
5. JANČÁŘ, Josef, 2003. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. První. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická. ISBN 80-214-2443-5.
6. KOŘÍNEK, Zdeněk, 2016. *Kompozity - vlákna pro kompozity* [online]. Dostupné z: https://drive.google.com/file/d/0B8vQSuH1vI_vV1l5RHg1SIFPNW8/view
7. LEGENDRE, André, 2001. *Uhlíkové materiály: Od černé keramiky k uhlíkovým vláknům*. Praha: INFORMATORIUM. ISBN 80-86073-82-3.
8. MEISSNER, Bohumil a Václav ZILVAR, 1987. *Fyzika polymerů, Struktura a vlastnosti polymerních materiálů*. První. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n.p.
9. MORGAN, Peter, 2005. *Carbon fibers and their composites*. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis Group. ISBN 0824709837, 9780824709839.
10. ROWE, W.B., 2009. *Principles of Modern Grinding Technology*. 1. vyd. Oxford: Wiliam Andrew. ISBN 978-0-81-552018-4.
11. SIEMENS, 2014. Recyklovaný uhlík jako nový. *Siemens, s.r.o.* [online] [vid. 2018-04-11]. Dostupné z: https://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/o_nas/inovace/archiv/Pages/uhlik-jako-novy.aspx

MODIFIKACE NANOVLÁKENNÝCH VRSTEV L-ARGININEM

Zuzana Oulehlová

Sekce — TEXTIL,

Fakulta textilní, 3. ročník

Bakalářský studijní program — Textilní technologie, materiály a nanomateriály

Abstrakt: Tato práce se zabývá vývojem, výrobou a testováním materiálů určených k hojení kožních poranění a použití pro kardiovaskulární systém. Pro testování byly vyrobeny nanovlákněné polykaprolaktonové vrstvy s aktivní složkou. Aktivní látkou byl L-Arginin, který je přirozeným donorem oxidu dusnatého. Byly použity polykaprolaktonové vrstvy s koncentrací L-Argininu od 0 do 10 hm%, byla charakterizována morfologie vrstev, byla provedena kvantifikace uvolňování L-Argininu z vrstev a biologické testování.

L-Arginin měl vliv na morfologii vrstev, zvyšoval plošnou hmotnost vrstev a hydrofobicitu. Uvolňování aktivní látky z nanovlákněných vrstev probíhalo v pufru pozvolněji a výsledná koncentrace byla vyšší než u uvolňování v kompletním médiu. Vlivem samotného L-Argininu nedocházelo ke zvýšení viability fibroblastů, byl pro ně toxický při koncentraci vyšší než 1 %. Buňky byly inkubovány s extrakty, které byly odebrány v rozmezí 1 h až 14 dní. Viabilita fibroblastů klesla pod mez cytotoxicity pouze u 14denního extraktu vrstvy s 10 hm% L-Argininu.

Klíčová slova: L-Arginin, Oxid dusnatý, Polykaprolakton, Elektrostatické zvláknění, Cílené dodávání léčiv

1 Úvod

Elektrostaticky zvlákněné nanovrstvy mají vhodné vlastnosti pro použití jako kožní kryty. Tkáňové nosiče umožňují propustnost plynů, jsou adhezivní k ráně a během dlouhodobé degradace nedochází v místě aplikace k negativním účinkům [1]. Inkorporace aminokyseliny L-Argininu do nanovlákněných vrstev by mohla urychlit proces hojení. L-Arginin je přirozeným donorem oxidu dusnatého (NO), který má vliv na hojení ran, konkrétně například zvyšuje proces tvorby nových krevních kapilár, ovlivňuje proces zánětu a má vliv na zvýšení obsahu kolagenu při hojení [2]. Oxid dusnatý také ovlivňuje kardiovaskulární systém, jeho přítomnost například přispívá k rozšíření cév [3, 4]. Dalším potenciálním využitím PCL nanovlákněných vrstev modifikovaných L-Argininem je jako cévní náhrady, kde by působení NO zamezovalo ucpávání cév.

Tato práce se zaměřuje na problematiku PCL nanovlákněných vrstev, které obsahují aktivní látku L-Arginin. Konkrétně se práce soustředí na uvolňování L-Argininu, jeho kvantifikaci, biologické testování použitých materiálů a vliv koncentrace aktivní látky.

2 Materiály a metody

2.1 Příprava materiálů

Pro přípravu roztoků byl použit polykaprolakton rozpouštěný v systému chloroform/ethanol v objemovém poměru 9/1. Byly připraveny roztoky o koncentraci 16 hm% PCL ($M_n = 45\,000$ g/mol; Sigma Aldrich) s přísadkou L-Argininu (Sigma Aldrich) v podobě namletého prášku o 0, 1, 5 a 10 hm%. Po přípravě byly roztoky/suspenze ihned zvlákněny. Planární vrstvy byly elektrostaticky zvlákněny pomocí přístroje Nanospider™ NS LAB (Elmarco). Zvlákněná byla 100 g roztoku o 16 hm% PCL o dané koncentraci L-Argininu. Zvláknění probíhalo za následujících parametrů: napětí 50 kV (struna) a -10 kV (kolektor), rychlost nanášení 300 mm/s, vzdálenost struny a kolektoru byla 200 mm. Okolní podmínky byly: teplota 23 °C a relativní vlhkost 30 %.

2.2 Charakterizace nanovlákněných vrstev

Morfologie materiálů byla zanalyzována pomocí skenovací elektronové mikroskopie (SEM). V rámci hodnocení morfologie byly měřeny ze SEM snímku průměry vláken (NIS Elements AR 4.30.00). Od každého materiálu byly pořízeny dva snímky ve zvětšení 5000×,

z každého snímku bylo pořízeno minimálně 200 měření. Plošná hmotnost byla zjištěna zvážení vzorků (1×1 cm, $n = 32$) a byla přepočítána na g/m^2 . Smáčivost byla zjišťována měřením kontaktního úhlu smáčení metodou sedící kapky (Surface Energy Evaluation, See System Advex Instruments) destilované vody ($n = 20$).

2.3 Uvolňování L-Argininu

V rámci experimentální části proběhly dva experimenty uvolňování L-Argininu. Bylo testováno uvolňování L-Argininu z nanovlákných vrstev s 0 – 10 hm% L-Argininu (50 ± 2 mg) po dobu 14 dnů po inkubaci ve 37°C ve fosfátovém pufru (PBS; $\text{pH} = 7,4$; $n = 3$) a v kompletním médiu DMEM ($n = 1$) s přidavkem séra (10%) a antibiotik (1%). Výluhy byly odebrány v pěti časových intervalech (1 h, 4 h, 24 h, 168 h a 336 h).

Uvolňování L-Argininu z PCL vrstev bylo hodnoceno vysoce účinnou kapalinovou chromatografií. Při kvalifikaci uvolněného L-Argininu do média byla odečtena hodnota L-Argininu, kterou obsahovalo samotné médium, aby byla získána pouze hodnota uvolněné aktivní látky.

2.4 Biologické testování

V rámci testování hemokompatibility byla zjišťována trombogenicita ($n = 12$), koagulace aPTT a PT ($n = 10$) a hemolýza ($n = 5$), všechny testy byly provedeny dle metod uvedených v článku Horákové (2017) [5].

Metodika testování cytotoxicity fibroblastů (3T3-SA) vycházela z normy ČSN EN ISO 10993-5 [6]. Pro testování byly připraveny roztoky s koncentrací L-Argininu 0,2 % – 10 % a s extrakty nanovlákných vrstev s obsahem L-Argininu získané při uvolňování L-Argininu v médiu.

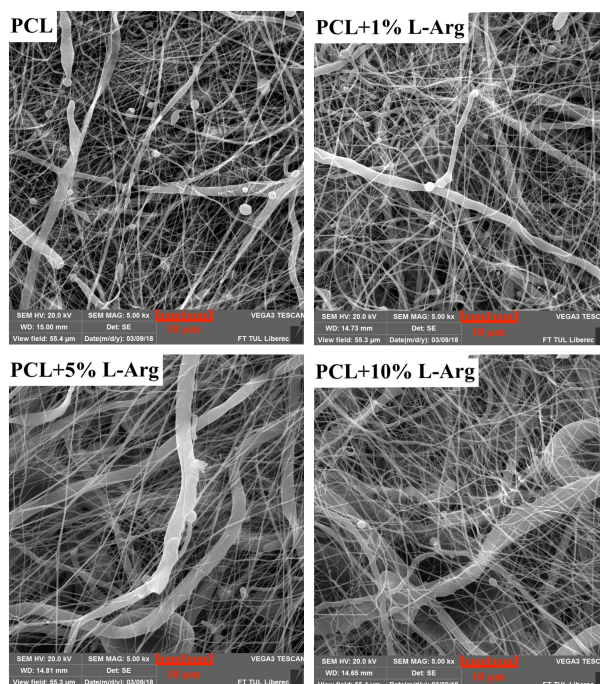
2.5 Zpracování dat

Data byla zpracována v programu GraphPad Prism 7 Software. Hodnoty zpracovávaných dat byly uváděny 95% intervalem spolehlivosti (IS). Hodnoty skupin vzorků byly porovnány vzájemně nebo s kontrolou Bonferroniho parametrickým testem (pro normální rozdělení dat) nebo Kruskal-Wallis neparametrickým testem (pro nenormální rozdělení dat). Významnost odlišnosti je v grafech značena hvězdičkami, pokud nebyla významná ($p > 0,1234$), není v grafech značena.

3 Výsledky a diskuze

3.1 Charakterizace nanovláknenných vrstev

Z makroskopického pohledu byly zvlákněné vrstvy homogenní s minimem defektů. V mikroskopickém měřítku byly testované nanovláknenné PCL vrstvy nehomogenní, vlákna nebyla orientována ani uspořádána. V nanovláknenné vrstvě se objevovaly defekty v podobě polymerních kapek; u vrstev s L-Argininem byl jejich výskyt častější a kapky byly větší. Ve všech nanovláknenných vrstvách se objevovala tenká i širší vlákna, viz obr. 1.



Obr. 1: SEM nanovláknenných PCL vrstev s 0–10 hm% L-Argininu, měřítko 10 μ m.

Výsledky hodnocení průměrů vláken, plošné hmotnosti a smáčivosti jsou zobrazeny v tab. 1. Průměry vláken PCL vrstev se pohybovaly okolo 300 nm. Nejtenčí vlákna byla u čisté PCL nanovláknenné vrstvy, přítomnost L-Argininu ve vrstvách měla vliv na průměr vláken, se vzrůstající koncentrací L-Argininu byly naměřeny větší průměry vláken. Pouze vrstva PCL s 10 hm% L-Argininu (95% IS (317,9; 382,5)), u které se průměry vláken příliš nelišily od vrstvy s 5 hm% (95% IS (362,6; 487,4)).

Plošná hmotnost materiálů se pohybovala v rozmezí od 41,6 do 117 g/m². Vyrůstala s rostoucím podílem aktivní složky, L-Argininu. Nejnížších hodnot nabývala planární vrstva PCL, 95% IS (41,6; 44,5) g/m². Naopak nejvyšší plošnou hmotnost měla nanovláknenná PCL vrstva obsahující 10 hm% L-Argininu, 95% IS (103,5; 117,7) g/m².

Kontaktní úhel všech materiálů byl větší než 90°, tudíž se jedná o materiál hydrofóbní. S rostoucím hm% L-Argininu byl kontaktní úhel větší, u 10 hm% nepatrně klesá. Nejvíce hydrofóbním testovaným materiálem byla PCL vrstva s 5 hm% L-Argininu, 95 % IS byl (127,2; 131,5)°. Polykaprolakton je hydrofóbní materiál a jeho hydrofobicita se s inkorporací L-Argininu zvyšovala. Což není příliš vhodné pro buňčnou adhezi. Ideální materiál pro buňky je mírně hydrofilní, tudíž jeho kontaktní úhel se pohybuje mezi 40–80° [7].

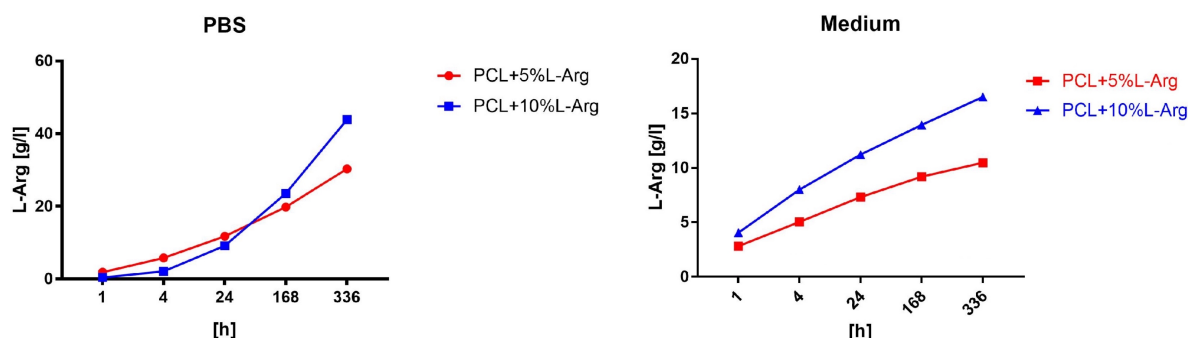
Tab. 1: 95% intervaly spolehlivosti výsledků charakterizace nanovláknenných vrstev

	průměr vláken [nm]	plošná hmotnost [g/m ²]	kontaktní úhel [°]
PCL	(268,7; 331,5)	(41,6; 44,5)	(103,9; 112,7)
PCL + 1 hm% L-Arg	(280,4; 373,5)	(61,2; 68,9)	(118,1; 121,4)
PCL + 5 hm% L-Arg	(362,6; 487,4)	(63,5; 75,8)	(127,2; 131,5)
PCL + 10 hm% L-Arg	(317,9; 382,5)	(103,5; 117,7)	(122,3; 125,6)

3.2 Uvolňování L-Argininu

Účelem testování uvolňování L-Argininu z PCL nanovláknenných vrstev bylo zjistit, jaké množství se z vrstev s různým hm% aktivní látky uvolní během 14denní inkubace. Obr. 2 zobrazuje výsledky uvolňování L-Argininu z PCL vrstev s 5 hm% a 10 hm% L-Argininu v PBS v porovnání s uvolňováním v kompletním médiu po dobu 14 dní (336 h).

U vzorků inkubovaných v kompletním médiu z nanovláknenné vrstvy s 5 hm% L-Argininu bylo celkové uvolněné množství 10 g/l a u nanovláknenné vrstvy s 10 hm% L-Argininu 16,5 g/l. Uvolňování L-Argininu se v médiu a v PBS lišilo. V PBS byl průběh uvolňování pozvolný a k největšímu nárůstu koncentrace aminokyseliny došlo po 7 a 14 dnech. V médiu se L-Arginin uvolnil rychleji, ale koncentrace L-Argininu po 14 dnech uvolňování byla nižší než po inkubaci v PBS (u vrstvy s 5 hm% L-Arginin 30 g/l; 10 hm% L-Arginin 43 g/l).



Obr. 2: Uvolňování L-Argininu z PCL nanovláknenných vrstev s 5 a 10 hm% L-Argininu v PBS (vlevo) a v kompletním médiu (vpravo) po dobu 336 h

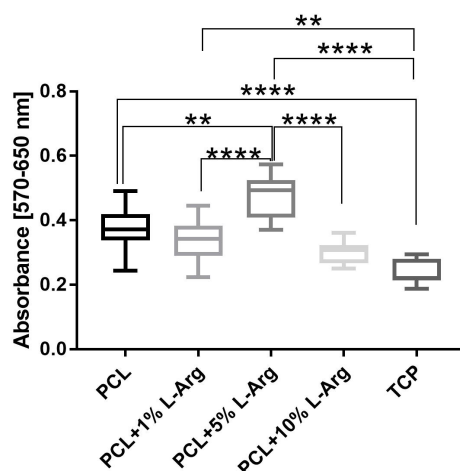
3.3 Biologické testování

3.3.1 Trombogenicita

Výsledky testování trombogenicity jsou shrnuty v grafu na obr. 3. Nejvyšší viabilita trombocytů byla zjištěna u PCL s 5 % L-Argininu, 95% IS absorbance (0,4; 0,5), naopak nejnižší hodnoty byly u kontrolního TCP, 95% IS (0,2; 0,3). Rozdíly v hodnotách absorbance u jednotlivých materiálů mohly být způsobeny nepravidelností povrchu, která mohla vzniknout při manipulaci se vzorky pinzetou. Například mohlo dojít k ohybům vzorku nebo vlivem tlaku k mírným prohlubním.

Ačkoli NO snižuje adhezi a aktivaci trombocytů, při testování přítomnost L-Argininu ve vrstvách neměla vliv na jejich aktivitu, protože nebyl přítomný vhodný enzym, aby došlo k přeměně L-Argininu na L-citrullin, kdy dochází k uvolnění NO. Protože v krevní plazmě se tyto enzymy nevyskytují, nebyl předpokládán výrazný efekt. Plazma by ale mohla v malé míře

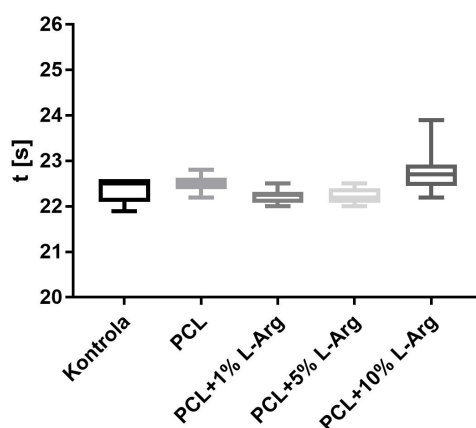
obsahovat bílé krvinky, což by podpořilo vznik NO, mohlo by to být důvodem mírného poklesu aktivity krevních destiček u PCL s 10 hm% L-Argininu. Směrodatnější bude testování materiálů s plnou krví, které bude v budoucnu provedeno.



Obr. 3: Absorbance měřená MTT testem po 2 h inkubace se suspenzí s trombocyty a kontrola (TCP), Bonferroniho test; ** $p < 0,0021$; **** $p < 0,0001$; $n = 10$.

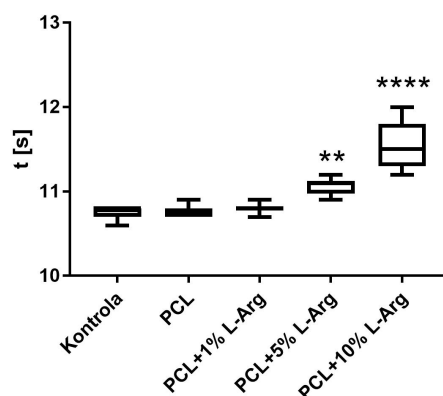
3.3.2 Koagulace

Výsledky aktivovaného parciálního tromboplastinového času (aPTT) jsou zpracovány v grafu na obr. 4. APTT čas materiálů se navzájem příliš neliší, pohyboval se v rozmezí od 22 do 23 s, což odpovídá i kontrole. Mírně vyšších hodnot nabývá vzorek PCL s 10 hm% L-Argininu.



Obr. 4: Výsledky aktivovaného parciálního tromboplastinového času (aPTT) testovaných materiálů (PCL + 0–10 hm% L-Argininu) v porovnání s kontrolou, Kruskal-Wallis test; žádné statisticky významné odlišnosti; $n = 10$

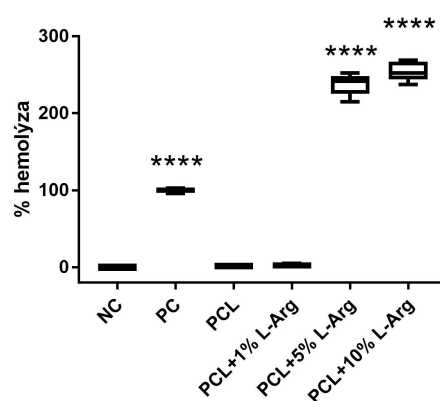
Obr. 5 zobrazuje výsledky Quickova testu (PT). Testovaný materiál více reagoval při testování PT – vnější a společné cesty koagulace. Hodnoty vzorků PCL a PCL s 1 hm% L-Argininu se od kontroly nelišily, jejich 95% IS byl (10,75; 10, 85). Vzorky s 5 hm% a 10 hm% L-Argininu se od kontroly lišily, jejich čas byl vyšší, u PCL s 5 hm% L-Argininu byl 95% IS (10,98; 11,14) a u PCL s 10 hm% L-Argininu (11,37; 11,73).



Obr. 5: Výsledky Quickova testu (PT) testovaných materiálů (PCL + 0–10 hm% L-Argininu) v porovnání s kontrolou, Kruskal-Wallis test; ** $p < 0,0021$; **** $p < 0,0001$; $n = 10$.

3.3.3 Hemolýza

Výsledky testování hemolýzy zobrazuje obr. 6. U vzorků z PCL a PCL s 1 hm% L-Argininu byla zjištěna 0% hemolýza, u vzorků z PCL s 5 hm% L-Argininu byl 95% IS (229,1; 247,4) a u vzorků s 10 hm% L-Argininu byl 95% IS (245,3; 261,7). Dle ASTM F756-00 [8] materiály vykazující hemolýzu nad 5 % jsou hemolytické. U vzorků s 5 hm% a 10 hm% L-Argininu bylo procento hemolýzy vyšší než 200 %, mohlo dojít k interferenci L-Argininu nebo jeho produktů s hemoglobinem. Tato možnost bude ověřena v rámci budoucích experimentů. Nehemolytickými materiály byla vrstva z čistého PCL a PCL s 1 hm% L-Argininu.

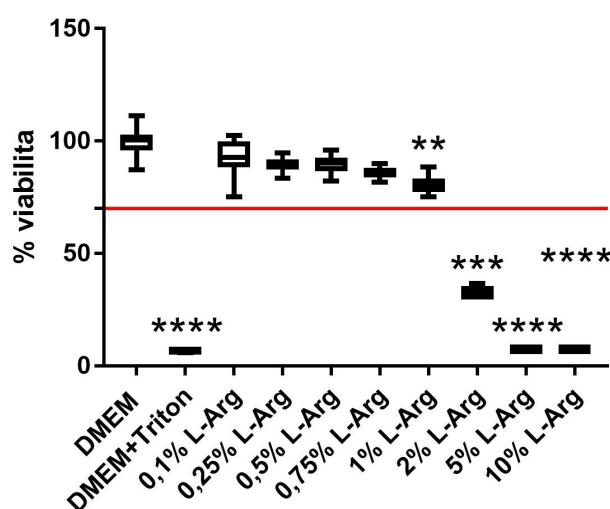


Obr. 6: Výsledky hemolýzy testovaných materiálů (PCL + 0–10 hm% L-Argininu), negativní (NC) a pozitivní (PC) kontroly, Kruskal-Wallis test; **** $p < 0,0001$; $n = 5$.

3.4 Cytotoxicita

Byla testována viabilita buněk s různou koncentrací L-Argininu, aby bylo zjištěno, od které koncentrace je vliv L-Argininu pro buňky již toxický a zda u některých koncentrací docházelo ke zvýšení viability buněk. Viabilita byla testována též s extrakty ze 14denního uvolňování L-Argininu z PCL nanovlákněných vrstev s aktivní látkou v médiu, z důvodu zjišťování, kdy vrstva s daným hm% aminokyseliny překračuje mez cytotoxicity. Dle normy ČSN EN ISO 10993-5 [6] je látka cytotoxická, pokud viabilita poklesne pod 70 %. Cytotoxicita byla testována u fibroblastů.

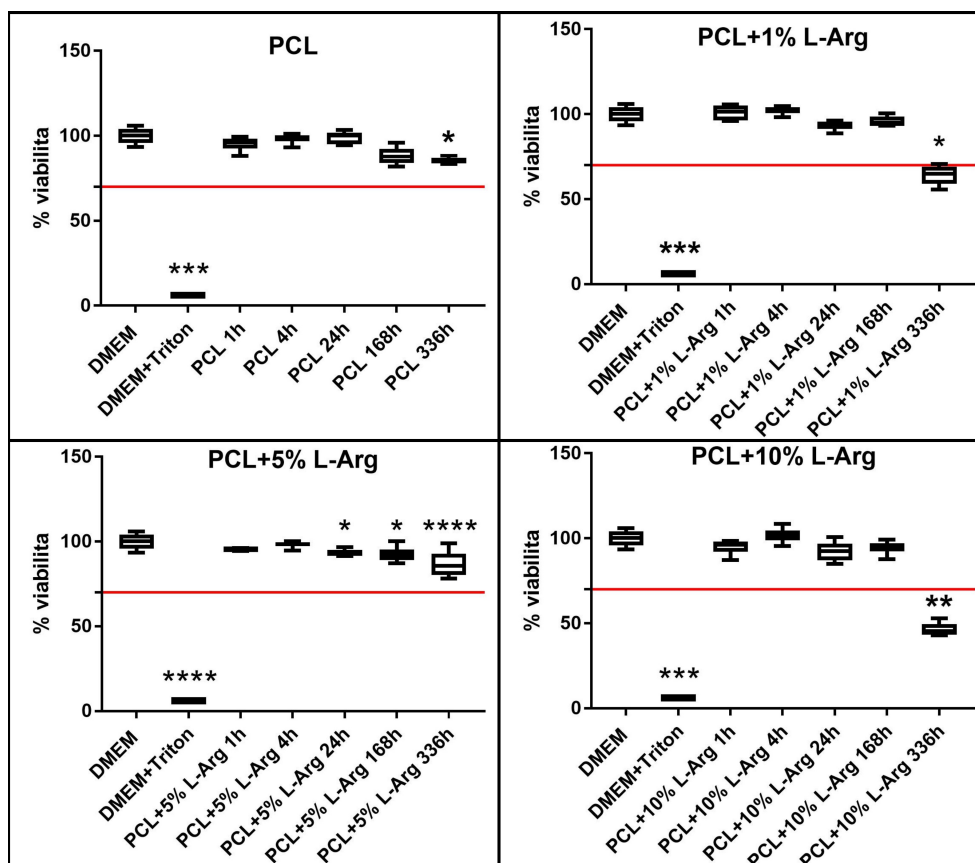
Data viability fibroblastů byla zpracována do grafu, viz obr. 7. U vzorků s 0,1 %, 0,25 %, 0,5 % a 0,75 % došlo k mírnému poklesu viability (okolo 90%). Vzorek s 1 % L-Argininu se lišil, byl zde zaznamenán pokles viability buněk, a to průměrně na 80 %. Největší pokles byl u vzorku s 2 % L-Argininu, jeho průměrná hodnota viability byla 30%, tato koncentrace spolu s 5 % a 10 % byla pro fibroblasty cytotoxická.



Obr. 7: Viabilita fibroblastů po inkubaci s různou koncentrací L-Argininu v porovnání s kontrolou (EBM), Kruskal-Wallis test;

** $p < 0,0021$; *** $p < 0,0002$; **** $p < 0,0001$.

Grafy s viabilitou fibroblastů s výluhy z PCL materiálů s 0–10 hm% L-Argininu jsou zobrazeny na obr. 8. U všech materiálů se viabilita fibroblastů pohybovala okolo 100%, ale po 14 dnech došlo k jejímu poklesu, nejvíce u PCL s 10 hm% L-Argininu, kde klesla na 50 %. Ke snížení viability po 14 dnech inkubace došlo pravděpodobně z důvodu zvýšení koncentrace L-Argininu nad 1 % i dle výsledků inkubace fibroblastů byla koncentrace L-Argininu nad 1 % toxická, viz obr. 7. K poklesu pod 70 % viability nedošlo u materiálu s čistým PCL a u PCL s 5 hm% L-Argininu.



Obr. 8: Viabilita fibroblastů po inkubaci s extrakty PCL materiálů s 0-10 hm% L-Argininu v porovnání s kontrolou (DMEM);

Kruskal-Wallis test u 0; 1; 10 hm% L-Arg; Bonferroniho test u 5 hm% L-Arg;

* $p < 0,1234$; ** $p < 0,0021$; *** $p < 0,0002$; **** $p < 0,0001$.

4 Závěr

Elektrostatické zvlákňování umožňuje inkorporaci L-Argininu do nanovláknenných vrstev. Inkorporace L-Argininu měla vliv na morfologii a povrchové vlastnosti PCL scaffoldů. Se zvyšující koncentrací aminokyseliny se ve vrstvách objevovalo více defektů, větší průměry vláken, došlo také k nárůstu plošné hmotnosti a hydrofobicity materiálu.

Uvolňování aktivní látky bylo ovlivněno vodným prostředím, ve kterém byly materiály inkubovány. Při inkubaci v PBS bylo uvolňování postupné, u vrstvy s 5 hm% L-Argininu byla koncentrace po 14 dnech inkubace 30,8 g/l a 43,1 g/l u vrstvy s 10 hm% L-Argininu. V kompletním médiu probíhalo uvolňování aktivní látky rychleji, ale uvolněné množství po 14 dnech bylo nižší než u PBS, u vrstvy s 5 hm% L-Argininu se uvolnilo 10,5 g/l a 16,5 g/l u vrstvy s 10 hm%.

V rámci testování hemokompatibility materiálů byl proveden test trombogenicity, koagulace aPTT a PT a hemolýza. Největší viabilitu trombocytů vykazovala vrstva s 5 hm% L-Argininu, ve vrstvách se tvořily agregáty trombocytů. Testované materiály nezvyšovaly čas koagulace při testování aPTT, u testování PT prodlužoval L-Arginin čas srážení vnější a společné cesty koagulace materiál s 10 hm% L-Argininu. U testování hemolýzy vykazovaly materiály s 5 a 10 hm% hemolýzu vyšší než 200 %, což mohlo být způsobeno interferencí L-Argininu nebo jeho produktů s hemoglobinem. Tato možnost bude ověřena v rámci budoucích experimentů.

Fibroblasty byly životaschopné při inkubaci s koncentracemi L-Argininu do 1%. Během uvolňování v kompletním médiu těmito hodnotám odpovídala pouze koncentrace uvolněné aktivní látky z PCL s 10 hm% L-Argininu po 14 dnech.

5 Literatura

- [1] ABRIGO, Martina; MCARTHUR, Sally L.; KINGSHOTT, Peter. Electrospun nanofibers as dressings for chronic wound care: advances, challenges, and future prospects. *Macromolecular Bioscience*, 2014, s. 772-792.
- [2] LUO, Jian-dong; CHEN, Alex F. Nitric oxide: a newly discovered function on wound healing. *Acta Pharmacologica Sinica*, 2005, s. 259-264.
- [3] LEI, J., et al. Nitric oxide, a protective molecule in the cardiovascular system. *Nitric Oxide*, 2013, 35: s. 175-185.
- [4] POPOWICH, D. A.; VARU, V.; KIBBE, M. R. Nitric oxide: what a vascular surgeon needs to know. *Vascular*, December 2007, s. 324-335.
- [5] HORÁKOVÁ, J., et al. Comprehensive assesment of electrospun scaffolds hemocompatibility. *Materials Science and Engineering*, May 2017, s. 330-335
- [6] ČSN EN ISO 10993-5. *Biologické hodnocení zdravotnických prostředků - Část 5: Zkoušky na cytotoxicitu in vitro*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [7] BAČÁKOVÁ, L., et al. Modulation of cell adhesion, proliferation and differentiation on materials designed for body implants. *Biotechnology advances*, 2011, s. 739-767.
- [8] ASTM F756-00. Standart Practise for Assessment of Hemolytic Properties of Materials. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2000.

PROTIPOŽÁRNÍ UZÁVĚRY

Andrieieva Natalia

Sekce - TEXTIL,

Fakulta textilní, 3. ročník

Navazující magisterský studijní program – NETKANÉ A NANOVLÁKENNÉ MATERIÁLY

Abstrakt: Práce se zabývá řešením návrhu konstrukce protipožárních vrat a výběrem vhodných materiálů pro jejich výrobu. V rámci práce se posuzují materiál PROMAFLEX pod teplotním a mechanickým zatížením vybranými testovacími metodami blízcími se reálným podmínkám. Dále jsou popsána konstrukční řešení protipožárních vrat a navrženy různé možnosti konstrukcí.

Klíčová slova: Protipožární vrata, žáruvzdorné materiály, mechanická a požární odolnost, zkoušení

1 Úvod

Požární bezpečnost staveb nezanedbatelným způsobem ovlivňuje výslednou podobu stavebního díla, závisí na ní situační umístění stavby, dispoziční řešení, architektonické pojetí, ale i konečné konstrukční a výrobové provedení. K bezpečnému a pohodlnému využití prostorů musí protipožární vrata disponovat vhodnou mechanickou a tepelně-technickou funkcí. Pro vytvoření optimálního řešení konstrukce protipožárních vrat je při stanovování požadavků potřeba vzít v úvahu souvislosti mezi funkčními, mechanickými, ekonomickými a tepelnými vlastnostmi, přičemž primární požadavky, tedy požadavky mechanické, tepelně-izolační, bezpečnostní a protipožární, na vrata zásadně ovlivňují jejich konstrukční a mechanické vlastnosti. Požární vrata se kromě oddělení požárních úseků používají také na únikových cestách a v průmyslových úsecích, kde se současně předpokládá střední až vysoký stupeň užívání veřejností.

Látka byla zvolena na základě jejich tepelných a mechanických vlastností, které budeme ověřovat v další kapitole.

2 Látka PROMAFLEX

PROMAFLEX® je tepelně odolná tkanina obsahující minimálně 94 % SiO_2 . Výrobce uvádí následující vlastnosti: pružný izolační materiál odolávající vysokým teplotám, pružnost i při vysokých teplotách, vysoká pevnost v tahu, vysoká izolační schopnost při nízké tloušťce, vysoká absorpce tepla, materiál odolává řadě chemických látek a různým atmosférám. Vzhledem k tomu, že výrobce neuvádí podrobnější informace, byly vybrané charakteristiky zjištěny experimentálně. Látka použitá v experimentu měla tloušťku dle normy 1,37 mm a plošnou hmotnost $0,001258 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$. Dostava byla určena experimentálně a odpovídá ve směru osy i útku hodnotě 12 nití na 1 cm. Technické údaje látky PROMAFLEX jsou ukázány v tabulce C v příloze.



Obrázek 1: PROMAFLEX®

3 Tepelné a mechanické zkoušky

4 Tepelná zkouška

Cílem stanovení požární odolnosti je posoudit chování vzorku konstrukce, vystaveného definovaným podmínkám ohřívání a tlaku. Metoda stanovuje způsoby kvantifikování schopnosti prvku odolat působení vysokým teplotám. Provedeno je to tak, že jsou stanovena kritéria funkcí, pomocí nichž lze vyhodnotit nosnost, zabránění průniku ohně (celistvost) a prostup tepla (izolace), kromě dalších vlastností, které se mohou hodnotit.

Měření teploty na povrchu vzorku a uvnitř pece

Pec je opatřena dvojicí termočlánků po obou jejích stranách, které měří teplotu v peci v horní a dolní části. Dále je použita dvojice termočlánků, které jsou umístěny ve střední části pece, poblíž vzorku. Plamen je pomocí deflektorů uvnitř pece směřován tak, aby teplota v peci byla pokud možno stejná, proto je možné teploty na jednotlivých člancích průměrovat. Data z termočlánku jsou snímána pomocí dvojice externích termočlánekových převodníků ADAM-6018-BE, ke kterým jsou připojeny termočlánky průmyslového převodníku ADAM-4562, který převádí signál z RS 232 na USB. Převodník je propojen s počítačem a data jsou snímána a ukládána do programu pro tento účel vytvořenému v programu Delphi. Použité termočlánky jsou typu J, tedy kostantan-železo a to z důvodu tepelné odolnosti až do 1250 °C. [1]



Obrázek 1: Pec s instalovaným vzorem

Zkušební postup

Nejprve se zapálí hořák mimo pec a nejméně 5 minut se ohřívá na provozní teplotu. Poté se opatrně vloží do otvoru v peci a započne samotná zkouška. Pokud není hořák dostatečně prohřátý, dojde po krátké době po vložení do pece k uhašení plamene, přičemž však tato krátká doba již postačí k prohřevu pece nad 50 °C, což je nežádoucí, neboť čas nutný pro ochlazení pece pod tuto teplotu je poměrně dlouhý a značně se tak prodlužuje celkový čas trvání zkoušky. Poté se již reguluje teplota výše popsáním způsobem, přičemž je snaha se neoddálit od požadované teploty o více než 50 °C. Jako rozhodující se uvažuje teplota průměrovaná z 6 termočlánků umístěných uvnitř pece. Zároveň se sleduje celková doba od zahájení zkoušky a teplota na třech termočláncích umístěných diagonálně na vnějším povrchu vzorku. Pokud teplota na jednom z termočlánků překročí teplotu 140 °C zvýšenou o aktuální teplotu okolí, zkouška se ukončí a zaznamená se celkový čas. Pokud se nedosáhne teploty pro ukončení zkoušky, pokračuje se až do stanoveného kritéria. Např. pro EI 120, kdy je požadována odolnost 120 minut se zkouška provádí po tuto dobu prodlouženou o 10 minut. Zároveň se sleduje celistvost vzorku, pokud dojde k významnějšímu poškození a například průniku plamene, zkouška se taktéž ukončí.

Po vychladnutí a vyjmutí vzorku se provede vizuální zhodnocení stavu materiálu z pohledu teplotní, rozměrové či strukturní degradace a výsledek se zaznamená. [1]

Výroba vzorku č. 2

Další vzorek byl tvořený dvěma vrstvami tkaniny PROMAFLEX o tloušťce 1,37 mm. Vzduchová mezera mezi tkaninami se rovná tloušťce rámu a činí 60 mm. Rám s vloženými textiliemi je instalován v otvoru pece.



Obrázek 2: Vzorek před zkouškou

4.1.1 VÝSLEDKY

Vzorek vykazoval teplotu na povrchu vnější vrstvy kolem 160 stupňů po 70 minutách, což ukazuje, že tento vzorek lze taktéž použít pro zajištění bezpečnosti protipožárních vrat. Výhodou je snadnost výroby vzorku a jeho nízká hmotnost.

Použití tkaniny o tloušťce 1,37 mm je ideální pro téměř všechny typy konstrukcí vrat, což optimálně zajišťuje kombinaci celkových rozměrů, hmotnosti, objemu a jednoduchosti konstrukce vrat.



Obrázek 3: Vzorek po provedení zkoušky

4.2 Zkouška pevnosti a tažnosti

Vzhledem k tomu, že výrobce pevnost a tažnost materiálu neuvádí, přičemž je pro konstrukci protipožárních vrat zásadní, byla tato zkouška provedena pro základní odhad odolnosti při zatížení vlastní vahou a přidanými konstrukcemi.

Tato zkouška je nejrozšířenější statickou zkouškou. Je nutná téměř u všech technických materiálů, protože díky ní získáme některé základní charakteristiky potřebné pro výpočet konstrukčních prvků a volbu vhodného materiálu. [2]

4.2.1 VÝSLEDKY

Nejprve byla textilie zatěžována ve směru osnovy. Při prvotním zatížení vykazuje poměrně velké protažení, které je dáno strukturou materiálu. Poté je průběh zatěžovací křivky lineární až do hodnoty přibližně $0,95 F_{\max}$. Následuje destrukce prvních nití doprovázená poklesem napětí. Z tabulky je vidět, že síla do přetrhu je vysoká, a látka o šířce 1 m může přenést sílu až 9700 N. Tyto výsledky se využijí při kontrole únosnosti celé konstrukce vrat.

Dále byla provedena zkouška pevnosti švu, aby se získaly lepší závěry o tom, jakou sílu přenese látka v případě, že bude opatřena z důvodu konstrukce šitými spoji. Důvodem je předpoklad tvorby kapsy, do které může být vložen nosný či výztužný prvek. Látka byla sešita pomocí nitě ALSIFLEX.

Zkoušky pevnosti švu byly provedeny pro oba směry textilie, avšak předpokládá se pouze provedení švu při zatěžování ve směru osnovy. Při porovnání sešitého a nesešitého vzorku lze usoudit, že sešitá textilie má nižší pevnost o 12%, ale tkanina stále může přenést sílu 8500 N. Průběh zatěžovací křivky je téměř lineární až do hodnoty přibližně $0,85 F_{\max}$. Z tabulky 6 a grafu 8 je zřejmé, že pevnost textilie je stále velmi vysoká

4.3 Zkouška cyklickým ohybem přes ostrou hranu

Vzorek je sevřen mezi čelistmi, přičemž na něj působí požadované zatížení. Čelist přístroje se střídavě otáčí z původní pozice do krajní polohy vždy o 90° . Jedná se o extrémní způsob namáhání, který u takového výrobku, jako jsou textilní vrata, pravděpodobně nemůže nastat, nicméně z jeho výsledků lze usuzovat na odolnost při mnohačetném ohybu.



Obrázek 4: Zkouška ohybem

Nejprve byl naměřen počet cyklů otáček za minutu, což bylo 100 jednotek. Poté byl materiál upnut do čelistí a přístroj byl uveden do chodu. Zároveň se zapnutím přístroje byly spuštěny stopky, které změřily přesně, kdy se látka protrhla.

V tomto případě to bylo 10 minut a 5 sekund ve směru osnovy, což znamená, že materiál přežil 1013 cyklů extrémního otáčení. Ve směru útku to bylo 3 minuty a 35 sekund. Materiál tedy vydržel 358 otáček.

4.4 Zkouška odolnosti při cyklickém navíjení

Zkouška byla prováděna co nejblíže skutečným podmínkám. Tkanina byla navíjena na váleco průměru 100 mm rychlostí 100 mm/s. Počet cyklů dosáhl počtu 10000 opakování, aniž by se textilie poškodila.

Zkoušky byly prováděny co nejbližně skutečným provozním podmínkám protipožárních vrat. Navíjení látky PROMAFLEX na válec bylo prováděno rychlostí 100 mm/s, přičemž navíjecí válec měl průměr 100 mm. Celkem bylo provedeno 10 000 cyklů. Po zkoušce byla provedena vizuální kontrola stavu látky. Na experimentálních vzorcích látky po 10 000 cyklech nebylo pozorováno viditelné poškození ani viditelné vady látky. Látka PROMAFLEX vykazovala velmi dobré výsledky odolávající 10 000 cyklů a je vhodná pro použití na protipožárních dveřích.



Obrázek 5: Zkouška ohybem

5 Návrhy provedení izolační vrstvy

Konstrukce 1.1:

Konstrukce vrat se skládá ze 2 protipožárních vrstev, navíjecího mechanismu, elektrického pohonu, ochranných krytů a vodících drážek, ve kterých se ochranná tkanina pohybuje (zvedá a spouští). Dále obsahuje válec, který odděluje jednu vrstvu látky od druhé.

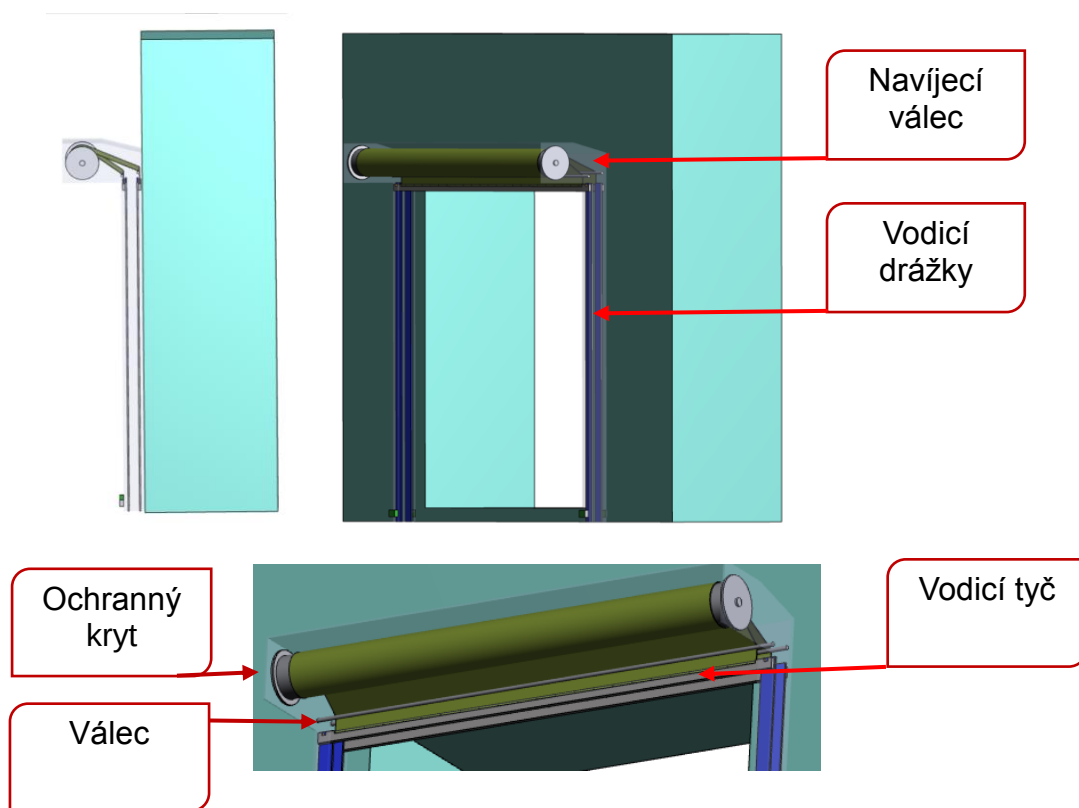
Princip funkce: elektromotor otáčí navíjecím válcem, čímž navíjí ochrannou látku a vrata se otevírají. Při odvíjení dochází k zavírání vrat. Obě látky se pohybují ve své vodící drážce. Ochranná látka je stahována gravitačně v důsledku hmotnosti vodící tyče upevněné na jejím spodním konci.

Výhody: Jednoduchost konstrukce.

- Nízké náklady na výrobu a instalaci.
- Malé rozměry, jak z pohledu hloubky konstrukce, tak i rozměry návinu po otevření vrat.
- Nízká cena navíjecího mechanismu.
- Nízká spotřeba elektrické energie.

Nevýhody:

- Vodicí tyč může váznout ve vedení např. vlivem nečistot apod.
- Nedostatečné utěsnění mezi podlahou a textilií.



Obrázek 6: Navíjení s gravitačním spuštěním

Konstrukce 1.2:

Konstrukce vrat se skládá z protipožární látky, která obsahuje vodorovné upevňující trubky pro zvýšení pevnosti konstrukce. Okraje látky jsou fixovány v lištách, které jsou spuštěny a zvednuty ve vodicích drážkách vrat. Otvírání a zavírání brány se provádí pomocí tažného lana připevněného k válci. Když se válec otáčí elektrickým motorem, tažná lana se navíjí na válec a zvednou nebo spustí vrata.

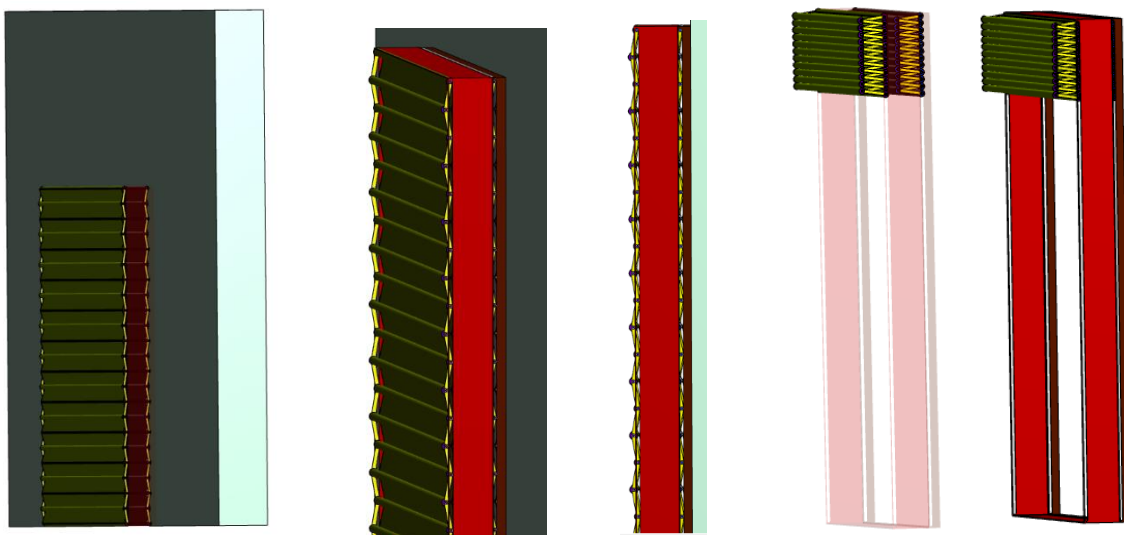
Princip funkce: Otáčející se válec navíjí lana, čímž způsobí otevření nebo zavření vrat složením lišt a protipožární látky. Vrata se zavírají vlastní vahou.

Výhody:

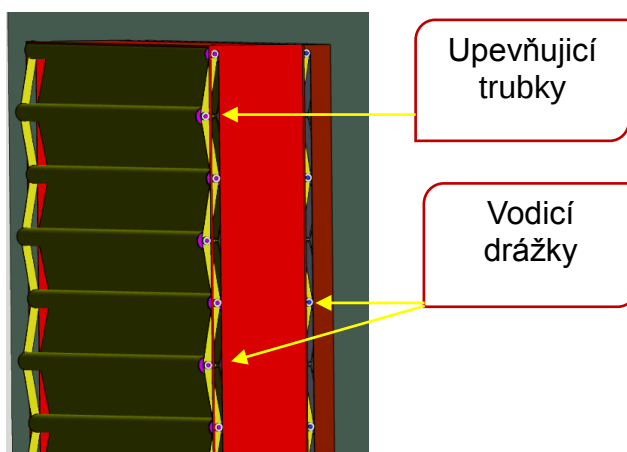
- Poměrně malá hloubka vrat.
- Vodorovné trubky zajišťují dostatečnou pevnost konstrukce a odolnost proti tlaku.
- Není nutný válec pro navíjení textilie.

Nevýhody:

- Složitější konstrukce.
- Větší rozměry než varianta rolety.
- Nutnost kapes pro trubky.



Obrázek 7: Mechanismus zvedání a otevírání vrat s látkou



Obrázek 57: Konstrukce 1.4

Konstrukce 1.3

Konstrukce vrat se skládá ze dvou protipožárních vrstev skládacích tažením lan; dolní vodící tyče; kovových kroužků, které chrání tkaninu před oděrem; lana, které zpevňuje látku a mechanismu navíjení.

Při zapnutí elektromotoru se navíjecí bubny navíjejí na lana, která jsou připevněna k vodící tyči. Tyč se pohybuje nahoru a dolů ve vodících drážkách. Podle okrajů vrat napneme dvě lana, která se prostrčí skrz otvory ve vodící tyči a otvory v protipožární látce. Otvory jsou chráněny kovovými kroužky, aby se zabránilo poškození látky posouváním lana přes otvor. Napínané kabely provádějí dvě funkce:

- Jsou vodícími drážkami pro skládání látky.
- Zajišťují dodatečnou tuhost v případě poklesu tlaku, protože tkanina je upevněna na okrajích vrat lany.

Výhody:

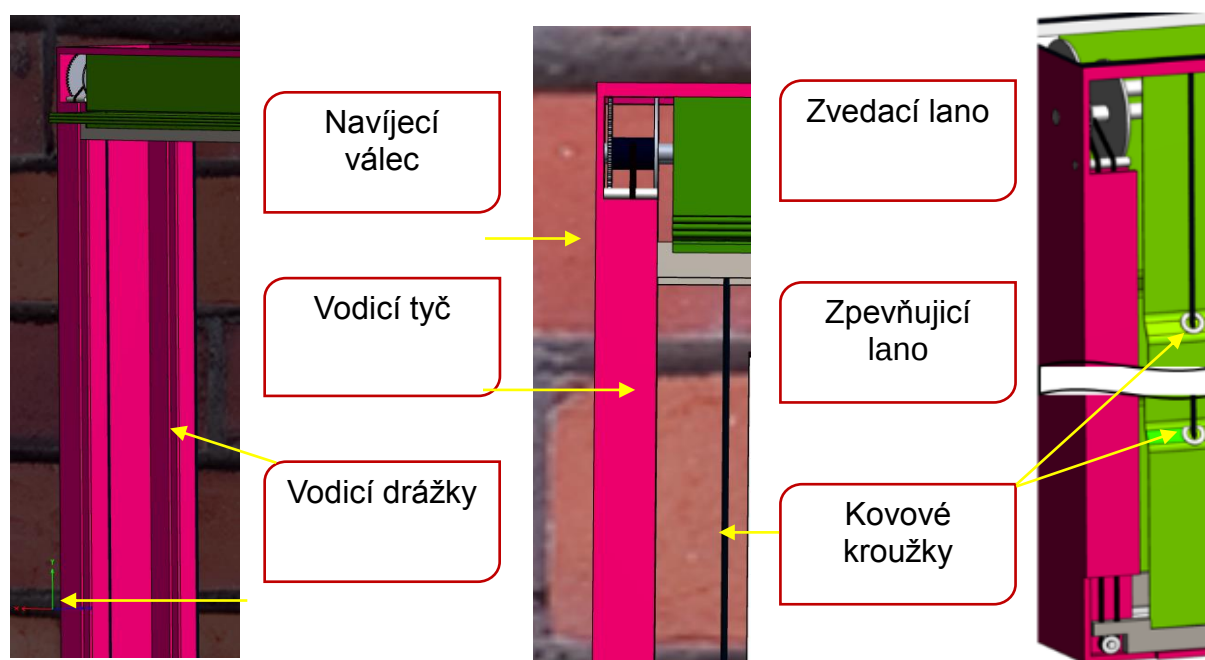
- Snadný mechanismus navíjení.
- Malá hmotnost látky, což znamená, že stačí méně výkonnější pohon.

Nevýhody:

- Malá pevnost konstrukce.



Obrázek 8: Mechanismus v zavřeném a otevřeném stavu



Obrázek 9: Konstrukce 2.2

Konstrukce 1.4

Konstrukce vrat se skládá z výztuže vrat upevněné ke zdi po obvodu, dále pak ze skládacích prvků, na kterých jsou upevněny trubky, se zafixovanou protipožární látkou. Protipožární látka je upevněna na vnitřní a vnější části skládacích prvků. Skládací konstrukce je zvednuta a spuštěna pomocí dvou tažných lan, která jsou upevněna na rotujícím válci.

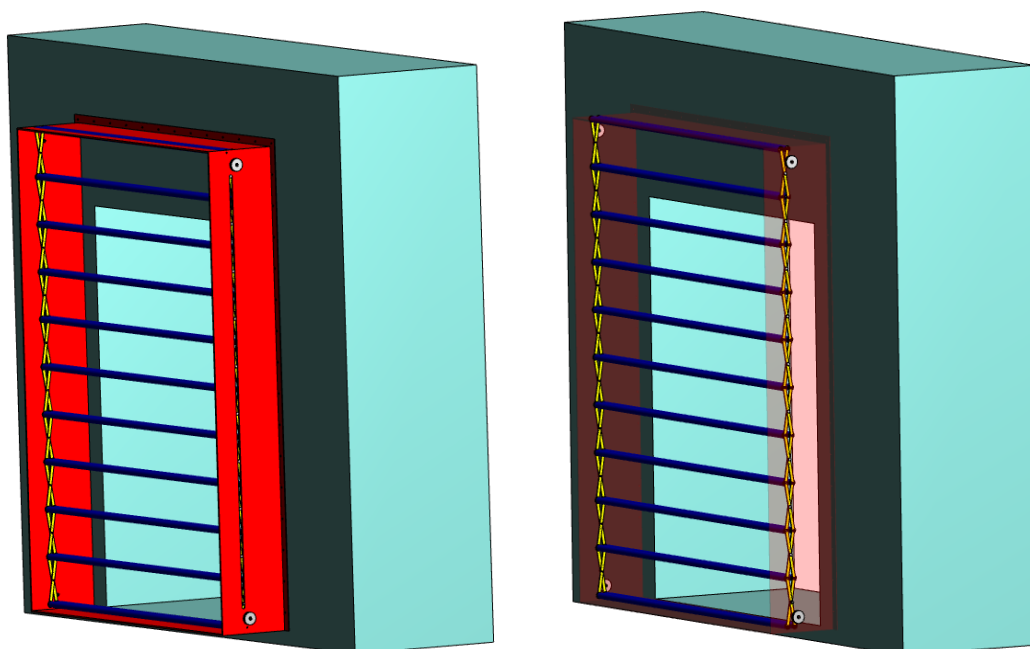
Princip funkce: Elektrický motor otáčí válcem. Na válec se navíjí tažná lana, která zvedají skládací prvky vrat. Protipožární látka je upevněna na trubky ve formě rámu. Rámů je celkem 23 a jsou rovnoměrně rozmístěny. Mezi sebou jsou spojeny nůžkovým mechanismem, který umožňuje rovnoměrné rozložení zátěže.

Výhody:

- Protipožární látka je připevněna k vodorovným trubkám, což zajišťuje velmi vysokou tuhost konstrukce a odolnost proti poklesu tlaku.
- Toto řešení nabízí možnost autonomního zavírání.
- Kontrolované skládání textilie.

Nevýhody:

- Vyšší hloubka při otevření (do 0,5 m).
- Vyšší hmotnost než v konstrukčních variantách číslo 1 a číslo 2.
- Složitější konstrukce než ve variantách číslo 1 a číslo 2.
- Nákladnější na výrobu a instalaci.
- Nutnost kapes pro vodicí tyče.



Obrázek 10: Nůžkový mechanismus v zavřeném stavu bez látky

6 Závěr

Při výrobě protipožárních vrat je možné použít nejrůznější typy materiálů s předepsanými nebo požadovanými protipožárními vlastnostmi. Podle výsledků zkoušek jsme zjistili, že jenom dvě vrstvy materiálu jsou schopny zvládnout svůj účel a nezatěžovat konstrukce. Při výrobě vzorků byly vždy použity dvě vrstvy tkaniny, protože při zahřátí jedné vrstvy bude mít látka na vnější a vnitřní straně stejnou nebo téměř stejnou teplotu. Pokud chceme zajistit bezpečnost při požáru, musíme použít nejméně dvě vrstvy materiálu. V našem případě je mezi dvěma vrstvami látky ještě vzduchová mezera jako další izolant. Po zkoušení vzorku na tepelnou odolnost jsme začali testovat materiály na mechanickou odolnost. Byly provedeny zkoušky pevnosti v tahu (včetně látky spojené šitím), zkoušky cyklickým ohybem a zkoušky odolnosti při navíjení. Na základě zkoušek jsme vybrali látku PROMAFLEX ve směru osnovy pro následující návrh konstrukce vrat.

Druhá část se zabývá návrhem konstrukce protipožárních vrat, jejich popisem a porovnáním. Poté, co jsme navrhli varianty konstrukcí, vypočítali jsme hmotnost konstrukce a porovnali ji s hmotností, kterou přenese námi zvolená látka.

Literatura

- [1] ČSN EN 1634-1 *Zkoušení požární odolnosti a kouřotěsnosti sestav dveří, vrat, uzávěrů, otevíravých oken a prvků stavebního kování – Část 1: Zkoušky požární odolnosti sestav dveří, vrat, uzávěrů a otevíravých oken.* ÚNMZ, Praha, 2014.
- [2] ČSN EN ISO 13934-1 *Textilie - Tahové vlastnosti plošných textilií - Část 1: Zjišťování maximální síly a tažnosti při maximální síle pomocí metody Strip.* ÚNMZ. Praha, 2000.

STUDY OF DIFFUSION OF ALAPTIDE FROM NANOFIBROUS LAYERS

Asatiani Nikifor

Sekce - TEXTIL,
Fakulta textilní, 2. ročník
Magisterský studijní program – TEXTILNÍ INŽENÝRSTVÍ

Abstract: To date, there is a lack of studies related to drug release kinetics from electrospun fibrous structures nowadays. Indeed, even less studies try to verify to compare experimental data with mathematic models. This study investigated the effects of drug loading and sterilization technics on release kinetics of alaptide from polycaprolactone (PCL) electrospun nanofibrous layers. With the increasing drug loading increased hydrophilicity of the layers and decreased the fiber diameters. The release of alaptide was quantified using GPC. All the release profiles were found to be biphasic, consisting of significant initial burst release and further slow sustained release. The release kinetics were significantly dependent on the initial drug loading, sterilization with EtO did not remarkably affect the release. Fitting of data into mathematical models was complicated due to biphasic character of the release profiles. The study demonstrated successful fabrication of drug-loaded nanofibrous layers, which were able to provide sustained release of alaptide at least for 14 days.

Key words: drug release kinetics, alaptide, diffusion equation, polycaprolactone

1 Introduction

Nowadays there is a great demand in a searching of new methods of drug delivery, which involves modification of existing methods and as well as development of new devices. Increasing amount of controlled-release systems have been developed and designed lately to enhance drug therapy. A controlled-delivery system allows to reduce the frequency of dosing, to minimize the fluctuation of drug concentration in plasma and to generally increase effectiveness of the drug by a) targeting the site of action, b) maintaining drug level within a desired range, i.e. high enough to have a therapeutic effect and low enough to be non-toxic (Siepmann, Siegel, & Rathbone, [7]). Despite the fact, there are hundreds of commercially successful products based on the controlled release rate of the drug, there are only a few main mechanisms by which a release rate is controlled, e.g. diffusion, osmosis, erosion (Hillery, Lloyd, & Swarbrick, [3]). Individual mechanisms are dependent on particular application and design of drug releasing systems, however usually more than one mechanism operate at the same time during delivery process (Siepmann et al., [7]). Indeed, diffusion is a dominant process within most of controlled-release systems. In case of diffusion-controlled release system, drug must diffuse through a polymer matrix or a membrane in order to be released. Such devices do not usually perform zero-order release profile as the particles on the surface release fast involving a *burst release*, whereas for the particles close to the center of fiber it takes longer to migrate towards the surface. This delay leads to decreasing rate of drug release over time (Hillery et al., [3]).

The choice of a sterilization technique of biodegradable scaffolds or drug-delivery devices is, undoubtedly, a key issue, as biodegradable polymers, such as polycaprolactone, used in tissue engineering have specific properties, e.g. low melting point, and cannot be proceeded as conventional polymers, e.g. sterilization by autoclaving (Horakova, et al, [4]).

Unfortunately, there is a lack of studies related to drug release kinetics from electrospun nanofibrous structures. Indeed, even less studies today try to verify and to compare experimentally obtained data with mathematical models. As note M. Grassi and G. Grassi ([2]) in their review on mathematical models application in DDS, the initial problem concerning the

ability of mathematical modeling to accurately describe the experimental data was replaced with the issue of reliable prediction of drug releases on the basis of an adequate number of experimental data. These predictions of drug release, on the basis of initial parameters, e.g. diffusion coefficient, drug loading, etc., are necessary in development of a field of “personalized medicine” (Grassi & Grassi, [2]), which could provide each patient an unique therapy.

Generally, the aim of this study was to investigate drug release kinetics from a monolith diffusion-controlled device, represented by particles of alaptide homogeneously distributed within polycaprolactone nanofibrous layer. Particularly, an effect of three different initial drug loading was examined. Moreover, an effect of sterilization by ethylene oxide on release kinetics of alaptide and on morphology of nanofibrous layers was studied; an effect of sterilization with ethanol on morphology of electrospun nanofibrous structures was investigated as well.

2 Materials and methods

Preparation of PCL nanofibrous mats

Poly-ε-caprolactone (Mw 43 000), purchased from Sigma-Aldrich GmbH, was dissolved in a chloroform/ethanol solution system (9:1 by weight) with the polymer concentration of 16 wt. %. Then 75 mg of sodium lauryl sulphate (SLS) was added as a stabilizer. The final weight of the polymer solution was 100 g. The solution was subsequently stirred and then electrospun with a NANOSPIDER™ equipment to make control nanofibrous layer without alaptide. The same procedure was followed to form modified materials with addition of alaptide of three different concentrations, namely 0.1 wt. %, 1 wt. % and 2.5 wt. %. Accordingly, after the evaporation of the solvent, the actual alaptide loading was 0.625, 6.25 and 15.625 wt.% respectively. However, for convenience in the following text by the term “drug loading” will be meant the concentration in the original polymer solution (0.1, 1 and 2.5 wt. %)

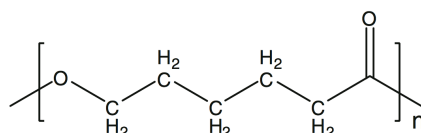


Figure 1: Structure of PCL, n denotes number of caprolactone units (Siepmann et al., [7]).

Alaptide (8(S)-methyl- 6,9-diazaspiro[4,5]dekan-7,10-dione), spirocyclic synthetic dipeptide, is an original Czech compound. Though alaptide can be classified as nootropic, e.g. it was experimentally found to have an effect alaptide on behavior and learning abilities of rats and mice, but in this study alaptide was used mainly for its results in dermatological experiments: number of tests showed an ability of alaptide to positively influence epidermal regeneration. (Jampilek et al, [6]). Alaptide is a white crystalline compound, sparkly soluble in water (0.1104 g/100 mL), ([Dragicevic & Maibach, [1]).

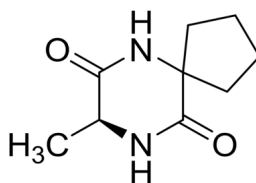


Figure 2: Structure of (S)-Alaptide molecule (Dragicevic & Maibach, [1]).

Morphological analysis

In order to investigate the morphology of obtained electrospun mats, small fibrous samples (about 0.5 cm x 0.5 cm) were cut out the mats, coated with 14 nm of gold and then analyzed using a scanning electron microscope TESCAN Vega 3SB (Czech Republic). Both sides of the mats were analyzed. The fiber diameters were subsequently determined, using an image analyzer ImageJ (National Institutes of Health, MD, USA). The measurement was performed in two steps. At first, the scale bar on a selected SEM image was converted to a pixel scale by drawing a line over the scale bar. Then, individual fibers were measured manually. The final fiber diameter of fibrous mats was evaluated as mean values of 200 measurements in various spots on four different SEM images, i.e. 50x measurements on each image with magnification 5000x.

In Vitro release test of alaptide

For investigation of alaptide release, small nanofibrous samples with average weight of 50 ± 0.9 mg were cut from the nanofibrous layers of each material (with 0, 0.1, 1 and 2.5 wt.% alaptide), and then divided into three sets (three samples in each set) according to the sterilization method. The first set of samples (set I) was sterilized by rinsing in 5 mL of 70% ethanol for 30 minutes. The second set (set II) and the third set (set III) were sterilized by ethylene oxide. The fourth set of samples (set IV) was kept as non-sterilized. The samples from the sets II and IV were first rinsed in 5 mL of PBS (pH 7.4) solution. Next, these samples were carried out the rinsing tube and immersed into a 5 mL of fresh PBS (pH 7.4) solution. The samples from the set III were immersed into PBS solution without preliminary rinsing. Afterwards, all the samples (except set I) were incubated in CO₂ incubator at 37 ± 1 °C. At predetermined time intervals (1 h, 5 h, 24 h, 7 days and 14 days) some small aliquots of 1 mL were taken out from the tube and replaced with a fresh PBS solution to maintain sink condition. All the collected aliquots were cooled until the end of experiment. After 14 days of the experiment, the obtained aliquots were analyzed using gel permeation chromatography (GPC). The cumulative amount of released alaptide was calculated using the following equation:

$$U = C_{s(t)} \cdot V_{tube} + (V_s \cdot \sum C_{s(t-1)}) \quad (1)$$

Where $C_{s(t)}$ [mg/L] is a concentration of alaptide in aliquot sample at time t , V_{tube} [L] is the overall volume of the tube with the release medium (5 mL), V_s [L] is the volume of an aliquot (1 mL). Then the cumulative amount of alaptide released was plotted as a function of time.

GPC analysis

Determination of alaptide concentration in each collected aliquot, as well as dissolved fibrous samples, was carried out using gel permeation chromatography (GPC). The HPLC system used was a Dionex Ultimate 3000 with a LPG-3400SD quaternary gradient pump, a SR-3000 solvent rack, a WPS-3000TSC autosampler, a TCC-3000SD column compartment and a DAD-3000 detector. A Phenomenex Kinetex Hilic core-shell column with a length of 150 mm and internal diameter of 4,6 mm was used. The aqueous component (A) of the mobile phase consisted of 5 % acetonitrile in water. The organic component (B) of the mobile phase consisted of pure acetonitrile. A set linear gradient was used. At the start the proportion of B in the mobile phase was 90 %. At 1.5 min begun a one minute lasting gradient from the initial conditions to 60% of B component. This composition of the mobile phase was kept for one minute and then returned in 0.5 minutes to initial conditions. The chromatogram for each sample was recorded for 6.6 min. The flow rate was 1.5 ml/min and the column was kept at 20°C. The injection volume used was 20 µL. The chromatograms were recorded at wavelengths of 200, 205, 210 and 250 nm with a sampling rate of 2 Hz.

The aliquot samples were diluted by pure acetonitrile by pipetting 150 μL of the sample and 1500 μL of acetonitrile into a 2-mL vial and vortexing. The samples were filtered through a 13-mm diameter nylon syringe filter with a pore size of 0.22 μm . Also, similar procedure was followed in order to quantify an amount of alaptide trapped in the nanofibrous layers after the 14-day experiment.

Contact angle measurement

Determination of a contact angle of the electrospun nanofibrous layers was carried out on See System E equipment (Advex Instruments, LLC), using a sessile drop technique on a See System E (Advex Instruments, LLC), by pipetting a droplet (15 μL) of distilled water on the surface of the layer. Immediately after pipetting the droplet was multiply captured by a camera every 0.1 second.

Influence of material extracts on a cell viability.

Small samples with mean weight 50 ± 2 mg, were cut from electrospun nanofibrous layers and put inside 15 mL tubes. Subsequently, all the sample were exposed to sterilization cycle with ethylene oxide (Anprolene). After one-week airing electrospun samples were immersed in 5 mL of (DMEM + 10% fetal bovine serum + 1% mixture of antibiotic – penicillin, streptomycin, amphotericin B +1% glutamine, Biosera). Release of alaptide were investigated in predetermined time intervals, namely 1, 5, 24 hours, 7 and 15 days, similarly as for the experiment with release to PBS solution. After each time interval, a small aliquot of 1 mL was taken out from the tube and frozen for further analyses. Each aliquot was replaced with a 1 mL of fresh DMEM to maintain sink condition. Also, a control sample of pure DMEM was frozen before the experiment. Subsequently, each frozen aliquot was assessed in terms of *in vitro* using mice fibroblasts 3T3-SA (ATCC). Methods of assessment are defined in norm ČSN EN ISO 10993-5 Biological evaluation of medical devices – Part 5: Tests for *in vitro* cytotoxicity ([5]). Overall count of replicate measurements was 12.

Fitting of the curves to mathematical models

In order to understand the kinetics of alaptide release, the release data of alaptide were fitted into different mathematical models, namely zero-order, first-order, Higuchi and Korsmeyer-Peppas. The compliance of the fitting was determined by comparing the average values of determination coefficient, R^2 . The release constant k was determined from the most relevant fitting model.

3 Results

Morphological analysis of electrospun samples

Mean of fiber diameter was in a range of hundreds of nanometers. Some of the fiber diameters were in a range of microns. The thinnest fibers (308.87 nm, <275; 343> nm) were achieved from solution with the highest loading of alaptide (2.5 wt. %). It is clear from SEM images, that there is a wide range of fiber diameters, however mat with two highest alaptide loadings (1 wt.% and 2.5 wt.%) had the narrowest diameter range.

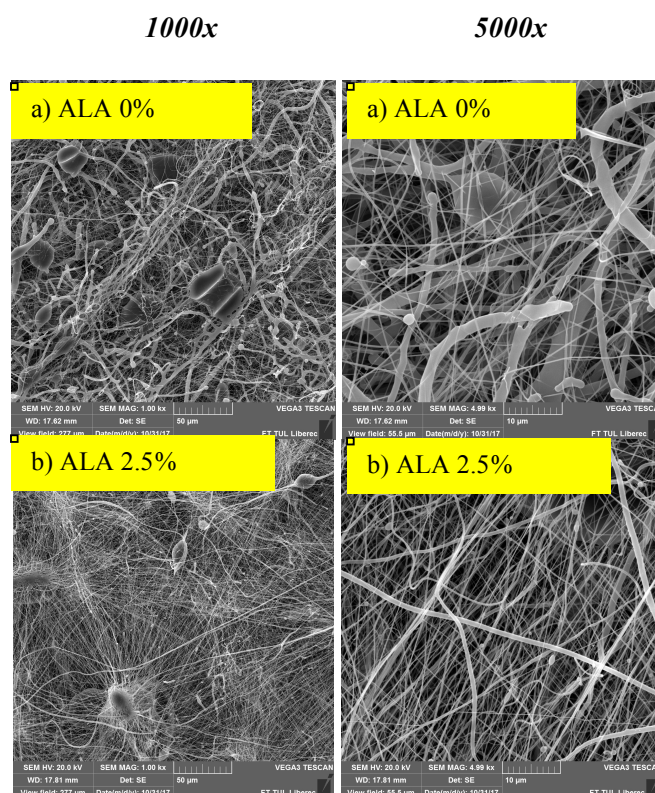


Figure 3: Scanning electron images of electrospun samples – two images in row with different magnification for each sample.: (a) non-modified PCL; (b) PCL fibers modified with 2.5 wt. % of alaptide. The scale is 50 μm on the left and 10 μm on the right.

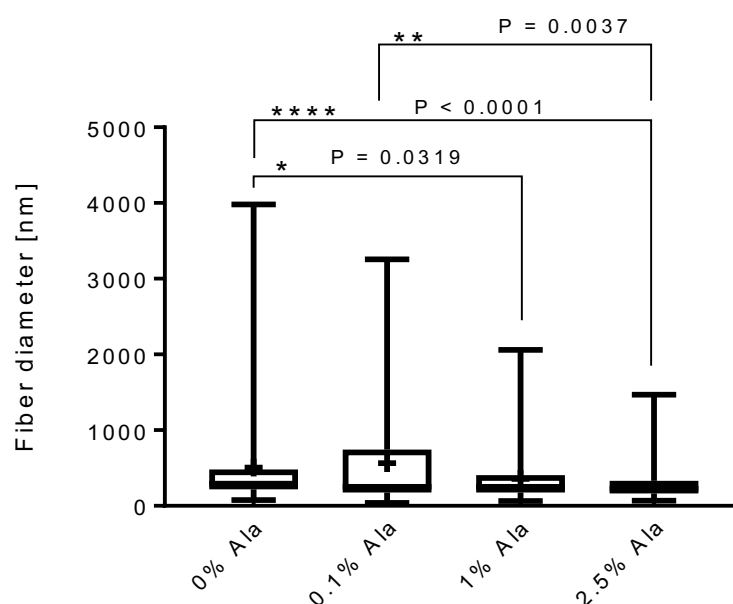


Figure 4: Box-plots of fiber diameters distribution for four PCL nanofibrous mats with four different initial loading of alaptide; * denotes statistically significant differences between box-plots

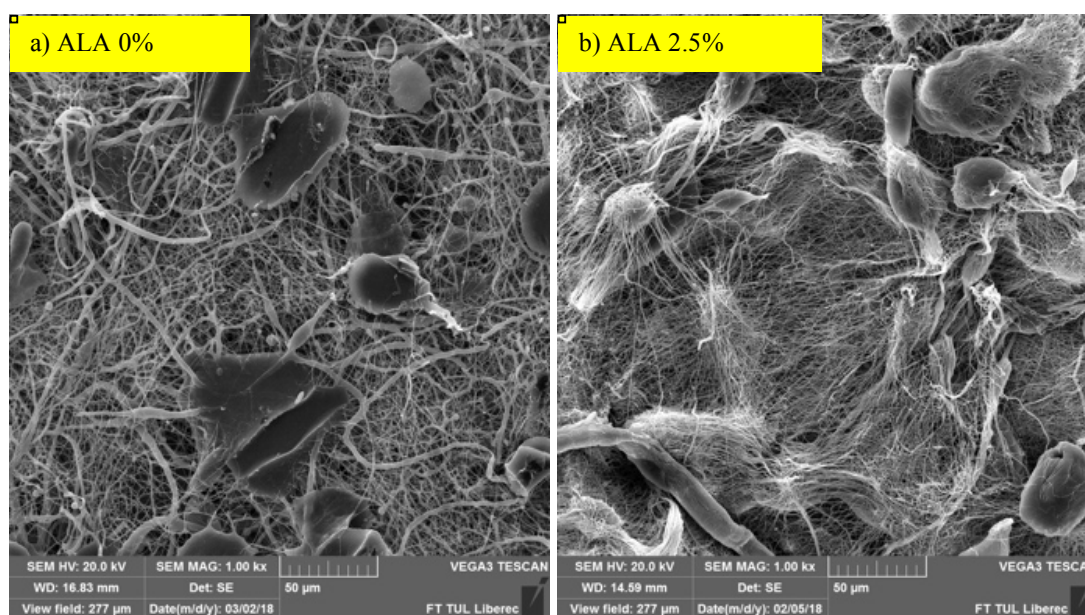


Figure 5 : Scanning electron images of electrospun samples after 14-day experiment (magn. 1000x): (a) non-modified PCL; (b) PCL fibers modified with 2.5 wt. % of alaptide. The scale is 50 μm

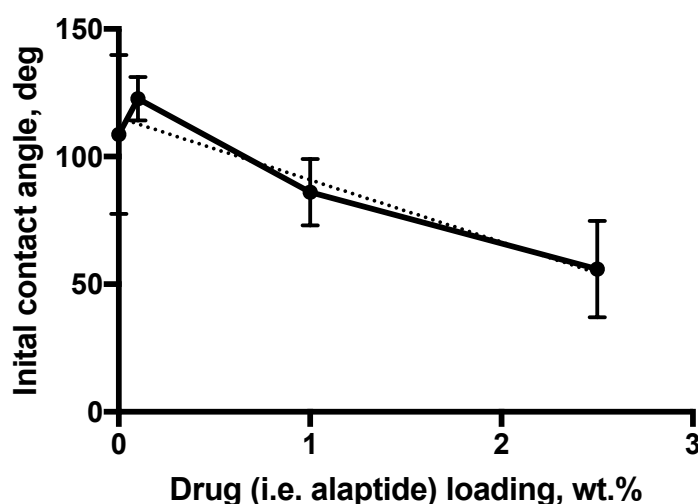


Figure 6: Initial contact angle (measured immediately after a drop lands on the surface of a sample) decreases with increasing drug loading.

It is clear from the plot that hydrophilicity of electrospun layers increased almost linearly ($R^2=0.895$) with the increasing drug loading.

Effect of initial drug loading

Figure 8 shows that release kinetics at the lowest loading of alaptide, i.e. 0.1 wt. %, significantly differ from the two higher loadings. An increased drug loading increased release rate of the drug. Almost a complete initial drug loading content, i.e. 78% (SD 1.2, $n=3$) and 82% (SD 1.7, $n=3$), had been released within first 24 hours for the non-rinsed sterilized samples at loadings of 1 wt. % and 2.5 wt. respectively % (Figure 8b, 1c). Within next 312 hours only additional 1.7% (SD 1.06) and 3% (SD 0.65) were released. Whereas for non-rinsed samples at 0.1% drug

loading, release sustained over 14 days resulting in 49% (SD 2.57; n=3) of alaptide released at the end of the experiment.

Effect of sterilization

It is clear from Figure 8, that there is no remarkable difference between release profiles of non-sterilized PCL nanofibrous samples in comparison with sample which were exposed to sterilization by ethylene oxide. As in the case of non-sterilized samples at higher drug loading, namely 0.1 wt.% and 2.5 wt.%, initial burst release is observed. At 1% drug loading, this burst caused 43% (SD 4.1, n=3) and 40% (SD 2.1, n=3) release within first 24 hours for rinsed and non-rinsed sterilized samples respectively.

Effect of preliminary rinsing

According to the results in Figure 8, the cumulative percentage of released alaptide achieved by non-rinsed samples at the end of the experiment was approximately twice as much in comparison with preliminary rinsed samples. However, GPC analyze of aliquots of PBS solution used for preliminary rinsing, revealed that more than a half of initial drug loading content was washed out before the start of the experiment. In other word, both non-rinsed and rinsed samples achieved almost complete release of the drug loading combining both washed out and released drug content.

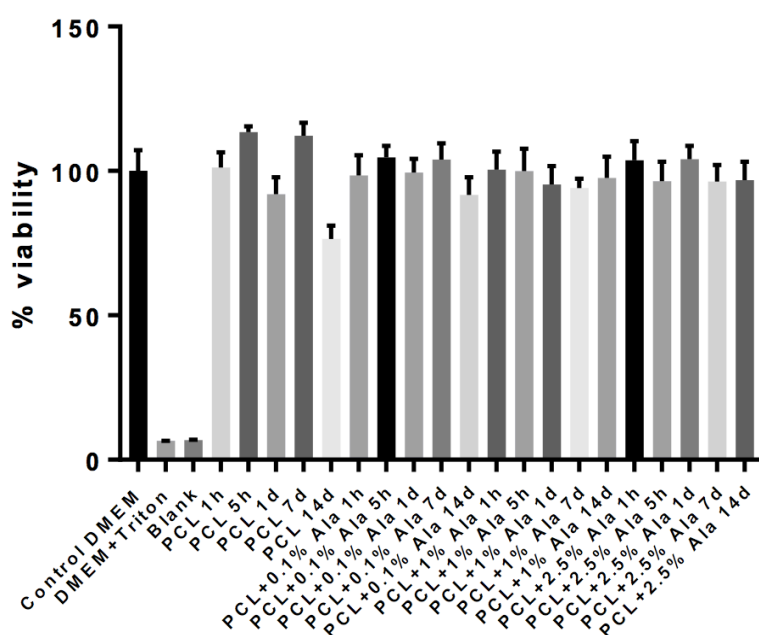


Figure 7 : Cell viability of fibroblasts exposed to a contact with material extracts during 14-days experiment (n=12).

The extracts of materials modified by alaptide did not cause any decrease in cellular viability. Measured values were in range of 90-105% of control cells. Extracts of electrospun PCL caused slight reduction of cell viability by 1 day extract (decrease up to 92%) and by 14-days extract (up to 77%). However, according to the ISO 10993-5 norm, cytotoxic effect is considered when viability decreased under 70% of control cells. Figure 7 shows fluctuations of cellular viability for each sample.

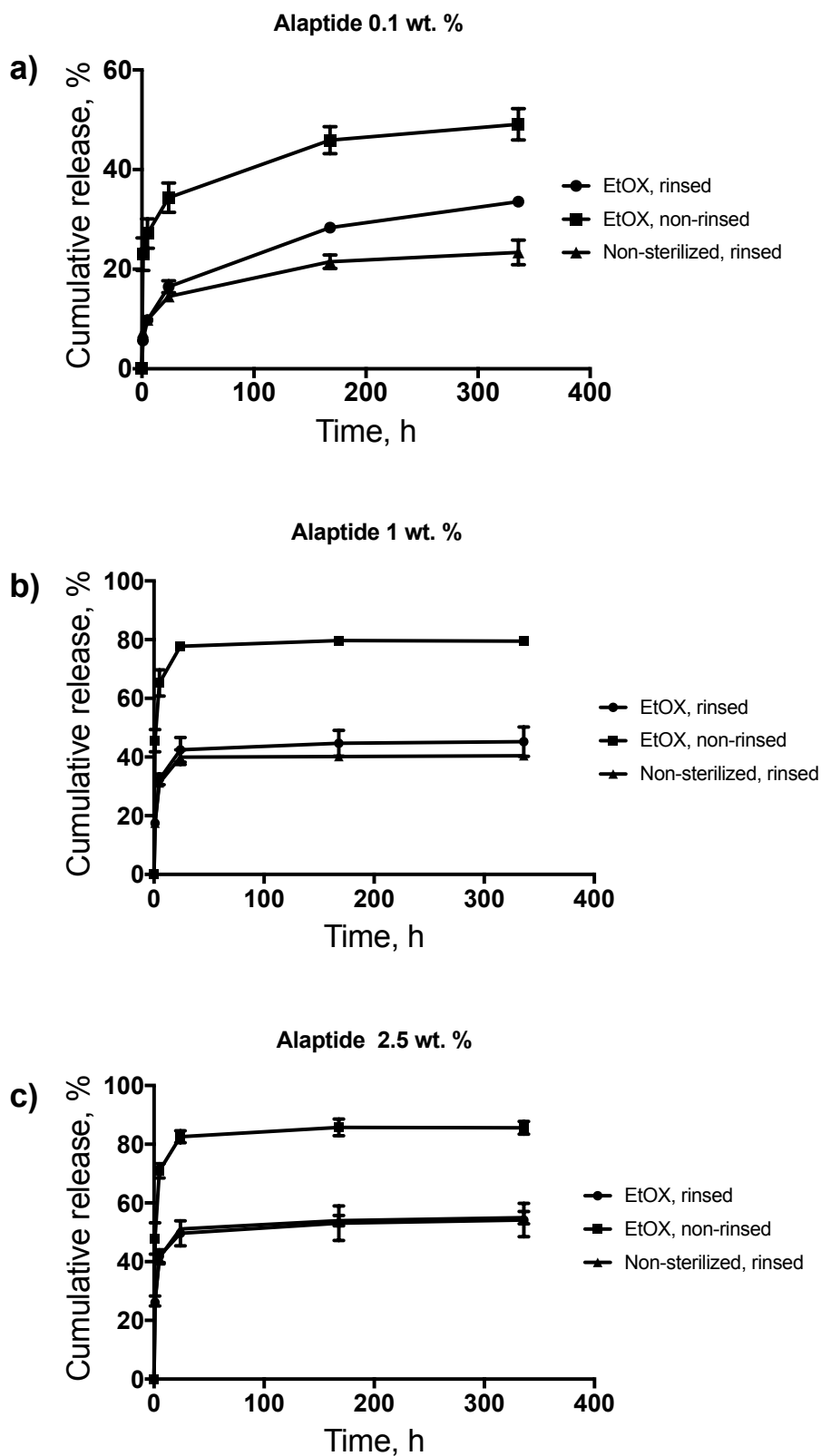


Figure 8: Cumulative release profiles of Alaptide from electrospun PCL nanofibrous mats. Three different initial Alaptide loading are presented: (a) 0.1 wt.%, (b) 1% wt. %, (c) 2.5 wt. %. Individual curves on each graph represent the method of sterilization of PCL layers. Each point represents mean $\pm$ SD, $n=3$

4 Conclusion

First of all, the drug-loaded polycaprolactone layers of nanofibrous electrospun nanofibers were successfully fabricated using electrospinning technology. A spirocyclic synthetic dipeptide, namely alaptide, was used as a model drug. A 16 wt.% PCL solution in 9:1 chloroform/ethanol was used to prepare the spinning polymer solution, into which alaptide in amount of 0.1, 1 and 2.5 wt.% was added to obtain drug-loaded spinning polymer solutions. The obtained nanofibrous layer were found to be heterogeneous with wide range of diameters distribution. The fiber diameter range was narrowing with the increasing drug loading. The thinnest fibers (308.87 nm, <275; 343> nm) were achieved from solution with the highest loading of alaptide (2.5 wt. %). The measurement of a contact angle revealed the linear increase of hydrophilicity of the layers with the increasing drug loading. The initial contact for a control layer was $116.22 \pm 26.83^\circ$ and for the highest drug loading it decreased to $67.16 \pm 16.11^\circ$. *In vitro* tests of cytotoxicity of material extracts revealed that even the highest used alaptide loading did not cause decrement of cell viability below the allowable level.

Three factors affecting morphology and drug release kinetics *in vitro* were investigated, namely an effect of sterilization with EtO or EtOH, an effect of preliminary rinsing in PBS solution and finally an effect of drug loading capacity. The release profiles for each electorspun layer were biphasic, consisting of an initial burst release within first 24 hours and further slow sustained release for the remaining 13-days period, suggesting heterogeneous drug distribution within the electrospun layers. The release alaptide amount within the burst release was increasing with increasing drug loading. The preliminary rinsing in PBS solution was found to wash out ~50% of initial drug content, which, however, did not reduce a burst effect. The significant changes of morphology of the electrospun layers were observed after the release of higher drug loadings. These morphology changes involved increment of smoothness of the surface and relaxation of individual fibers. Also, an adsorption of PBS crystals on the surface of the layers were observed after the experiment. Its quantification revealed that the amount of these particles increased with increasing drug loading and reached ~10% of the original weight for 1 and 2.5 wt.% loadings. The sterilization by EtO did not cause any remarkable changes in the morphology of the layers, however differences on release profiles were observed. Particularly, release rate for sterilized samples was slightly faster. This release rate difference was decreasing with the increasing drug loading, so that for the 2.5 wt.% loading it was irrelevant. Whereas the sterilization by EtOH was found to lightly affect the surface morphology of the layers, leading to higher smoothness. The drug percentage amount that was flushed out by EtOH was consistent with the amount flushed out by PBS for 0.1 and 1 wt.% loadings, whereas it was almost twice time much for the 2.5 wt.% loading, even thou standard deviation was higher. The comparison of obtained data with existing mathematical models was complicated due to a biphasic nature of release profiles, particularly due to a significant burst release for the higher drug loadings. However, separate fitting of both burst-phase and post-burst phase revealed that the release profiles fit the Higuchi model the best, suggesting the dominance of simple diffusion mechanism of the release.

Nevertheless, there are still many challenges and limitations remaining. In any case, the design of the experiment which was established in this study was found to be stable and descriptive. Thus, bearing in mind the results obtained in current study, this methodology might be successfully used in further studies. Additionally, it is reasonable to assume that obtained materials could be used as a modification of yet existing wound dressing product, i.e. NANOTARDIS.

References

- [1] Dragicevic, N., & Maibach, H. I. (2017). *Percutaneous Penetration Enhancers Chemical Methods in Penetration Enhancement Modification of the Stratum Corneum*. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53273-7>
- [2] Grassi, M., & Grassi, G. (2014). Application of mathematical modeling in sustained release delivery systems. *Expert Opinion on Drug Delivery*, 11(8), 1299–1321. <https://doi.org/10.1517/17425247.2014.924497>
- [3] Hillery, A. M., Lloyd, A. W., & Swarbrick, J. (2001). *Drug delivery and targeting for pharmacists and pharmaceutical scientists*. London: Taylor & Francis. Retrieved from <https://www.dawsonera.com/guard/protected/dawson.jsp?name=https://shib-idp.ucl.ac.uk/shibboleth&dest=http://www.dawsonera.com/depp/reader/protected/external/AbstractView/S9780203302767>
- [4] Horakova, J., Mikes, P., Saman, A., & Jencova, V. (2017). Effect of ethylene oxide sterilization on electrospun vascular grafts made from biodegradable polyesters. *Materials Science and Engineering: C*.
- [5] ISO 10993-5:2009-. (2009). International Organization for Standardization. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/36406.html>
- [6] Jampilek, J., Opatrilova, R., Rezacova, A., Oktabec, Z., & Dohnal, J. (2014). Alaptide : Methods of effecting its solubility, membrane permeation and pharmaceutical compositions for human and/or veterinary applications. Retrieved from <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2014019556&recNum=1&maxRec=&office=&prevFilter=&sortOption=&queryString=&tab=PCTDescription>
- [7] Siepmann, J., Siegel, R. A., & Rathbone, M. J. (2012). *Fundamentals and Applications of Controlled Release Drug Delivery*. Springer US. Retrieved from <https://books.google.cz/books?id=9yKSJdK37aMC>

VLIV VLHKOSTI PROUDÍCÍHO VZDUCHU NA TEPELNĚ IZOLAČNÍ VLASTNOSTI TEXTILIÍ

Céeeová Ivana

Sekce - TEXTIL,

Fakulta textilní, 2. ročník

Navazující magisterský studijní program – TEXTILNÍ INŽENÝRSTVÍ

Abstrakt: Tato práce se věnuje problematice možnosti testování tepelně izolačních vlastností textilií v podmínkách proudícího vzduchu. Konkrétně je sledován vliv vlhkosti proudícího vzduchu na změnu těchto vlastností. Experiment probíhá na zařízení, které simuluje přestup tepla mezi modelem lidské paže a textilním vzorkem umístěným uvnitř Aerodynamického tunelu. Na tomto zařízení nebyla prozatím vyvíjena a hodnocena metodika zabývající se testováním vlivu vlhkosti na tepelně izolační vlastnosti materiálů, bylo tedy zapotřebí vyvinout takový experiment, a následně hodnotit vliv proudícího vzduchu na tepelně-izolační vlastnosti textilií.

Klíčová slova: Tepelně izolační vlastnosti, Aerodynamický tunel, hustota tepelného toku, proudění tekutin, vlhkost vzduchu, vyhřívaný váleček.

1 Úvod

Lidský organismus představuje jakýsi samoregulační systém, ve kterém je zapotřebí, aby bylo dosaženo rovnováhy mezi množstvím vytvořeného tepla a tepla odevzdaného do okolního prostředí, tímto dochází k zachování stálé tělesné teploty a tedy k tepelné pohodě člověka. Pokud je ovšem lidský organismus vystaven působení proudícího vzduchu, je značně ochlazován, což vede k odvodu velkého množství tepla z povrchu pokožky. Aby nedošlo vlivem ochlazování organismu k jeho poškození, je potřeba ho izolovat a chránit od okolního prostředí, k tomu slouží oděv. Každý oděv má schopnost více či méně tepelně izolovat, některé materiály jsou využívány při extrémních podmínkách právě pro své dobré tepelně-izolační vlastnosti.

Tepelně-izolační vlastnosti textilií jsou ovlivněny celou řadou vnějších i vnitřních vlivů, jedním z nich je právě vlhkost. Se zvyšující se vlhkostí roste tepelná vodivost textilie, která udává schopnost nějaké látky vést teplo. Materiály mající vyšší tepelnou vodivost jsou tedy dobrými vodiči tepla, to je ovšem z hlediska tepelné izolace nepříznivé.

Tato práce si dala za cíl zjistit, jakým způsobem se projeví vliv vlhkosti vzduchu na měření tepelného toku při průchodu textilií v proudícím vzduchu. Vzorky vybraných materiálů jsou hodnoceny v zařízení umístěném v Aerodynamickém tunelu, kde je sledováno, do jaké míry jsou textilie schopny tepelně izolovat. Vliv vlhkosti nebyl zatím v zařízení Aerodynamického tunelu sledován, cílem práce je tedy navrhnout a posoudit možnosti testování vlivu vlhkosti vzduchu na úroveň tepelně izolačních vlastností textilií měřených v proudícím vzduchu.

2 Materiály

Pro tuto práci byly vybrány materiály reprezentující pracovní a sportovní oděvy a to z důvodu, že se tyto oděvy běžně vyskytují při podmínkách proudícího vzduchu.

Byly testovány čtyři vzorky materiálů, a to bavlněná tkanina, fleece úplet, membránový materiál Neoshell® a Softshell materiál Power Shield®.

Pro tuto práci není důležité porovnání jednotlivých materiálů mezi sebou, ale zjistit jakým způsobem se budou chovat při experimentu.

Na vyhřívaný váleček o průměru 0,08 m a výšce 0,1 m je během testování navlečen zkoušený vzorek textilie. Jedná se o pruh vzorku o šířce 0,11 m, který je přeložen na délku 0,15 m a sešit zvoleným švem a stehem. Byl zvolen hřbetový šev a steh ruční. Pro tuto práci není podstatné sledovat vliv použitého švu a stehu u vzorků.

Pro zajištění maximální reprodukovatelnosti, je vhodné, aby byly vzorky po dobu alespoň 5 hodin klimatizovány ve standardní atmosféře, tedy při teplotě $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti $RH = 65 \pm 2\%$. Tyto požadavky nejsou z technického hlediska dodrženy. Experiment tedy probíhal za běžných podmínek laboratoře, při které byla zjištěna teplota $t = 22 \pm 2^\circ\text{C}$ a relativní vlhkost $RH = 30 \pm 2\%$. V této práci jsou uváděné standardní podmínky myšleny jako podmínky běžně se vyskytující v laboratoři.

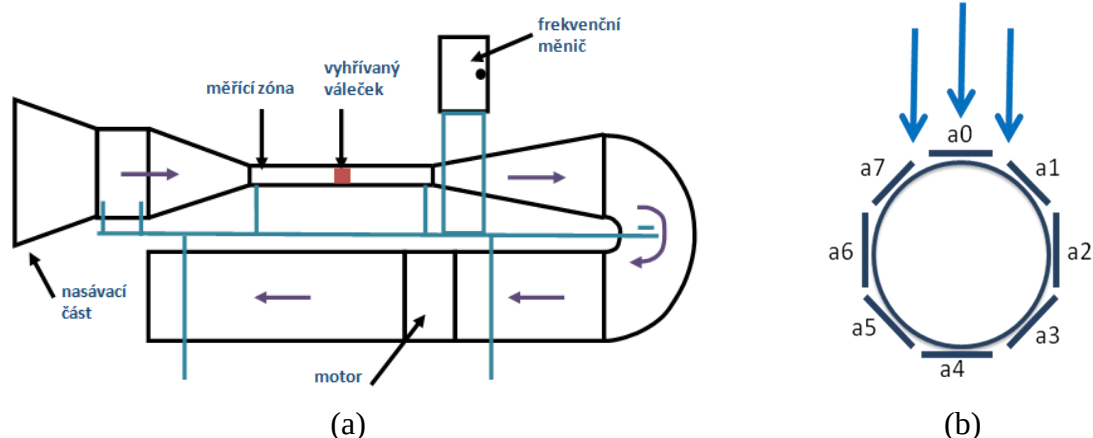
Pro zajištění správnosti měření je zapotřebí zajistit u měřených vzorků přesnou velikost a vždy stálé umístění švu na válečku. Testované vzorky je zapotřebí umístit na váleček v těsném kontaktu, aby nedocházelo ke vzniku nežádoucích vzduchových mezer, jelikož by mohlo dojít k negativnímu ovlivnění měření.

3 Metoda testování

Testování probíhalo na zařízení umístěném v Aerodynamickém tunelu na katedře oděvnictví. Testovacím zařízením je vyhřívaný váleček, jež představuje model lidské paže. Měřením na tomto zařízení je sledováno, do jaké míry jsou textilie schopny tepelně izolovat, což se projevuje na množství tepla, které je zapotřebí vyvinout k udržení teploty válečku na 32°C . Testování v Aerodynamickém tunelu tedy funguje na principu měření přenosu tepla z vyhřívaného válečku přes textilií do okolí. Vyhřívaný váleček je obtékán proudem vzduchu s možností volby rychlosti proudění tohoto vzduchu. Výstupem tohoto testování je konkrétní veličina a to hustota tepelného toku.

Teplota vyhřívaného válečku odpovídá průzkumů, které tvrdí, že průměrná teplota povrchu lidské pokožky činí 32°C . Na tomto válečku je umístěno 8 alfametrů označených a_0 - a_7 (Obr. 1b) snímajících tepelný tok, důležité je sledování zejména párových alfametrů 1-7, 2-6, 3-5, u kterých existuje předpoklad stejného průběhu, dále jsou sledovány alfametr 0, který je na návětrné straně a alfametr 4, který je na závětrné straně.

Na níže uvedeném schématu je zobrazen boční pohled na Aerodynamický tunel a model lidské paže s jednotlivými alfametry, na který působí proud vzduchu, jež je znázorněn modrými šipkami. [1] [2]



Obrázek 1: (a) Aerodynamický tunel [2], (b) vyhřívaný váleček (model lidské paže).

3.1 Nastavení zařízení

Veškerý řídicí program je vytvořen v prostředí software LabView. Než může být proveden experiment, je zapotřebí ustálit podmínky měření, přibližně 15 minut. To se provádí z důvodu ustálení měřeného tepelného toku, jenž je závislý na čase.

Aerodynamický tunel je zařízení, které je stále ve vývoji a to jak hardwarově tak i softwarově je tedy nutné si uvědomit, že nejen samotná část přípravy, ale i měření jsou časově náročná a stále náchylná k výskytu náhlých chyb spojených s jednotlivými měřeními [1] [2]

3.2 Realizace experimentu

Po výběru a stanovení materiálu určeného pro experiment a přípravě zařízení následuje již samotná realizace měření.

V následujícím textu níže jsou popsána jednotlivá měření, která byla v rámci této diplomové práce provedena.

- a) Zkušební měření, které sloužilo pro správné nastavení výstupů experimentu a pro nastavení vhodné formy prezentace naměřených hodnot.
- b) Hodnocení tepelně izolačních vlastností vybraných materiálů za běžných podmínek v laboratoři při působení proudícího vzduchu.
- c) Způsob jakým bylo docíleno navýšení vlhkosti v tunelu.
- d) Hodnocení tepelně izolačních vlastností vybraných materiálů za podmínek navýšené vlhkosti při působení proudícího vzduchu.

a) Zkušební měření

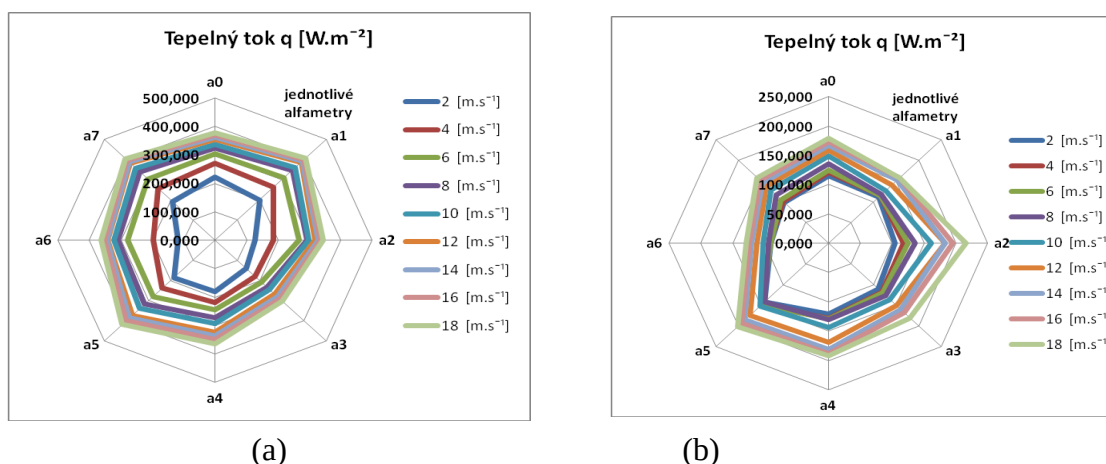
Toto zkušební testování sloužilo pro správné nastavení výstupů experimentu a pro nastavení vhodné formy prezentace naměřených hodnot.

První zkušební měření na zařízení byla provedena na všech vzorcích a bez vzorku. Jednotlivé parametry testu měření byly nastaveny v rychlostech proudění na 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 a 18 m.s^{-1} s tolerancí rychlosti proudění na 1 m.s^{-1} . U každé rychlosti bylo provedeno 30 snímků, jednotlivé snímky jsou zaznamenávány vždy po 3 sekundách. Testování všech vzorků trvalo zhruba 3 hodiny.

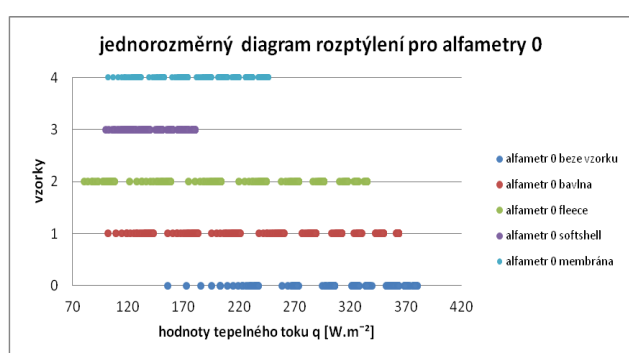
Vyhodnocení a další postup:

Pro prezentaci výsledků byly zvoleny paprskové grafy, které znázorňují průměrné hodnoty tepelného toku jednotlivých alfametrů, při působení různých rychlostí proudícího vzduchu. Dále byl zvolen jednorozměrný diagram rozptýlení po jednotlivé alfametry, na němž je zobrazeno porovnání alfametry pro všechny testované vzorky. Jednotlivé úseky představují měření při různých rychlostech proudění. Také je možné na tomto grafu porovnávat, které materiály projevují lepší tepelně izolační vlastnosti. A v konečné řadě byl pro prezentaci výsledků zvolen bodový graf, na kterém lze sledovat, zda mají párové alfametry shodný průběh. Také je zde sledována teplotní linka vyhřívaného válečku, neboli modelu lidské paže a teplotní linka teploty v tunelu. Jednotlivé úseky pak reprezentují vybranou rychlost proudění.

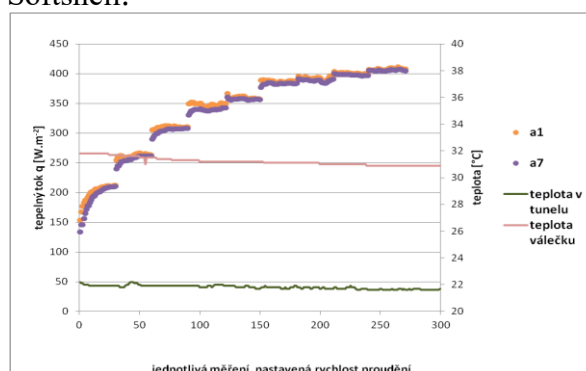
Pro porovnání jsou na obrázku 2 zobrazeny paprskové grafy s průměrnými hodnotami tepelného toku u testování bez použití textilního vzorku a s použitím vzorku materiálu Softshell. Na obrázku 3 je zobrazen jednorozměrný diagram rozptýlení pro alfametr 0 snímáný na všech vzorcích a na obrázku 4 je zobrazeno porovnání párových alfametrů 1 a 7 pro materiál Softshell.



Obrázek 2: (a) Průměrné hodnoty tepelného toku-beze vzorku, (b) průměrné hodnoty tepelného toku-materiál Softshell.



Obrázek 3: (a) Jednorozměrný diagram rozptýlení pro alfametr 0



Obrázek 4: Porovnání párových alfametrů 1 a 7

Bylo zjištěno, že během testování dochází ke snížení teploty válečku až o 1°C a snížení teploty v tunelu až $0,5^{\circ}\text{C}$. Byla tedy položena otázka, zda by se teplota válečku a teplota tunelu sjednotila s vyšším počtem provedených měření. Dále byla zjištěna nestejnoměrnost některých párových alfametrů, tato nestejnoměrnost je pravděpodobně dána umístěním anemometrického čidla. Tuto nestejnoměrnost by bylo vhodné sledovat v dalších experimentech a nalézt její přesnou příčinu.

Pro další postup práce bylo zvoleno testování vybraných materiálů za podmínek rychlosti proudění $5, 10$ a 15 m.s^{-1} , a to vždy pro čas měření jedné rychlosti na $10, 15$ a 20 minut. Dále byla zvolena tolerance rychlosti na 1 m.s^{-1} . Sběr dat byl nastaven po 3 s .

Důležité bylo také, aby byl šev testovaného vzorku umístěn při každém měření na stejném místě, a to nejlépe takovém, při kterém by nedocházelo k ovlivnění výsledných hodnot. Vhodné umístění švu testovaných vzorků, bylo zvoleno mezi alfametrem 4 a alfametrem 5, které jsou na závětrné straně.

b) Hodnocení materiálů za běžných podmínek v laboratoři

Nejprve bylo přistoupeno k testování výše zmíněných materiálů za námi vybraných podmínek bez ovlivnění vlhkosti v tunelu a jeho okolí. Podmínky měření byly:

- rychlost proudění = $5, 10$ a 15 m.s^{-1} ,
- čas měření jedné rychlosti = $10, 15$ a 20 minut,
- tolerance rychlosti = 1 m.s^{-1} ,
- sběr dat byl nastaven po 3 s .

Test jednoho z vybraných materiálů trval celkem $40, 55$ a 70 minut.

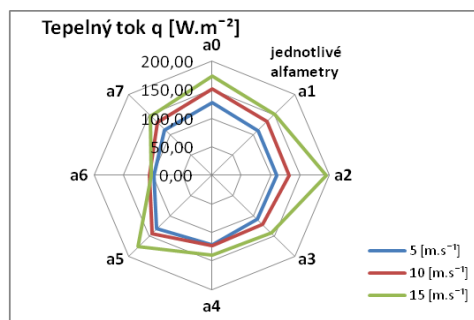
Vyhodnocení:

I přestože nebylo cílem práce porovnávat mezi sebou jednotlivé materiály, ukázalo se, že během experimentu dosahoval materiál Softshell nejlepších tepelně izolačních vlastností, oproti tomu nejméně izolačním materiálem byla bavlněná tkanina. Tyto hodnoty odpovídají realitě, kdy oděvy z materiálu Softshell se využívají pro chladné a větrné prostředí. Proto byl pro podrobný popis vybrán právě materiál Softshell.

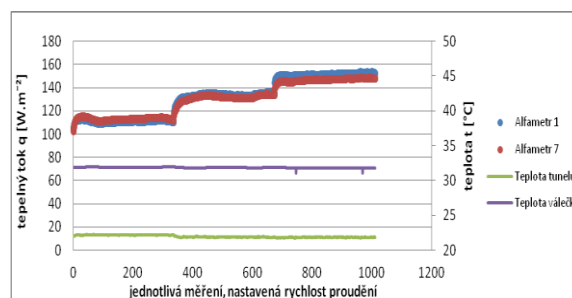
Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 1011, tedy 337 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

Standardní podmínky:

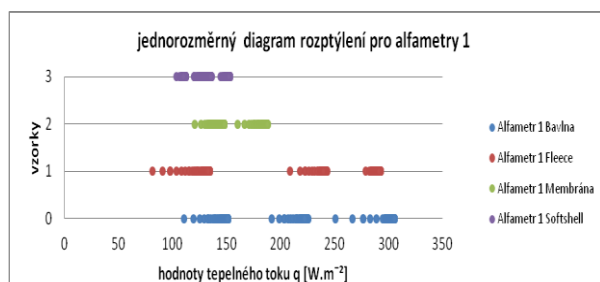
vlhkost v tunelu = 26 %,
 teplota v tunelu = 21,9° C.



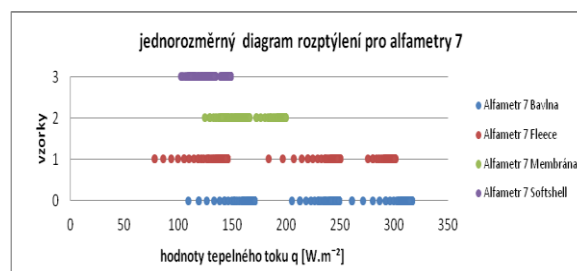
Obrázek 5: Průměrné hodnoty tepelného toku bez vzorku



Obrázek 6: Porovnání párových alfametrů 1 a 7.



(a)



(b)

Obrázek 7: (a) Jednorozměrný diagram rozptýlení pro alfametr 1, (b) jednorozměrný diagram rozptýlení pro alfametr 7.

c) Testování navýšení vlhkosti vzduchu v Aerodynamickém tunelu

Jak již bylo zmíněno cílem této práce je zjistit, jakým způsobem se projeví vliv vlhkost vzduchu při měření na zařízení v Aerodynamickém tunelu. Bylo tedy zapotřebí navrhnout experiment, během kterého by byla v Aerodynamickém tunelu navýšena vlhkost.

Byl vybrán vhodný zvlhčovač, který je odpovídající pro účely testování z hlediska objemu vyvíjení páry a z hlediska možnosti využití nástavné hadice a rozšířeného vyústění. Podmínkou pro výběr zvlhčovače bylo také zajištění zavlhčení prostoru studenou parou, a to z toho důvodu, že je během experimentu nežádoucí výrazně ovlivňovat teplotu v tunelu.

Byl tedy vybrán zvlhčovač pracující na principu ultrazvukového zvlhčování, kdy se povrch kapaliny pohybuje díky ultrazvukové vlně, k té dochází při rozechvění ultrazvukové membrány, což vede k rozprášení kapky vody o velikosti 1-5μm.

Aby mohlo být pokračováno v experimentu, bylo potřeba zajistit vhodné umístění vyvíječe páry u nasávací trubice aerodynamického tunelu.

U prvních měření bylo zjištěno, že je zapotřebí umístit vyvíječ na horní stěnu nasávací hlavice tunelu. A to z důvodu vyšší hmotnosti páry oproti okolnímu vzduchu. Původní umístění vyvíječe, na spodní stěně nasávací hlavice tunelu vedlo k poklesu páry pod tunel a ne do tunelu.

Dále bylo žádoucí rozmístit vzniklou páru po celé šíři tunelu, na což bylo použito rozšířené vyústění.

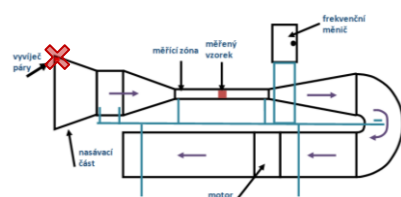
Vyhodnocení volby umístění zvlhčovače:

V této kapitole je zobrazen způsob jakým bylo přistoupeno k testování vhodného způsobu umístění vyvíječe vlhkosti. Ideální by bylo co nejvyšší navýšení páry v celé šíři aerodynamického tunelu bez porušení linearitu proudícího vzduchu.

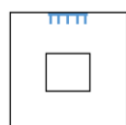
Níže jsou uvedeny čtyři způsoby umístění vyvíječe vlhkosti, které byly během této práce testovány. U každého způsobu je uvedeno schématické znázornění umístění vyvíječe páry, je zde vždy zobrazen pohled zleva, kde je patrné schéma celého aerodynamického tunelu s vhodným umístěním vyvíječe páry na nasávací části tunelu.

Možnosti umístění vyvíječe vlhkosti:

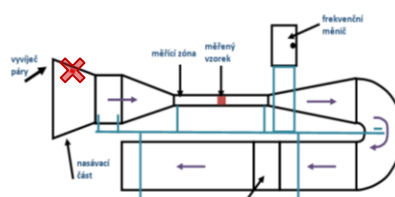
- 1) Rozšířené vyústění na okraji horní stěny nasávací části tunelu.
- 2) Rozšířené vyústění uvnitř na horní stěně nasávací části tunelu.
- 3) Hadice bez rozšíření uprostřed nasávací části tunelu.
- 4) Rozšířené vyústění uvnitř na spodní stěně nasávací části tunelu



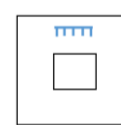
(a)



(b)



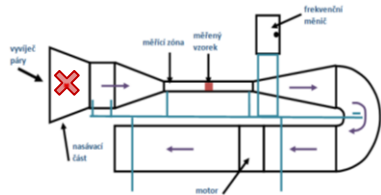
(a)



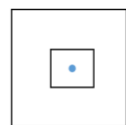
(b)

Obrázek 5: Umístění zdroje vlhkosti č.1, (a) bokorys, (b) čelní pohled [2].

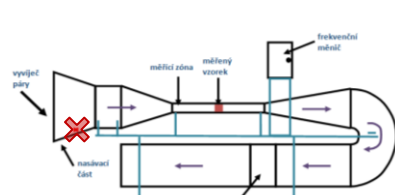
Obrázek 6: Umístění zdroje vlhkosti č.2, (a) bokorys, (b) čelní pohled [2].



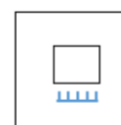
(a)



(b)



(a)



(b)

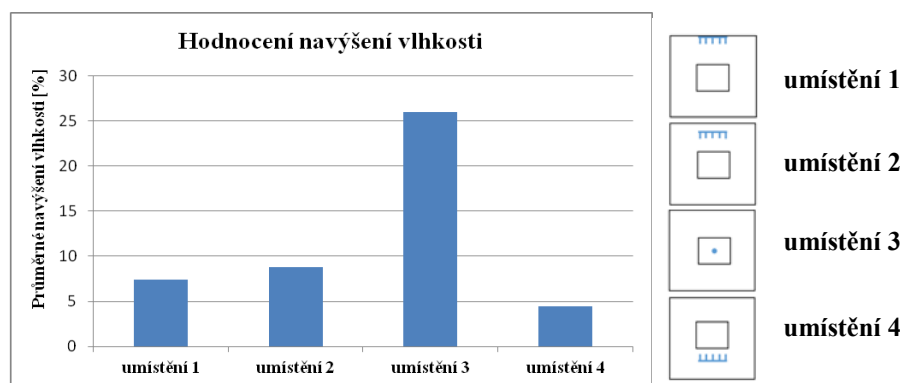
Obrázek 7: Umístění zdroje vlhkosti č.3, (a) bokorys, (b) čelní pohled [2].

Obrázek 8: Umístění zdroje vlhkosti č.4, (a) bokorys, (b) čelní pohled [2].

Před začátkem měření jednotlivých metodik byla zjištěna teplota a relativní vlhkost v tunelu i jeho okolí, tedy v místě nasávací hlavice tunelu.

Následně byl zapojen vyvíječ páry a aerodynamický tunel. Pro jednotlivé metodiky bylo zvoleno testování bez materiálu za podmínek rychlosti proudění 5 m.s^{-1} .

Po spuštění tunelu byly každých 10 minut snímány hodnoty teploty a relativní vlhkosti v tunelu i jeho okolí. Test každé z vybraných metodik trval celkem 120 minut.



Obrázek 9: Graf zobrazení průměrného navýšení vlhkosti.

Na výše uvedeném obrázku 9 je grafické zobrazení průměrných hodnot navýšení vlhkosti v Aerodynamickém tunelu u jednotlivých umístění zvlhčovacího zařízení.

Je patrné, že k nevyššímu nárůstu vlhkosti v tunelu došlo během třetí možnosti umístění zvlhčovacího zařízení, kde byla hadice bez rozšíření umístěna uprostřed nasávací části tunelu. Vzhledem k nejvyššímu nárůstu vlhkosti, jež činil 25,98 %, byl tento způsob vybrán jako vhodný pro další pokračování v experimentu.

d) Hodnocení materiálů s navýšenou vlhkostí vzduchu v tunelu

Po zvolení vhodné metody pro navýšení vlhkosti v tunelu bylo přistoupeno k testování vybraných materiálů za stejných podmínek jako u testování bez navýšení vlhkosti vzduchu.

Podmínky měření byly:

- rychlost proudění = 5, 10 a 15 m.s^{-1} ,
- čas měření jedné rychlosti = 10, 15 a 20 minut,
- tolerance rychlosti = 1 m.s^{-1} ,
- sběr dat byl nastaven po 3 s.

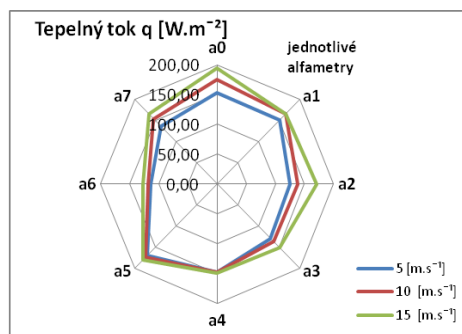
Test jednoho z vybraných materiálů i s navýšováním vlhkosti trval celkem 50, 65 a 80 minut.

Vyhodnocení:

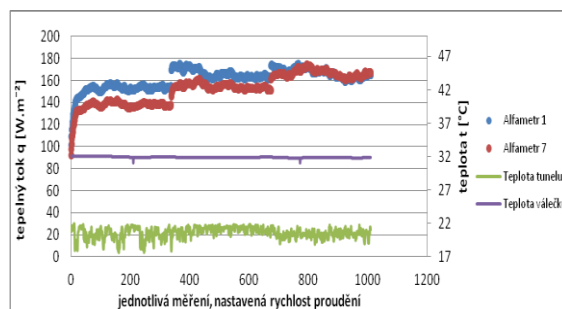
Počet naměřených hodnot při jednom experimentu činí 1011, tedy 337 hodnot získaných u jedné varianty rychlosti proudění.

Podmínky při navýšení vlhkosti:

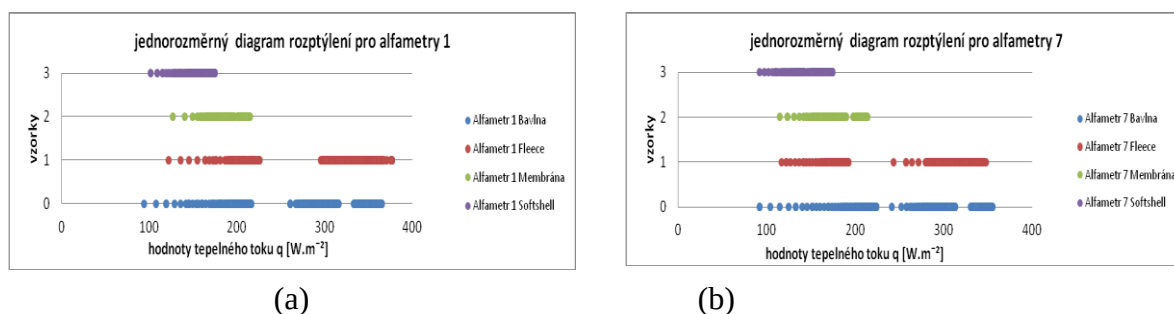
vlhkost v tunelu = 64 %,
teplota v tunelu = 20,2° C.



Obrázek 10: Průměrné hodnoty tepelného toku-beze vzorku



Obrázek 11: Porovnání párových alfametrů 1 a 7.

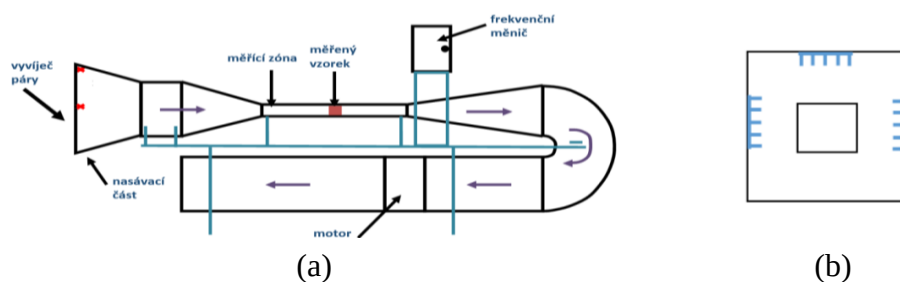


Obrázek 12: (a) Jednorozměrný diagram rozptýlení pro alfametr 1, (b) jednorozměrný diagram rozptýlení pro alfametr 7.

4 Diskuze výsledků

Po provedení zkušebního testování jednotlivých materiálů bylo zjištěno, že během tohoto měření trvajícího zhruba 3 hodiny, při všech rychlostech proudění dochází ke snižování teploty válečku v průměru o 1°C a také ke snížení teploty v tunelu až o $0,5^\circ\text{C}$. Bylo tedy přistoupeno k otestování, zda během různých časových intervalů dojde k ustálení teplot tunelu a válečku. Z vyhodnocení jednotlivých měření bylo zjištěno, že delší časová doba testování jednoho vzorku nemá výrazný vliv na hodnoty teploty v tunelu a teploty válečku. Bylo ale zpozorováno, že během testování, ať již za standardních podmínek tak i za podmínek s navýšenou vlhkostí, dochází v ne předem odhadnutelných úsecích ke skokům snímání teploty válečku. Na hodnotě jednoho snímku byla vždy zaznamenána teplota válečku 31°C i když u ostatních snímků byla jiná. Bylo by zajímavé v rámci jiných prací sledovat, za jakých podmínek k tomuto jevu dochází a čím je způsoben.

Dále bylo sledováno, kdy dojde k ustálení hodnot tepelného toku, což by pomohlo v dalších pracích probíhajících v Aerodynamickém tunelu. Proto byla jednotlivá měření prováděna při různých časových intervalech. Porovnáním všech výsledných hodnot, lze zpozorovat, že u materiálů s vyšší porositou je ustalování tepelného toku při všech testovaných rychlostech proudícího vzduchu zpravidla podobně dlouhé, nejvíce je to viditelné u bavlněné tkaniny. U membránových materiálů je ustalování tepelného toku s navýšující se rychlostí proudícího vzduchu kratší. Po průzkumu jednotlivých dat, z jednotlivých alfametrů lze říci, že u každé rychlosti proudu vzduchu dochází k ustalování tepelného toku po zhruba 45 snímcích, což odpovídá zhruba 3 minutám měření jednoho vzorku, to ale platí, pouze pokud nedošlo k navýšení vlhkosti v tunelu, tedy za standardních podmínek v laboratoři. Pokud byla vlhkost vzduchu v tunelu navýšena nelze s jistotou říci, kdy dochází k ustálení hodnot tepelného toku, to je způsobeno nerovnoměrností zvýšené vlhkosti vzduchu v rámci celého průřezu tunelu, a tím kolísáním teploty v tunelu. Bylo by vhodné v rámci dalších měření zajistit lepší rozložení vlhkosti v tunelu a to bez ovlivnění linearitu proudění. Doporučuji pořídit další dva zvlhčovače vzduchu a umístit je dle následujícího schématu.



Obrázek 13: Doporučené umístění zdroje vlhkosti, (a) bokorys, (b) čelní pohled [2].

Z dalších vyhodnocení byl potvrzen předpoklad, že materiál Softshell dosahuje nejlepších tepelně izolačních vlastností, jelikož u něho byla sledována nejmenší spotřeba tepla, která je vyvíjena pro udržení teploty válečku na 32° C. Během hodnocení bylo tedy posuzováno, zda působení vlhkosti ovlivní nějak tuto skutečnost. Z celkového vyhodnocení výsledků lze s jistotou říci, že působením vlhkosti nedochází k výraznému ovlivnění tepelně izolačních vlastností materiálů.

Dále bylo zjištěno, že v rámci působení vlhkosti (navýšení o zhruba 30 %RH z původních 25 % RH na 55 % RH) v tunelu dochází ke zvýšení průměrných hodnot tepelného toku, nelze přesně určit, čím je tento jev způsoben, nabízejí se dvě následující příčiny, popřípadě jejich kombinace:

- dodání studené páry, která způsobuje snížení teploty v tunelu, což vede k rychlejšímu ochlazení textilie a tím pádem ke zvýšené produkci tepelného toku.
- ulpění vzdušné vlhkosti na testované textilii, čímž může docházet k vyšší tepelné vodivosti, která je způsobena vodní parou, a tím dochází k rychlejšímu ochlazení textilie a tím pádem ke zvýšené produkci tepelného toku.

Bylo by zajímavé v rámci jiných prací sledovat, hmotnostní přírůstek textilních vzorků po působení vlhkého proudu vzduchu.

5 Závěr

Tato práce si dala za cíl zjistit, jakým způsobem se projeví vliv vlhkosti vzduchu na měření tepelného toku při průchodu textilií v proudícím vzduchu. Cílem předložené práce bylo tedy navrhnout a posoudit možnosti testování vlivu vlhkosti vzduchu na úroveň tepelně izolačních vlastností textilií měřených v proudícím vzduchu. Měření navýšené vlhkosti vzduchu v laboratorním Aerodynamickém tunelu mělo přiblížit podmínky měření k podmínkám vyskytujícím se při reálném nošení oděvů za podmínek vlhkého a větrného podnebí.

Testovací zařízení, tedy Aerodynamický tunel na katedře oděvnictví, vyhovuje požadavkům měření tepelně-izolačních vlastností za podmínek proudícího vzduchu. Avšak na tomto zařízení nebyla prozatím vyvíjena a hodnocena metodika zabývající se testováním vlivu vlhkosti na tepelně izolační vlastnosti materiálů, bylo tedy zapotřebí vyvinout takový experiment, a následně hodnotit vliv proudícího vzduchu na tepelně-izolační vlastnosti textilií.

Závěry laboratorního měření experimentu prokázaly, že lze simulovat změny tepelně-izolačních vlastností materiálů v důsledku působení nejen proudění vzduchu, ale i zvýšené vlhkosti vzduchu.

Na závěr této práce je vhodné zmínit doporučení pro optimalizaci zařízení Aerodynamického tunelu, jelikož má tento experiment potenciál ke zlepšení:

- regulace teploty u vyhřívaného válečku, čímž by byly dosaženy konstantní a stejné podmínky u všech měření.
- doplnění válečku o zaznamenání údajů o spotřebované energii, která byla použita pro vyrovnání teploty.
- přidání senzoru pro změření teploty mezi válečkem a vzorkem.

Dále je zapotřebí zmínit doporučení pro další vývoj v rámci testování vlivu vlhkosti vzduchu na úroveň tepelně izolačních vlastností textilií měřených v proudícím vzduchu:

- sledovat, za jakých podmínek dochází ke skokovému poklesu teploty vyhřívaného válečku a čím je způsoben.
- sledovat, hmotnostní přírůstek textilních vzorků po působení vlhkého proudu vzduchu.
- pořízení dalších vyvíječů páry a sledovat vhodné umístění, které by neovlivnilo linearitu proudícího vzduchu v tunelu.

- sledování vzduchové mezery mezi vyhřívaným válečkem a testovaným vzorkem.
- sledování vlivu anemometrického čidla na vznik turbulentního proudění v tunelu.
- sledování vlivu nově použitého alfametru 3.

Aerodynamický tunel je unikátní zařízení neustále se vyvíjející. Hlavním cílem této práce bylo přispět k optimalizaci tohoto zařízení a prokázat zda lze simulovat změny tepelně-izolačních vlastností materiálů v důsledku působení nejen proudění vzduchu, ale také zvýšené vlhkosti vzduchu. Doufám, že tato práce napomohla k dalšímu rozvoji na zařízení Aerodynamický tunel.

Literatura

- [1] ŠUBERT, Radim. *Hodnocení tepelně-izolačních vlastností textilií při vyšších rychlostech proudění vzduchu*. Liberec, 2006. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní. Školitel Doc. Dr. Ing. Zdeněk Kůs.
- [2] HALASOVÁ, Andrea. *Příspěvek k hodnocení prodyšnosti oděvních sendvičů v podmínkách rychle proudícího vzduchu*. Liberec, 2006. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní. Školitel Doc. Dr. Ing. Zdeněk Kůs.

Výběr ze souboru zdrojové literatury diplomové práce (není uvedena v příspěvku, je ale důležitá pro sestavení celého experimentu)

- [3] BROŽ, Václav. DANĚK, Vladimír. FILAKOVSKÝ, Karol. *Základy aerodynamiky*, Brno: Akademické nakladatelství Cerm s.r.o., 2004, ISBN 80-7204-316-1.
- [4] FEXA, Josef, ŠÍROKÝ, Karel. *Měření vlhkosti*. 1. Vydavatelství Praha Bratislava: Státní nakladatelství technické literatury Alfa, 1983. 262 s.
- [5] PROCHÁZKA, Arnold. *Proudění tekutin potrubím a kanály*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962.
- [6] STEIDL, Hanuš. *Úvod do proudění tekutin a sdílení tepla*. Praha: Academia, 1975.
- [7] BHATIA, Dinesh, MALHOTRA, Urvashi. Thermophysiological Wear Comfort of Clothing: An Overview. *Journal of Textile Science & Engineering*. India, 2016, 1-8, ISSN: 2165-8064.
- [8] MATUSIAK, Małgorzata. Investigation of the Thermal Insulation Properties of Multilayer Textiles. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. Poland, 2006, 98-102, ISSN: 1230-3666
- [9] ONFREI, Elena, ROCHA, Ana Maria, CATARINO, André. The Influence of Knitted Fabrics' Structure on the Thermal and Moisture Management Properties. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. Portugal, 2011, 10-22.
- [10] FRYDRYCH, Ivo, DZIWORSKÁ, Gabriela, BILSKÁ, Jadwiga. Comparative Analysis of the Thermal Insulation Properties of Fabrics Made of Natural and Man-Made Cellulose Fibres. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. Poland, 2002, 40-44, ISSN: 1230-3666.
- [11] ANGELOVÁ, Radostina, REINERS, Priscila, GEORGIEVA, Elena, PLAMENOVÁ KONOVA, Hristina, PRUSS, Bianca, KYOSEV, Yordan. Heat and mass transfer through outerwear clothing for protection from cold: influence of geometrical, structural and mass characteristics of the textile layers. *SAGE Journals*. 2016, 87, 9, 1060-1070, ISBN 0040-5175.
- [12] OGLAKCIOGLU, Nida, MARMARALI, Arzu. Thermal Comfort Properties of Some Knitted Structures. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. Turkey, 2007, 15, 64-65, ISSN: 1230-3666.
- [13] MATUSIAK, Małgorzata, SIKORSKI, Krzysztof. Influence of the Structure of Woven Fabrics on Their Thermal Insulation Properties. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. Poland, 2011, 46-53, ISSN: 1230-3666.

Návrh a realizace zařízení pro testování vodních filtrů textilního charakteru

Petr Horných

Sekce – TEXTIL,

Fakulta textilní, 2. ročník

Navazující magisterský studijní program – PRŮMYSLOVÉ INŽENÝRSTVÍ

Abstrakt: Práce se zabývá návrhem a následnou realizací filtrační tratě pro testování vodních filtrů textilního charakteru. Práce obsahuje výběr a následnou konstrukci nejvhodnějšího návrhu. Tento návrh je poté realizován formou sestavení filtrační tratě. V závěru práce je filtrační trať testována pro ověření její funkčnosti.

Klíčová slova: filtrace, filtrační trať, testování, vodní filtry

1 Úvod

Cílem této práce je návrh a následná realizace zařízení pro testování vodních filtrů textilního charakteru s možností simulování podmínek, ve kterých bude následně filtr aplikován.

Rešeršní část obsahuje popis mechanismů filtrace, možné konstrukční varianty filtrů a přehled norem zabývajících se testováním filtrace.

V experimentální části jsou na základě poznatků z rešeršní části práce stanoveny základní technické parametry pro filtrační trať. Tyto parametry jsou následně zpracovány v dalším bodě, kdy je vytvořen návrh filtrační trati včetně stanovení hlavních součástí. Cílem je využití unifikovaných dílů pro dodržení jednoduchosti výroby a snadného následného provozu či možnosti budoucích modifikací. Následně je provedena realizace, tzn. postavení filtrační tratě a její zapojení.

V závěru experimentální části je trať otestována v celém pracovním rozsahu pro zjištění limitních hodnot, čímž je ověřena její funkčnost.

2 Rešeršní část

Rešeršní část se zabývá typy filtrace, mechanismy filtrace a konstrukčním řešením filtrů. Součástí rešerše je také studium příslušných norem pro filtraci kapalin. Z důvodu kapacity zde není dále uváděno.

3 Experimentální část

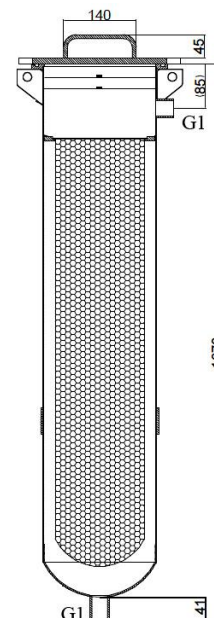
V experimentální části jsou obsaženy návrhy konceptů, shrnutí pozitiv a negativ každé varianty a následně výběr nejvhodnějšího návrhu, který je zpracován tak, aby splňoval všechny požadavky filtrační tratě.

3.1. Informace a požadavky

Průmyslová filtrace kapalin.

- Parametry:
- max. průtok $600 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$
 - připojení pro cartridge filtry viz obrázek 1
 - dávkování nečistot vlastního výběru
 - měření diferenciálního tlaku
 - ohřev kapaliny (max. 70°C)
 - možnost pracovního tlaku až 10 bar

Na základě výše uvedeného byl výběr komponent, návrh měřicího uzlu, stavba a ověřování.



Obrázek 1 schéma cartridge filtru [1]

3.2. Návrh konceptů

Důležitou součástí celé práce je právě návrh konceptů. Je zde popsáno pět konstrukčních řešení, které využívají pokaždé jiný způsob konstrukce. To se také promítne do výhod a nevýhod jednotlivých konceptů, které později rozhodnou o nejvhodnější konstrukční variantě vhodné k detailnímu návrhu.

a) Gravitační způsob

Tento způsob je konstrukčně nejjednodušší. Využívá pouze hydrostatického tlaku bez nutnosti dalšího pohonu. Nádrž o dostatečné výšce a pod nádrží umístěn cartridge s filtrem. Jeho nevýhodou je však vysoký požadavek na zástavbové rozměry a dále fakt, že se hydrostatický tlak bude se snižující se výškou vodního sloupce během zkoušky také zmenšovat. V důsledku toho bude docházet ke zmenšení průtoku v závislosti na výšce hladiny během zkoušky. Řešením by bylo udržování konstantního vodního sloupce, což by zajistilo neměnný průtok. Problém je s využitím již prošlé odpadní vody.

b) Tlačení pístem

Tato varianta se vyznačuje jednoduchou konstrukcí, která využívá k dosažení průtoku pohybu pístu, který tlačí kapalinu přes testovací ústrojí. Pohon pístu může být řešen pneumaticky, či hydraulicky. Nevýhodou tlačení pístem je diskontinuální proces, kdy se musí vždy válec před opětovným testováním naplnit kapalinou.

c) Tlačení pístem za použití klikového mechanismu

Varianta s použitím klikového mechanismu vychází z předchozího systému tlačení pístem, ale píst je zde poháněn pomocí klikového mechanismu. Díky tomu dochází k rychlému přesunu pístu z dolní úvratě do úvratě horní. Během vratného pohybu do dolní úvratě dochází k doplnění kapaliny do válce vstupním potrubím, které je osazeno jednosměrným ventilem. Oproti předchozí variantě je zde myšlen válec s menším objemem, protože je zde předpoklad několika desítek pracovních cyklů během jedné minuty.

d) Dvě nádrže s čerpadlem

Použití dostatečně výkonného čerpadla splňujícího požadavky průtoku umožní konstantní hodnotu průtoku během zkoušky. Tento koncept je navržen se dvěma nádržemi: vstupní a výstupní. Výhodou tohoto řešení je možná analýza kapalin před filtrací a po samotné filtraci. Nevýhodou jsou větší zástavbové rozměry a nutnost po ukončení zkoušky opět přečerpat kapalinu z výstupní nádrže zpět do vstupní. Také objem samotných nádrží je limitujícím faktorem pro dobu trvání zkoušky.

e) Jedna nádrž s čerpadlem

Poslední koncept se také drží použití čerpadla a nádrže. V tomto případě je použita jedna nádrž a kapalina zde cirkuluje. Tento koncept dovoluje kontinuální testování, kde není limitující hodnotou objem nádrže a lze tedy stanovit čas zkoušky dle potřeb aktuálního pokusu. Také zástavbové rozměry nemají příliš velké požadavky.

3.3. Výběr nejvhodnějšího konceptu

Před konstrukčním návrhem je třeba zvolit nejvhodnější koncept, který bude následně zpracován. Jednotlivé koncepty jsou hodnoceny z pohledu užitných vlastností, zástavbových rozměrů a funkčnosti. Hodnocení probíhá formou bodového ohodnocení 0–5. Platí pravidlo, že více bodů znamená lepší hodnocení dané vlastnosti.

Poznámka: Průběh hodnocení zde není uveden z důvodu kapacity.

Nejvhodnějšími kandidáty pro budoucí realizaci je koncept s indexem **d** a koncept **e** viz předchozí kapitola. Pro jednoznačné rozhodnutí jsou kritéria modifikována a je opět provedeno bodové hodnocení pro určení nejvhodnějšího konceptu. Vlastnosti, které byly u obou konceptů shodně hodnoceny jsou ze závěrečného hodnocení vyřazeny.

Kritéria závěrečného vyhodnocení:

Kontinuální průběh zkoušky:

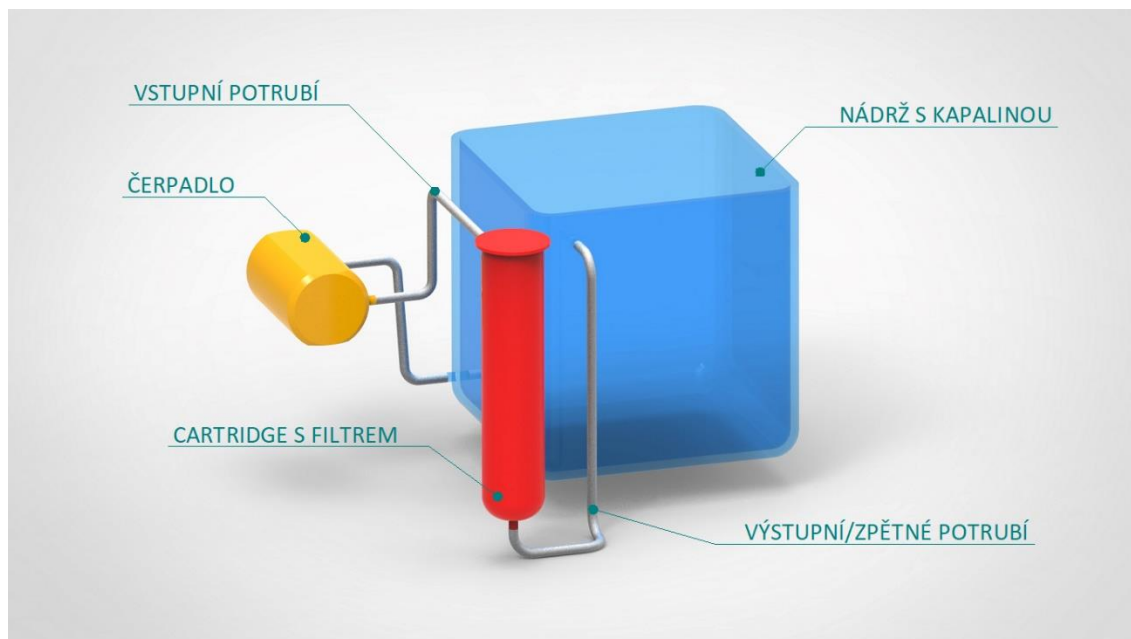
Zástavbové rozměry

Regulace průtoku

Ohřev média

Absence trvalého připojení ke zdroji vody

Závěrečné hodnocení ukázalo, že nejvhodnějším konceptem k dalšímu zpracování je koncept e, tedy využití jedné nádrže, čerpadla a uzavřeného oběhu s cirkulací média viz obrázek 2.



Obrázek 2 koncept e; využití jedné nádrže s čerpadlem

3.4. Konstrukční návrh

Tato kapitola obsahuje konstrukční návrh filtrační tratě, který musí respektovat požadavky pro zkoušku, volbu vhodných materiálů, tak i maximalizaci využití normalizovaných součástí pro jejich snadnou dostupnost. Cílem kapitoly je volba vhodných komponentů, návrh konstrukčního řešení a také umístění komponentů na vhodná místa filtrační tratě pro dosažení maximální kompaktnosti a funkčnosti.

Vybrané komponenty:

Čerpadlo STAC N40/2000 T

Nádrž IBC 1 m³

Škrťací ventil KSB BOA-C 2017

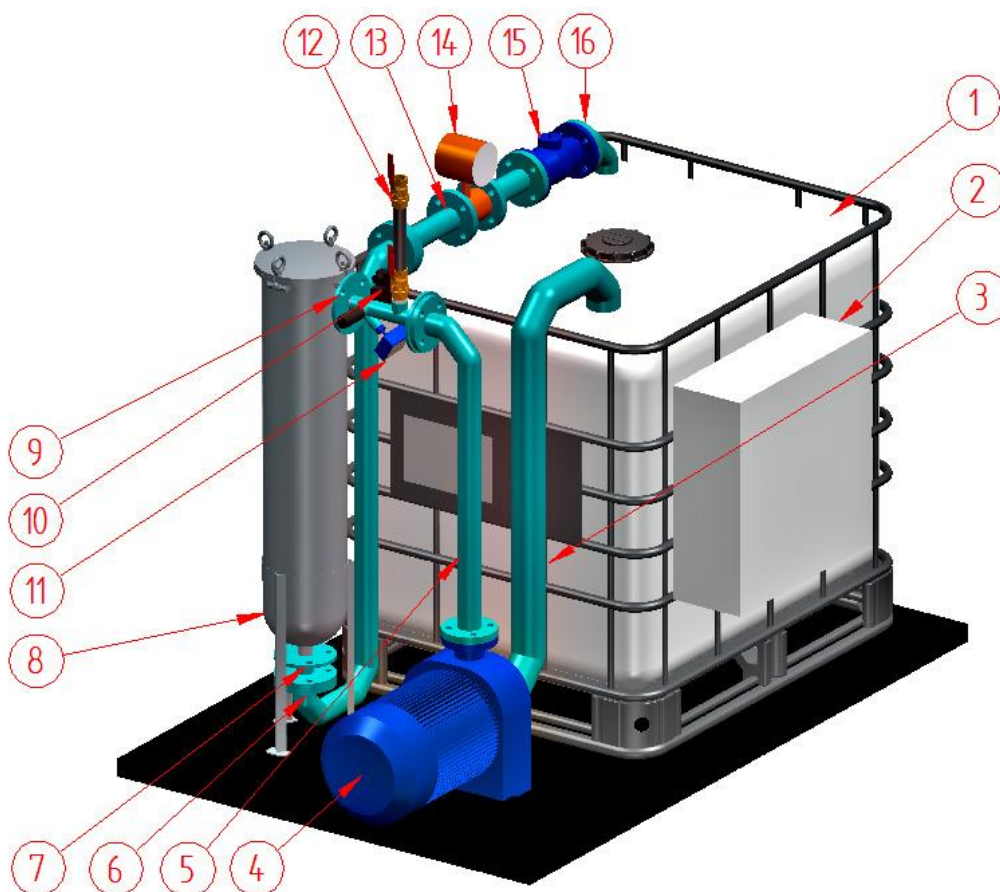
Potrubí materiál PP dle DIN EN ISO 15874

Průtokoměr Limesa FG4000

Snímač teploty Regmet P13U

Tlakové čidlo Thermokon DPL4/V

Výstupem této kapitoly je zpracovaný výkres sestavení s kusovníkem pro následnou montáž filtrační tratě. Schéma sestavy viz obrázek 3 a tabulka 1.



Obrázek 3 sestava filtrační tratě s pozicemi

Tabulka 1 kusovník sestavy

POZICE	NÁZEV	OZNAČENÍ / INFORMACE
1	NÁDRŽ	IBC 1 m3
2	ELEKTROINSTALACE	Box pro kompletní elektroinstalaci
3	POTRUBÍ 01	Sací potrubí čerpadla, rozměr přírub DN 65
4	ČERPADLO	STAC N 40/2000 T
5	POTRUBÍ 02	Výstupní potrubí čerpadla, rozměr přírub DN 40
6	POTRUBÍ 03	Potrubí DN 45
7	POTRUBÍ 04	Výstupní potrubí tělesa filtru, přechod z G1 na DN 40
8	TĚLESO FILTRU	Alfico AFB02 – nerez
9	POTRUBÍ 05	Vstupní potrubí tělesa filtru, přechod z DN 40 na G1
10	DIF. ČIDLO TLAKU	Thermokon DPL4/V
11	ČIDLO TEPLoměRU	Regmet P13U
12	DÁVKOVACÍ ZAŘÍZENÍ	dávkování pomocí kulových ventilů
13	POTRUBÍ 06	Potrubí, rozměr přírub DN 45
14	PRŮTOKOMĚR	Limesa FG4000 DN 40
15	ŠKRTÍCÍ VENTIL	KSB BOA-C
16	POTRUBÍ 07	Potrubí, rozměr přírub DN 50

Shrnutí kapitoly:

Došlo k výběru klíčových komponent typu: rezervoár, čerpadlo, škrtkovací ventil, materiál pro tvorbu potrubí, průtokoměr, snímač teploty, tlakové čidlo, hladinoměr a těleso filtru. Následně byl zhotoven 3D model s ohledem na parametry filtrační tratě a připojovací rozměry komponent. Bylo provedeno skreslení základních rozměrových skic, které budou předlohou během realizace zařízení.

3.5. Realizace návrhu

V předešlé kapitole byl proveden návrh filtrační tratě. Následující kapitola se zaměřuje již na samotnou realizaci návrhu tzn. stavbu filtrační tratě dle rozměrového výkresu.

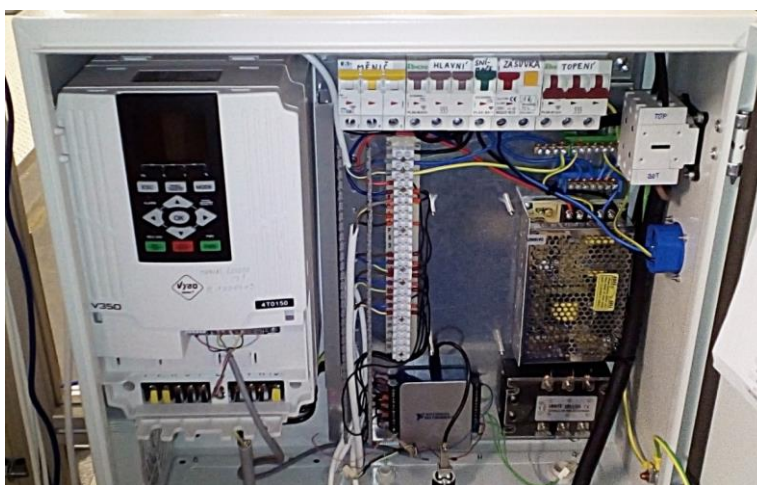
Filtrační trať bude pevně umístěna v laboratoři. Nepředpokládá se, že by se s ní často manipulovalo z důvodu změny umístění. V případě, že by to ale bylo třeba, lze ji přemístit. K jejímu přemístění by bylo třeba vyjmout čerpadlo s pohonem a stěhovat ji po částech. Celá trať ale bude montovaná, takže to v případě potřeby lze provést.

Z tohoto je důvodu je třeba zajistit, aby během následné demontáže a zpětné montáže díly na sebe lícovaly. Toho lze docílit v případě, že budou mít jednotlivé díly pevně dané umístění. Je tedy žádoucí vytvořit podpůrný rám, ke kterému budou prvky pevně ukotveny. Vzhledem k jednoduché montážní aplikaci byly zvoleny normované konstrukční ALU profily.

Celá sestava je umístěna na nerezovém plechu s lemováním, které by v případě menšího úniku kapaliny zajistilo její zachycení.

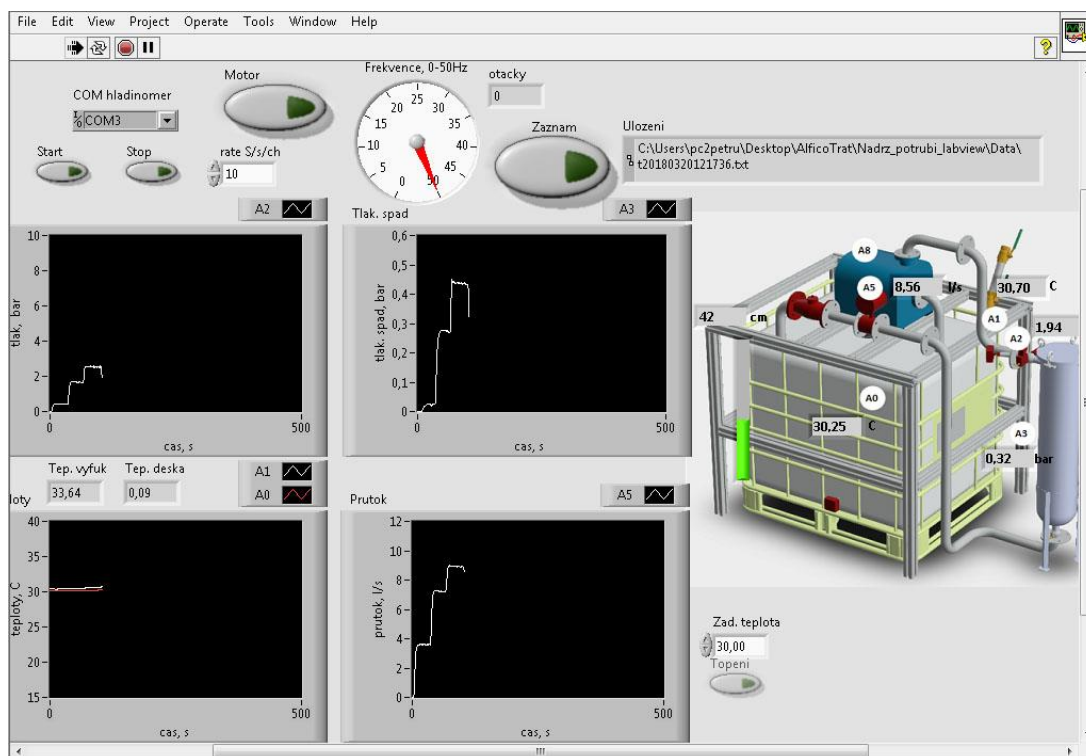
Do nádrže je instalováno tepelné těleso, které může v případě potřeby vodu ohřívat na požadovanou teplotu, či ji na této teplotě udržovat.

Filtrační trať obsahuje řadu elektronického příslušenství. Ať už napájení jednotlivých součástí, tak sběr signálů z čidel. Je tedy nutností nechat provést kompletní elektroinstalaci kvalifikovanými pracovníky TUL, kteří mají potřebné znalosti a platné vyhlášky opravňující zapojení provádět. Řada jističů, frekvenční měnič pro regulaci čerpadla a další komponenty jsou umístěny v předem připravené elektroinstalační skříni umístěné na rámu viz obrázek 4.



Obrázek 4 elektroinstalace

Dalším krokem bylo navržení způsobu, jak celou filtrační trať obsluhovat. Regulace čerpadla, sběr dat a zobrazení aktuálních hodnot (teploty, tlaku, tlakového spádu). Byl zvolen průtokoměr bez displeje, který umožňuje výstup ve formě signálu. Čidla teploty a tlaku mají pouze výstupní signály. Tyto signály je třeba zpracovat jednak pro možnost uložení do souboru, tak pro aktuální zobrazení hodnot. Je třeba zvolit vhodný způsob, jak s daty nakládat a zobrazovat je. Ideální volbou je tvorba aplikace (programu) fungujícímu v prostředí operačního systému Windows. Požadavky na aplikaci: zapnutí/vypnutí čerpadla, regulace čerpadla, zobrazení hodnot teploty a tlaku, hodnota průtoku, sběr dat. Z tohoto důvodu byl vytvořen program pracovníky TUL sloužící k obsluze filtrační tratě viz obrázek 5. Graficky intuitivní program fungující v prostředí LabVIEW usnadňuje obsluhu. Data jsou ukládána do textového formátu (.txt). Lze také stanovit množství dat ukládaných v závislosti na čase. Maximální rychlost zápisu naměřených dat je 2500 zápisů za sekundu. To dovoluje velmi podrobnou následnou analýzu. Datové soubory obsahují velké množství dat, nicméně vzhledem k formátu (.txt) mají malé požadavky na velikost souboru (od desítek kB po jednotky MB). S daty je po jejich uložení ve formě .txt souboru možno nakládat dle uvážení. Lze je převádět do řady statistických programů typu Matlab, R, Excel a podobně. Následné vyhodnocení dat je již shodné se standardním postupem pro práci s daty.





Obrázek 6 fotografie kompletní filtrační tratě

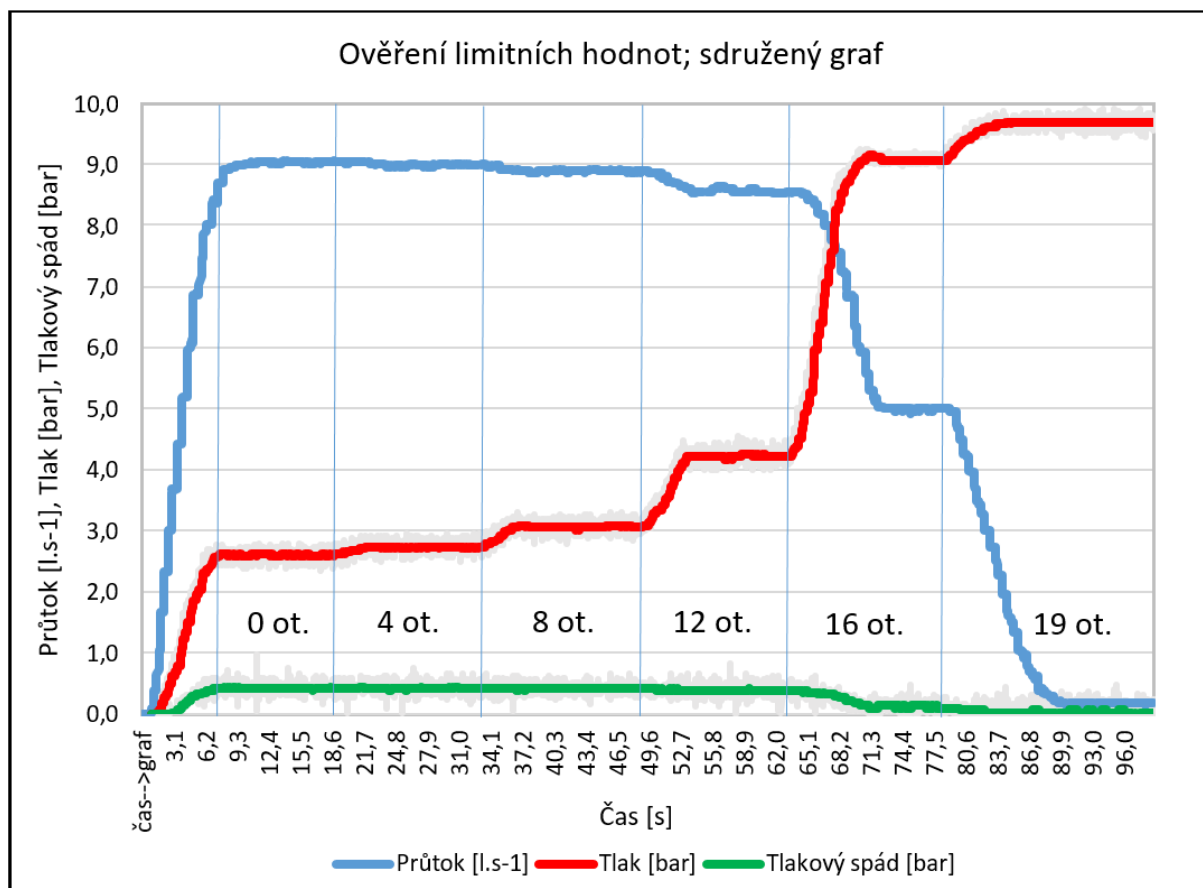
3.6. Ověřování zařízení

Cílem této kapitoly je testování filtrační tratě z hlediska funkčnosti, tedy ověření limitních hodnot a průběh měřených veličin typu: průtok, tlak a tlakový spád.

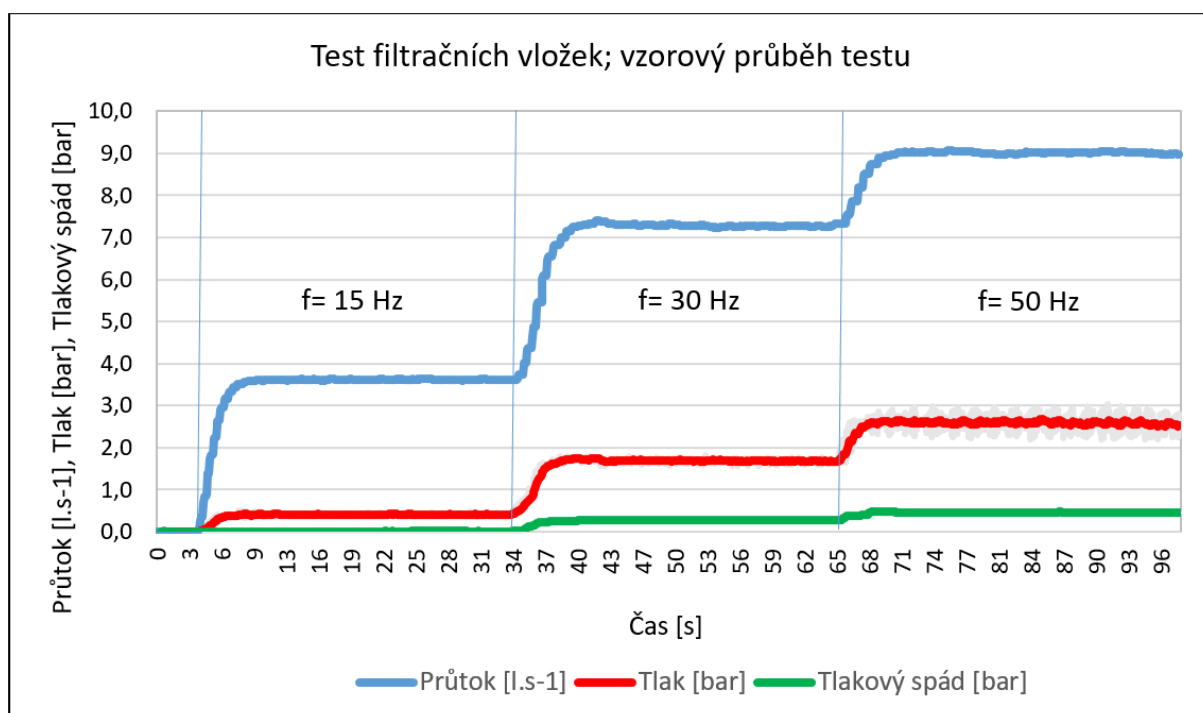
Frekvence čerpadla byla nastavena na 50 Hz = maximální výkon čerpadla. Zápis dat nastaven na 100 zápisů za sekundu. Během zkoušky došlo každých cca 15 sekund k přivření škrtkového ventilu o 4 otáčky. Rozsah škrtkového ventilu je 19 otáček. Plně otevřený ventil značen jako 0 otáček. Plně zaškrtnutý ventil značen jako 19 otáček. Ventil byl skokově přiškrcován pro zjištění jeho přibližné charakteristiky.

Maximální dosažená hodnota průtoku činí **9,1 l.s⁻¹** a maximální hodnota tlaku při plně zaškrtnutém ventilu je **9,92 bar**. Při přepočtu průtoku na hodnotu l.min⁻¹ získáváme hodnotu cca 546 l.min⁻¹. Tyto rozsahy hodnot nám v budoucnu dovolí simulovat reálné podmínky, ve kterých jsou testované filtry aplikovány.

Další částí testu bylo zkušební otestování tratě s použitím filtrační vložky, kde bylo cílem zjištění hodnot typu: průtok, tlak a tlakový spád. Průběh testování filtrační vložky je možno vidět viz obrázek 8. Během testu byl škrtkový ventil plně otevřen a skokově byl měněn výkon čerpadla po cca 30 s až na jeho maximální hodnotu.



Obrázek 7 graf testu pro ověření limitních hodnot filtrační trati



Obrázek 8 průběh testu; testování filtračních vložek

4 Závěr

Cílem práce byl návrh, realizace a ověření funkčnosti filtrační tratě. Při návrhu konstrukce tratě byl brán zřetel na splnění několika podmínek ze strany použitých součástí a samotného procesu testování.

Prvním krokem před samotným návrhem bylo seznámení s problematikou filtrace a prostudování příslušných norem. V další části bylo nutné definovat požadavky na filtrační trať vycházejících z myšleného testování samotných filtrů. Následně byly vypracovány koncepty možných řešení a na základě hodnocení byl vybrán nejvhodnější koncept. Tyto dva kroky určily stěžejní části filtrační tratě jako je výkon čerpadla, velikost rezervoáru, množství a typ jednotlivých čidel. Po stanovení těchto součástí proběhl samotný konstrukční návrh tratě zaměřený zejména na rozmístění jednotlivých součástí, způsobu vedení potrubí či volbě vhodných materiálů.

Po optimalizaci konstrukčního návrhu proběhla samotná realizace. Byly nakoupeny jednotlivé součásti, zhotovilo se potrubí a došlo ke kompletaci sestavy včetně náročné elektroinstalace splňující potřebné normy. V tomto kroku byla také vyvinuta aplikace na základě definovaných požadavků pro obsluhu a zápis dat filtrační tratě.

Posledním krokem byl test tratě, respektive ověřování její funkčnosti. Byly vyzkoušeny mezní hodnoty, kterých lze na trati dosáhnout, a naměřily se charakteristiky samotné filtrační tratě.

Výstupem práce je zkonstruovaná a funkční trať pro testování filtrů textilního charakteru umožňující simulovat podmínky, v kterých bude následně testovaný filtr aplikován.

Trať byla konstruována s ohledem na maximální variabilitu a následnou možnost případných modifikací. Využití filtrační tratě je předpokládáno v dlouhém období. Následný provoz tedy ještě může vygenerovat nové možnosti modifikace filtrační tratě, a tak nadále zvyšovat její funkční hodnotu.

Literatura

- [1] Rukávcové filtry – Alfico s.r.o. - výroba ocelových konstrukcí. *Alfico s.r.o. - výroba ocelových konstrukcí* [online]. Copyright © Copyright 2012, Alfico s.r.o. [cit. 15.10.2017]. Dostupné z: <http://www.alfico.cz/prumyslova-filtrace/filtrace-kapalin/rukavcove-filtry>

KOMFORT AUTOMOBILOVÝCH SEDAČEK

Kaiserová Jana

Sekce - TEXTIL,
Fakulta textilní, 2. ročník
Magisterský studijní program – TEXTILNÍ INŽENÝRSTVÍ

Abstrakt: Tato práce je vypracována na téma hodnocení komfortu automobilových sedaček. Úkolem této práce bylo navrhnout experiment s přístrojem H2 pro měření výparného odporu u celé sendvičové struktury autosedaček a jeho následné porovnání. Měření bylo prováděno na katedře oděvnictví TU v Liberci jak s nově vyvinutým přístrojem, tak i na přístroji standartní metodou. Závěrem je zhodnocení provedených experimentů a naměřených hodnot a návrh dalšího pokračování měření na přístroji H2.

Klíčová slova: automobilová sedačka, komfort, výparný odpor, měřicí hlava, Sweating guarded hot plate

1. Úvod

V dnešní době je automobil nedílnou součástí lidského života, došlo k jeho vývoji nejen ve značkách ale hlavně ve vývoji konstrukce a bezpečnosti automobilů. Sedačka patří k důležitým součástem automobilu. U té došlo k posunu především v materiálech na výplň, potahy a samotném designu. Právě díky vývoji máme spoustu druhů autosedaček lišících se v materiálech a vzhledu.

Komfort autosedaček je zaměřen na výzkum regulace tepla a transport vlhkosti. Pro správnou sedačku je důležité, aby správně dýchala a propouštěla páru, při pocení musí dostatečně dobře vyrovnávat absorpci vlhkosti. Musí splňovat příjemný hřejivý pocit na textilií, při optimálním vedení tepla. Tyto nároky mohou být regulovány vhodným výběrem textilie, vhodnými laminárními komponenty a vhodným designem a tvarem sedadla. [1]

Cílem této práce bylo navrhnout experiment pro přístroj H2 pro měření výparného odporu autosedaček a plošných textilií ze kterých jsou potahy sedaček vyráběny.

V práci jsou popsány přístroje, které byly použity pro měření výparného a tepelného odporu autosedaček a jejich potahů, popis jednotlivých měření, které byly prováděny a jejich výsledky.

Pomocí naměřených dat bylo ověřeno, zda je nově vyvinutý přístroj H2 vhodný pro měření výparného odporu na celé struktuře automobilových sedaček a pro plošné textilie potahů. V závěru je uveden a popsán souhrn dosažených výsledků, návrh na další pokračování vývoje a výzkumu přístroje H2.

2. Použité přístroje

2.1 SGHP

Jedná se o přístroj pro zkoušení pocení vyhřívanou destičkou M 259 B společnosti SDL Atlas, který je v souladu s normou ISO 11 092. Ta specifikuje metody měření tepelné odolnosti a odolnost vůči vodním parám za ustáleného stavu. Metoda pocení vyhřívanou destičkou, která bývá často označována jako „model kůže“

je určena pro simulaci procesů přenosu tepla a hmoty ke kterým dochází v blízkosti povrchu lidské kůže.

2.1.1 Princip měření

Vzorek je umístěn na elektricky vyhřívanou desku, přestože klimatizovaný vzduch proudí napříč a rovnoběžně s jeho povrchem. U měření výparného odporu je elektricky vyhřívaná deska, která je porézní zakryta membránou, která propouští vodní páry, ale nepropouští vodu. Voda, která je přiváděna k vyhřívané desce se vypařuje a formou páry prochází membránou. Tím vzorek nepřijde do styku s vodou. Tepelný tok je nutný k tomu, aby se udržela konstantní teplota desky, a to mírou rychlosti vypařování vody. Z toho se stanoví výparný odpor.

Teplota měřicí jednotky a teplota vzduchu musí být seřízena na $35\text{ °C} \pm 0,1\text{ °C}$ a relativní vlhkost R.H. $40\% \pm 2\%$. Rychlost vzduchu je udržována na 1 m/s . Tyto izotermické podmínky zabrání v tom, aby došlo ke kondenzaci vodních par uvnitř zkušební vzorku.

Po tom, co se umístí zkušební vzorek na měřicí jednotku se vyčká, dokud nedojde k ustálení stavu měřících veličin. Poté dojde k zaznamenání jejich hodnot. [2]

Výparný odpor se vypočítá jako aritmetický průměr jednotlivých měření:

$$\text{Ret} = ((P_m - P_a) - A / H - \Delta H_e) - \text{Ret}_0$$

P_m parciální tlak nasycených vodních par [Pa]

P_a parciální tlak vodních par ve vzduchu [Pa]

A plocha měřicí jednotky [m^2]

H výhřevnost dodávána měřicí jednotce [W]

ΔH_e opravný faktor výhřevnosti pro měření Ret [-]

Ret_0 konstanta přístroje [$\text{m}^2\text{Pa/W}$]

Výparný odpor Ret je vyjádřen v Pascalech na metr čtvereční na Watt [$\text{m}^2\text{Pa/W}$] [2]

2.2 Hlav 2 -H2

Přístroj vyvinutý na katedře oděvnictví TU v Liberci. Měl by umožňovat orientační měření výparného odporu plošných textilií, potahů automobilových sedaček, popřípadě celé struktury sedáku automobilové sedačky.



Obrázek 1: Měřicí hlava H2

2.2.1 Princip měření

Pro stanovení výparného odporu je nutno znát:

- tepelný tok při ustáleném stavu
- teplotu nad vzorkem
- vlhkost na vzorkem
- teplotu pod vzorkem
- vlhkost pod vzorkem
- teplotu a vlhkost okolního prostředí

Nejprve je nutné zajistit, aby bylo v přístroji dostatek vody. Do přístroje je dodávána destilovaná voda pomocí stříkačky o objemu 20 ml, kterou je připojena na jednu z hadiček vedoucí do měřicí hlavy. Druhou hadičkou vychází přebytek tekutiny. Po každém doplnění kapaliny je dobré zkontrolovat, jestli je membrána přilnuta a neprotéká jí voda.

Čidlo pro snímání teploty a vlhkosti pod vzorkem se umístí podle druhu měření buď do polyuretanové pěny, mříž klimatizované komory, anebo do soustavy mřížek. Na tu se umístí zkušební vzorek a na něj položíme čidlo, které je důležité pro měření teploty nad vzorkem. Měřicí hlavu umístíme na čidlo tak aby bylo zhruba veprostřed.

V počítači je nutné spustit program Teplo, který zajišťuje zahřátí kapaliny v přístroji na příslušnou teplotu, aby teplota pod membránou byla 35 °C. Dále je také nutné spustit program AMR WinControl 6, který je určen pro zobrazení a sbírání dat.

Všechny parametry pro stanovení výparného odporu se indikují na přístroji ALMEMO 2990 - 9. Pro přenos a záznam na počítač byl použit bezdrátový přenos pomocí Blue Tooth.

Výparný odpor

$$H_{et} = ((P_m - P_a) / q_m) - H_{et0}$$

P_m parciální tlak páry nad vzorkem [Pa]

P_a parciální tlak páry pod vzorkem [Pa]

q_m tepelný tok [W/m^2]

H_{et0} konstanta přístroje [m^2Pa/W]

Výparný odpor H_{et} je vyjádřen v Pascalech na metr čtvereční na Watt [m^2Pa/W] [3]

H_{et0} –Pro nejvyšší přiblížení měření podle normy ISO 11 092, byla hodnota H_{et0} zjišťována následujícím způsobem. Nulové měření probíhalo v klimatizované komoře Fisher, kdy místo vzorku byla použita deska z polystyrenu. Měření pak probíhalo standardně s měřicí hlavou naplněnou vodou. Jakmile došlo ke největšímu možnému snížení tepelného toku a jejímu ustálení, měření bylo ukončeno a hodnota byla zaznamenána. Tímto experimentem bylo zjištěno, že hodnota H_{et0} je hodnota tepelného toku 3,72 W/m^2 .

3. Použité materiály

Použité materiály: pro experiment byly vybrány zejména vzorky s lepší paropropustností. Všechny vzorky byly poskytnuty společností Adient Strakonice s.r.o.

4. Provedená měření

4.1 Měření vzorků na přístroji H2 (ve volném prostoru – klimatizovaná místnost)

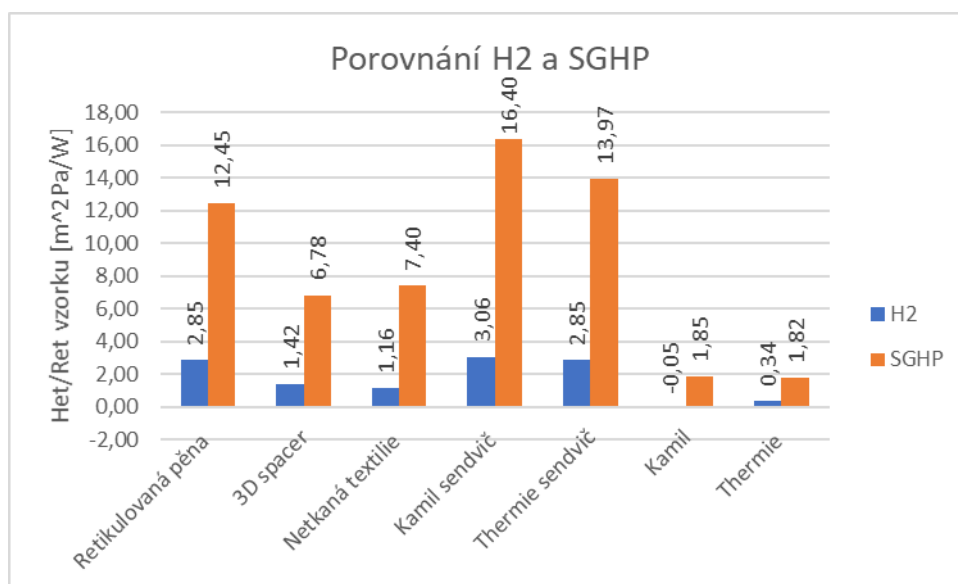
4.1.1 H2 s pěnovou kostkou

Do pěnové kostky z polyuretanové pěny bylo umístěno čidlo pro snímání teploty a vlhkosti pod vzorkem, na kterou byl umístěn vzorek a čidlo, které snímá teplotu pod membránou/nad vzorkem. Na vzorek s čidlem byla umístěna měřicí hlava.

Toto měření bylo prováděno jak na sendvičích, tak na jednotlivých vrstvách, ze kterých se sendvič skládá.

U tohoto měření bylo zjištěno, že u všech vzorků vycházejí velice podobné hodnoty tepelného toku a tím pádem i podobné výsledky výparného odporu. Také délka ustálení byla velice dlouhá a to až 1,5 hodiny.

Dále bylo zjištěno, že měření s polyuretanovou pěnou není zcela průkazné, protože vlhkost, která prochází vzorkem až do pěny v ní zůstane zadržována a tím pádem se vlhkost pod vzorkem pohybuje od 98–100 %.



Graf 1 : Porovnání výsledků měření H2 s pěnovou kostkou a s výsledky SGHP

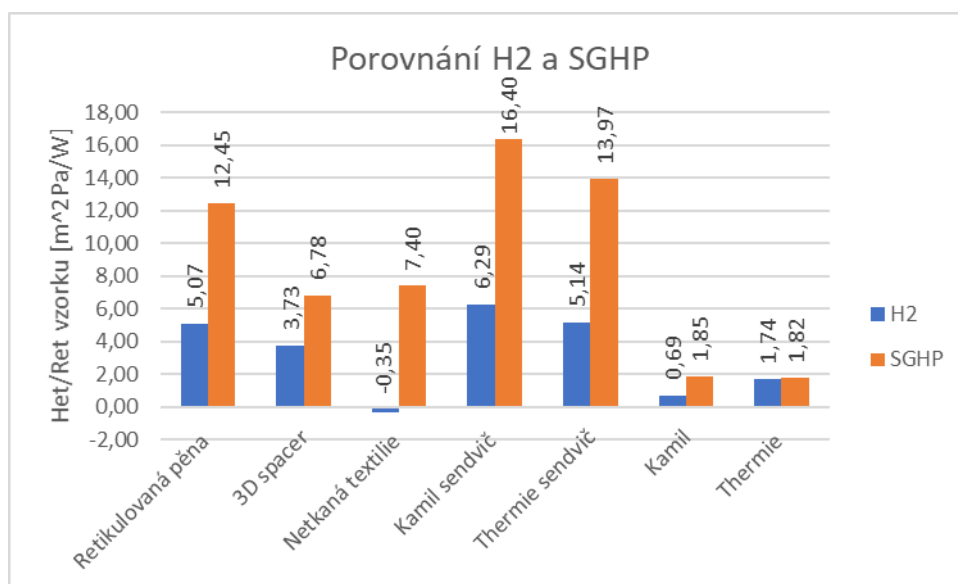
4.1.2. H2 bez pěnové kostky

Další experiment byl zvolen bez polyuretanové kostky z důvodu zjištění držící se vlhkosti v pěnové kostce a také proto, aby bylo měření co nejvíce podobné metodě SGHP, kde probíhá také měření pouze plošných textilií.

K tomuto měření byly použity sendvičové struktury materiálů, jednotlivé vrstvy potahu autosedačky. K měření byla použita kovová mřížka podložena dvěma dřevěnými bloky, aby pod vzorkem mohl proudit vzduch. Na mřížku bylo upevněno čidlo pro měření vlhkosti a tepla pod vzorkem, potom jako u předchozího měření, je umístěn vzorek, na kterém je položeno čidlo pro měření tepla pod membránou a na něj byla umístěna měřicí hlava.

U tohoto typu měření bylo zjištěn velmi vysoký tepelný tok a opět vysoká vlhkost pod vzorkem pohybující se tentokrát v rozmezí 91–98 %. Významnou změnou byla doba ustálení vzorku, která se zvýšila až na 3-4 hodiny. Tyto problémy jsou pravděpodobně z důvodu volně proudícího nekontrolovaného vzduchu v místnosti. Z důvodu časové náročnosti měření a jeho ustálení bylo provedeno pouze jedno měření u každého vzorku.

Proto byla zvolena další varianta měření v klimatizované komoře, kde lze nastavit podmínky pro měření a přiblížit se tak k lepším výsledkům a lepšímu porovnání s měřením pomocí SGHP, podle něhož byla nastavena teplota a vlhkost v komoře na 35 °C a 40 % vlhkosti.



Graf 2 : Porovnání výsledků měření H2 bez pěnové kostky a s výsledky SGHP

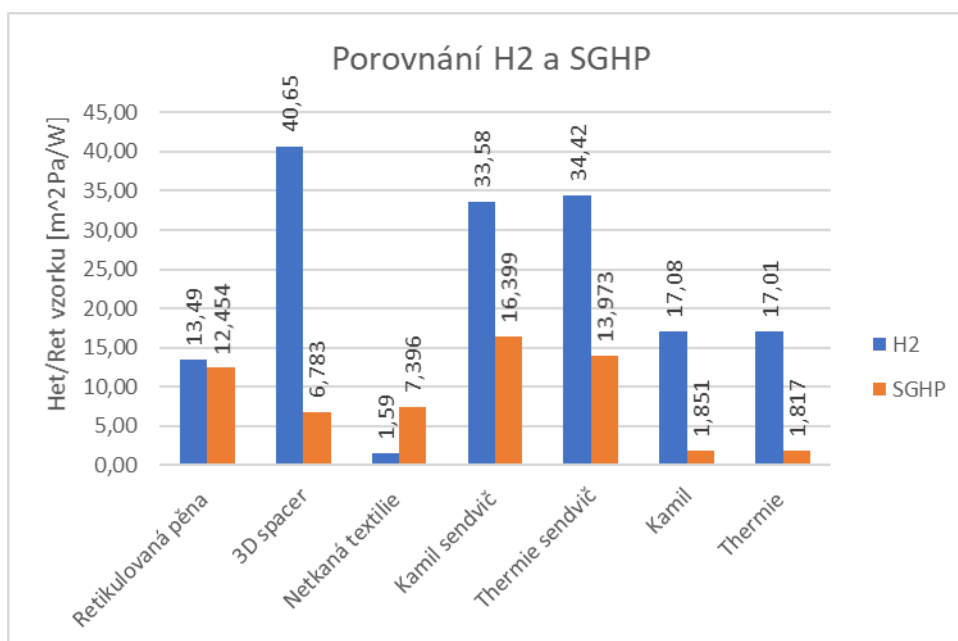
4.2 Měření na přístroji H2 v klimatizované komoře Fisher

4.2.1 H2 s pěnovou kostkou

I přesto, že bylo prvním měřením zjištěno zadržování vlhkosti v polyuretanové pěně, bylo provedeno měření v klimatizované komoře i s pěnovou kostkou. Důvodem byla změna podmínek měření, a tudíž ověření, zdali to ovlivní i výsledky tohoto typu měření. Proto bylo provedeno pouze jedno měření.

Měření probíhalo stále se stejnými vzorky Kamil a Thermie a jejich jednotlivými vrstvami.

Doba měření a ustálení byla 1 až 1,5 hodiny. V experimentu došlo k výraznému snížení tepelného toku i vlhkosti pod vzorkem.



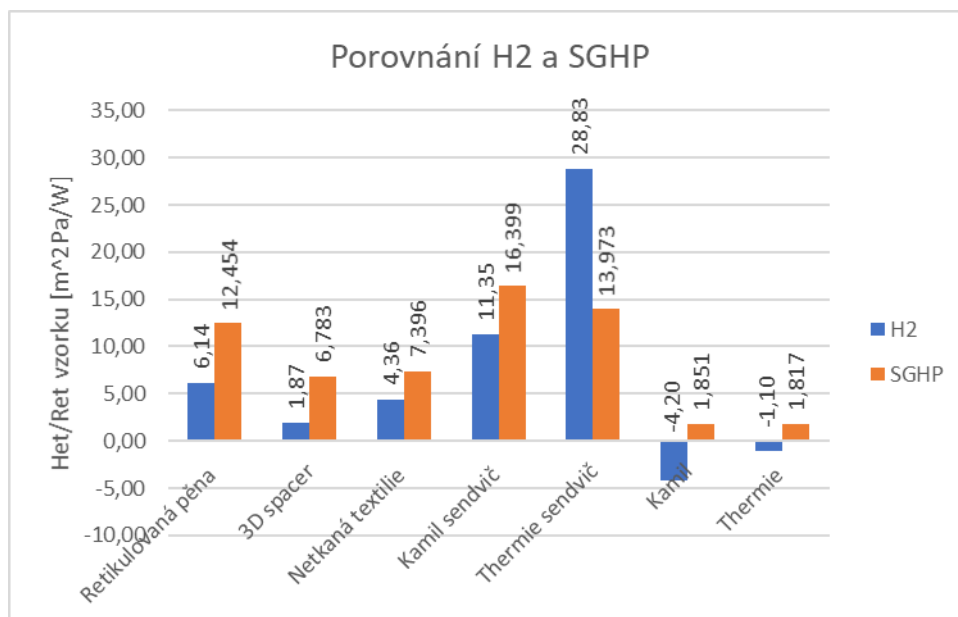
Graf 3 : Porovnání H2 s pěnovou kostkou v klima komoře s SGHP

4.2.2 H2 bez pěnové kostky

Další měření už probíhalo bez pěnové kostky. Čidlo na měření vlhkosti a tepla pod vzorkem bylo umístěno na mříži v klimatizované komoře. Na něj byl položen vzorek, na který byl umístěno čidlo pro měření tepla nad vzorkem a měřící hlava.

U tohoto typu měření byl tepelný tok jiné hodnoty u prvního a druhého měření s větším rozdílem mezi sebou. Vlhkost pod vzorkem se také pohybovala ve velkém rozptylu naměřených hodnot. Tudíž i výsledné Het vycházelo u některých vzorků i v minusových hodnotách, a proto ani s tímto typ experimentu nebyl vyhovující.

Během experimentů bylo zjištěno, že čidlo pro měření teploty pod membránou, které bylo obaleno papírovou páskou pravděpodobně nepřesně měřilo. Po úpravě bylo čidlo dále používáno bez papírové pásky v podobě holého drátku. V dalším experimentu bylo čidlo pro měření teploty a vlhkosti pod vzorkem umístěno mezi kovové pláty – mřížky, které budou spojeny nitěmi, aby držely u sebe společně s čidlem. Je to z důvodu toho, aby vzorek neležel přímo na samotném čidlu.



Graf 4: Porovnání měření H2 bez pěnové kostky v klima komoře s SGHP

4.3 Měření na přístroji H2 v klimatizované komoře Fisher s kovovou mřížkou

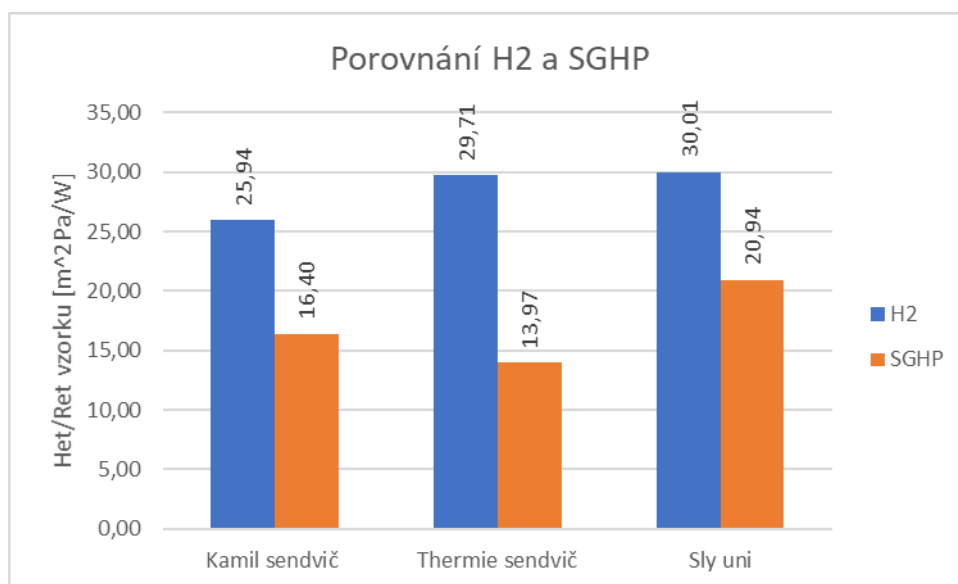
4.3.1 H2 s mřížkou

Tento typ měření je považován za nejlépe průkazný a daleko přesnější než předchozí experimenty. Proto jsme je měření soustředěno na provádění experimentu se sendviči a je vynecháno měření jednotlivých vrstev.

Mezi hodnotami tepelných toků už nebyly tak velké rozdíly a také hodnoty vlhkosti pod vzorkem nebyly s velkými rozdíly. Doba ustálení měření je v rozmezí 30–90 minut, a tudíž došlo ke zkrácení času, kdy dochází k ustálení.

Hodnoty výsledného Het v orientačním porovnání s Ret z měření na SGHP, uvedené v tabulce 9 a 10, nemá stejné ani velice přibližné hodnoty, a to z důvodu rozdílného měření, a to i přesto, že byly provedeny takové změny a pokroky v experimentu, aby byly výsledky a také podmínky měření co nejpodobnější. Je nutné pamatovat na to, že jsou zde stále rozdíly v měřících jednotkách a nejsou zajištěny podmínky proudění vzduchu a jeho směru u přístroje H2.

Proto byl tento typ měření považován za nejlépe průkazný a daleko přesnější než předchozí provedené experimenty. Z tohoto důvodu bylo provedeno měření na dalších šesti vzorcích abychom si mohli tuto metodu co nejvíce ověřit.



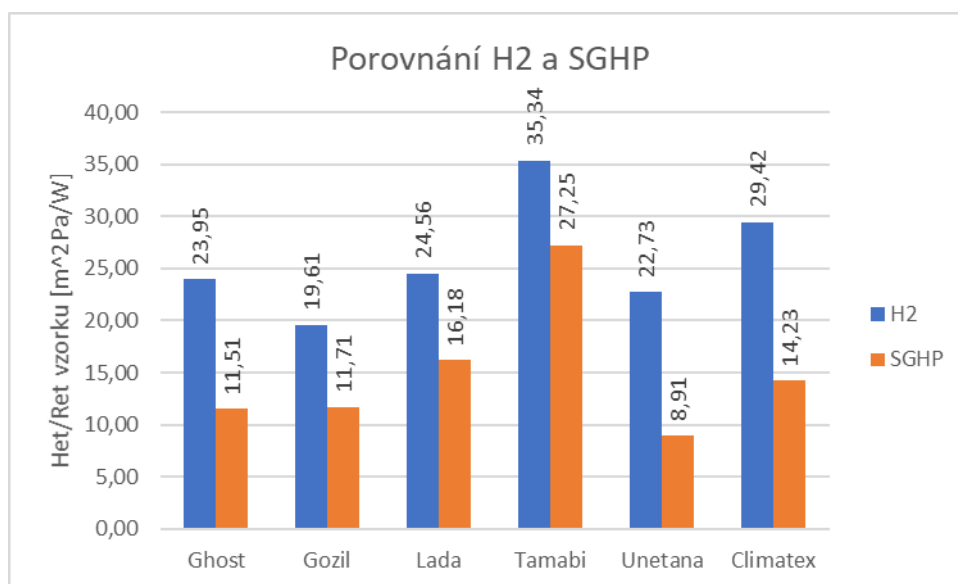
Graf 5: Porovnání výsledků H2 s mřížkou s výsledky SGHP

Název	H2 s mřížkou		SGHP		Tloušťka materiálu		Korelace	
	Het vzorku m ² Pa/W	Het vzorků celkový m ² Pa/W	Ret vzorku m ² Pa/W	Ret vzorku celkový m ² Pa/W	mm	mm	H2/tloušťka mat.	SGHP/tloušťka mat.
Kamil sendvič	25,20	25,94	17,07	16,40	8,75	8,37	-0,52163	0,96773
	25,78		15,91		8,72			
	26,83		16,01		8,73			
Thermie sendvič	18,34	29,71	14,17	13,97	7,35	7,31	-0,81693	0,83795
	37,12		14,15		7,31			
	33,67		13,60		7,28			
Sly uni	31,73	28,81	20,93	20,94	6,05	6,09	0,67366	-0,79305
	22,38		21,54		6,06			
	35,91		20,40		6,15			

Tabulka 1 : Souhrn výparných odporů, tloušťky materiálu korelace mezi nimi

Z tabulky 1 je patrné, že výparný odpor naměřený na přístroji H2 nekoreluje s tloušťkou materiálů použitých k měření. Důvodem je to, že přístroj je ve vývoji a jeho měření není podloženo normou na rozdíl od přístroje SGHP, u kterého jde vidět závislost výparného odporu na tloušťce materiálu, kromě materiálu Sly uni kde je vidět nepřímá závislost. Korelace nejsou zcela průkazné kvůli malému počtu měření.

Porovnání výsledných výparných odporů měření jak na H2, tak na SGHP, které byly provedeny na dalších vzorcích, potvrdilo to, co měření na předchozích vzorcích, že tímto způsobem měření došlo k přiblížení výsledků, ale hodnoty nejsou stejné ani blízce podobné.



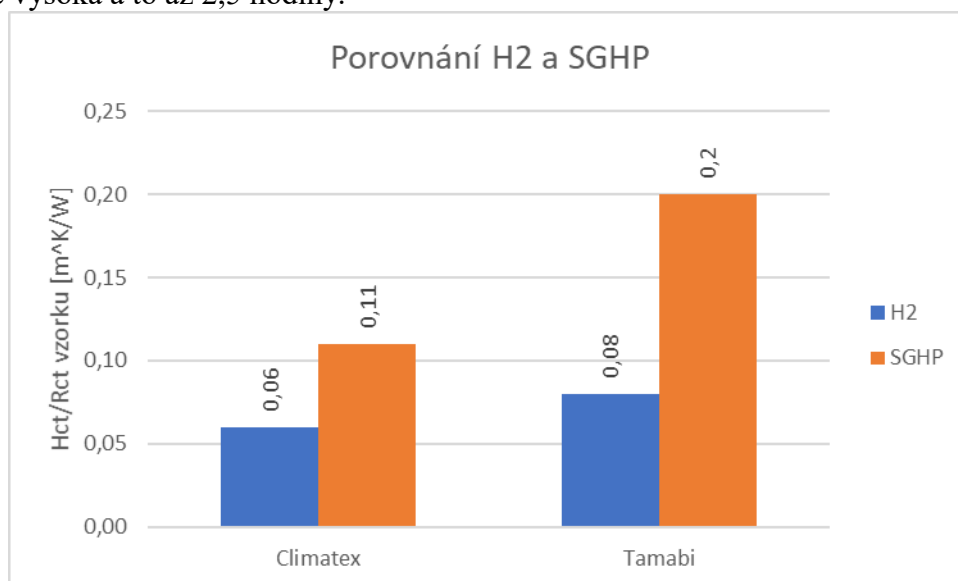
Graf 6: Porovnání výsledků naměřených na H2 s mřížkou a s SGHP

4.4 Měření Rct na přístroji H2

Abychom si ověřili veškeré možnosti měření přístroje H2, byl proveden experiment měření tepelného odporu Rct/Hct. Měření bylo prováděno v klimatizované komoře Fisher s měřicí hlavici bez naplnění vodou.

Proto bylo důležité provést další měření tentokrát s podmínkami stejnými jako při měření Rct v přístroji SGHP a podle normy 11 092 pro měření tepelného a výparného odporu plošných textilií. Tedy teplota byla nastavena na 20 °C a vlhkost na 60 %.

Nejprve bylo nutné několika pokusy zjistit na kolik stupňů lze zapnout vytápění, aby teplota pod membránou dosahovala 35 °C. Postupným zvyšováním bylo zjištěno že je potřeba aby teplota vytápění byla nastavena na 40 °C. Díky nastavenému vytápění došlo ke zvýšení tepelného toku, a tudíž mohlo dojít k lepšímu vyhodnocení a orientačnímu porovnání výsledku s měřením na SGHP, které bylo u vzorku taktéž provedeno. Doba ustálení u tohoto měření je vysoká a to až 2,5 hodiny.



Graf 7: Porovnání výsledků naměřených na H2 s výsledky SGHP

Tímto typem měření ale bylo zjištěno že výsledné Rct na přístroji H2 se velmi orientačně přiblížilo výsledku z měření na SGHP.

Z časového důvodu bylo provedeno jen málo pokusů tímto způsobem měření, a proto by bylo vhodné v tomto měření nadále pokračovat s dalšími vzorky a ověřit tak lépe tuto metodu měření.

5. Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout experiment pro přístroj H2 pro měření výparného odporu automobilových sedaček a plošných textilií ze kterých jsou potahy sedaček vyráběny.

V práci jsou popsány a vyhodnoceny měření, které byly provedeny na katedře oděvnictví Technické univerzity v Liberci. Jednalo se o měření výparného odporu, pro který byl použit nově vyvinutý přístroj H2 (hlava 2), který by měl sloužit pro orientační měření výparného odporu. Het a to zejména automobilových sedaček, kvůli snadné manipulovatelnosti s přístrojem a pro použití na plošné textilie ze kterých jsou vyráběny potahy sedaček. Druhým přístrojem, který byl zvolen pro porovnání výsledků výparného odporu je SGHP. Jedná se o měřicí jednotku, která patří mezi standardní přístroje pro měření fyziologických parametrů plošných textilií – výparného a tepelného odporu.

Postup a parametry k měření na přístroji SGHP je dán normou ISO 11 092.

Bylo provedeno několik druhů měření na přístroji H2, a to jak na struktuře automobilových sedaček, tak na samotných potazích sedaček a jejich jednotlivých vrstvách, ze kterých jsou složeny.

První měření probíhaly v klimatizované místnosti s použitím polyuretanové pěny, na kterou byl umístěn vzorek jak celých sendvičových struktur potahů, tak jednotlivých složek, ze kterých je složen. Toto měření se prokázalo jako nevhodné, protože dochází k zadržování vlhkosti v pěně, tudíž k vysoké vlhkosti pod vzorkem a tím tak k velice podobným hodnotám tepelného toku. Nevyhovující také byla dlouhá doba ustálení. Další měření bylo prováděno bez pěnové kostky pouze s plošnými textiliemi. A to z důvodu přiblížení metodě SGHP. Toto měření bylo zcela nevyhovující kvůli dlouhé době ustálení, která trvala 3-4 hodiny, vysokým hodnotám vlhkosti pod vzorkem a vysokým hodnotám tepelného toku. Tyto dva typy experimentu se ukázaly jako nevyhovující, a to hlavně proto, že v klimatizované místnosti nejde nastavit teplota a vlhkost, která se používá u měření s SGHP. Také nelze ovlivnit rychlost proudění vzduchu v klimatizované místnosti.

Proto byla navržena další možnost měření v klimatizované komoře Fisher, kde je možné nastavit okolní teplotu na 35 °C a vlhkost okolního prostředí na 40 %. Při měření H2 s pěnovou kostkou byla doba ustálení 1- 1,5 hodiny, hodnoty tepelného toku se výrazně zmenšily a také hodnoty vlhkosti pod vzorkem byly sníženy. I přesto však stále docházelo k zadržování vlhkosti v pěně a z tohoto důvodu bylo zavrženo další měření na struktuře automobilových sedaček.

Pro další měření byly vybrány pouze materiály sendvičových struktur potahů, které byly umístěny na kovovou mřížku, do které bylo umístěno čidlo pro měření teploty a vlhkosti pod vzorkem. Tento tenký soubor mřížek je používán proto, aby vzorek neležel přímo na čidle, ale byl tam menší prostor pro proudění vzduchu. Také čidlo pro měření teploty nad vzorkem bylo upraveno, jednalo se o tenký drátek, jehož konec, který byl umisťován pod měřicí hlavu, byl obalen tenkou papírovou páskou. Takto obalené čidlo pravděpodobně zkreslovalo hodnoty teploty nad vzorkem, a proto pro další měření byla páska sundána a používán pouze holý drátek.

Tento druh měření prokázal nejlepší přiblížení výparného odporu měřeného na H2 k hodnotám naměřených na SGHP. Nelze však dosáhnout totožných hodnot výparných odporů těchto dvou zařízení, protože mají rozdílnou metodiku měření, rozdílnou konstrukci a také

jiné časy ustálení. Dalším důvodem je, že měřicí hlava H2 je stále ve vývoji a není podložena normou. U měření s H2 také není zjištěno, zda nedochází k úniku tepla z přístroje do okolního prostředí a také rychlost proudění vzduchu jako je tomu u přístroje SGHP u kterého vodní páry pronikají vzorkem směrem nahoru, kde jsou odfukovány definovaným proudem vzduchu. Toto u H2 není řešeno.

Pro zajímavost a ověření všech schopností měření H2 bylo provedeno měření tepelného odporu. Měření bylo provedeno v malém počtu z důvodu časové náročnosti, ale i přesto výsledky ukazují lepšího přiblížení hodnot v orientačním porovnání s SGHP.

Výsledkem experimentu tedy je, že byla navržena a ověřena několik metodik měření na přístroji H2 a byla vybrána optimální metodika pro orientační měření plošných textilií pro potahy automobilových sedaček a jejich sendvičových struktur. Proto bylo doporučeno pokračovat v orientačním měření tepelného a výparného odporu s dalšími materiály a s větším počtem měření, aby byly výsledky prokazatelnější. Pozornost by měla být věnována vývoji konstrukce přístroje pro měření výparného odporu, kde by bylo možné měřit teplotu na kovové mřížce, na kterou je membrána připevněna, a také aby byly zajištěny lepší podmínky měření, kdy půjde nastavit přesně teplotu a vlhkost okolního prostředí, směr a rychlost proudění vzduchu a kde nebude docházet k unikání tepla měřicí hlavy do okolního prostředí.

Literatura

- [1] FUNG, W. *Textiles in automotive engineering*. Cambridge: Woodhead, 2000. ISBN 18-557-3493-1.
- [2] ISO 11 092. *Měření tepelného odporu a výparného odporu za stálých podmínek (zkouška pomocí vyhřívané desky simulující efekt pocení)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [3] HUANG, J. Sweating guarded hot plate test method. *Elsevier: Polymer Testing* [online]. 2006, č. 25, s. 709-716

VÝVOJ NOVÉ METODY MĚŘENÍ JEMNOSTI VLÁKEN VYROBENÝCH NA BÁZI KYSELINY HYALURONOVÉ

Kušnierik Pavel

Sekce - TEXTIL,

Fakulta textilní, 2. ročník

Navazující studijní program – PRŮMYSLOVÉ INŽENÝRSTVÍ

Abstrakt: Jemnost vlákna je jedním ze základních parametrů pro posuzování jakosti vláken na bázi kyseliny hyaluronové připravovaných metodou mokrého zvlákňování z roztoku. V současnosti zavedená metoda stanovení jemnosti je sice dostatečně přesná a validovatelná, ale destruktivní a časově náročná. Pomocí skenování vlákna laserem ze čtyř směrů je možné získat informace o průřezu vlákna. Základní získaný parametr je tloušťka vlákna. Získané hodnoty tloušťky vláken silně korelují s hodnotami jemnosti získanými gravimetricky, avšak vypočtené odhady jemnosti z parametru získaného pomocí laseru jsou oproti nim významně nadhodnocené. Získaný parametr tloušťky je nicméně vhodné použít pro hodnocení jakosti vlákna.

Klíčová slova: vlákna, jemnost, hyaluronát sodný, skenování laserem

Úvod

Cílem této práce je navrhnout a ověřit nedestruktivní metodu, která by mohla nahradit destruktivní gravimetrické měření jemnosti vláken na bázi kyseliny hyaluronové a jejích derivátů. Pro tuto práci jsme zvolili vlákna připravené z palmitovaného derivátu kyseliny hyaluronové. Takto připravený materiál má oproti nativní kyselině hyaluronové významně hydrofobnější vlastnosti a díky tomu plošné nebo objemové struktury z těchto vláken připravené mají delší dobu degradace a mohou rozšířit i tak široké možnosti aplikace těchto biodegradabilních materiálů.

V této práci jsou popsány používané metody pro měření jemnosti vláken gravimetricky, odlišnosti od standardně popsanych metod a také metody pro měření „tloušťky vlákna“ pomocí laseru. V experimentální části následuje vyhodnocení dat měření jemnosti gravimetricky a tloušťky vlákna laserem a srovnání jejich závislosti/nezávislosti a také srovnání parametrů používaných pro validace analytických metod.

1 Vlákná na bázi kyseliny hyaluronové

Hyaluronát sodný označovaný také kyselina hyaluronová nebo zjednodušeně hyaluronan, je přírodní polymer (biopolymer), přesněji mukopolysacharid. Monomer je tvořen disacharidovou skupinou složenou z D–glukoronové kyseliny a N–acetylglukosaminu. Tyto jsou navázané do lineárních řetězců s počtem opakování až do desítek tisíc. Molekulová hmotnost jedné disacharidové jednotky je kolem 400 mg/mol a celková molekulová hmotnost polymeru hyaluronátu sodného se tak dostává až do jednotek milionů daltonů (MDa).[1]

Stejně jako jiné přírodní polymery, je i hyaluronát sodný možné modifikovat různými chemickými činidly. Některé slouží pro přidání nových biologických vlastností, například pomocí navázaných sekvencí aminokyselin. Jiné slouží, například pro úpravu fyzikálně-chemických vlastností přidáním hydrofobních složek, nebo přidáním složitější třídimensionální konformace k přirozeně se vyskytujícímu lineárnímu řetězci. Jako nejběžnější strategie při modifikaci se používají [2]:

- kroslinkování polymeru [fyzikální (například působením UV nebo viditelného záření) a chemické]
- prostorová ochrana místa pro enzymatické štěpení polymeru (například acylace

kyseliny hyaluronové mastnými kyselinami)

1.1 Zvlákňování z roztoku

Pro přípravu vláken z polymerů je dle požadovaných vlastností možné využít hned několik metod přípravy vláken. Při zvlákňování z roztoku za mokra vznikají monofily (nebo multifily). Ty se dají dál zpracovávat například splétáním, nebo jinými textilně technologickými postupy. Již v 60-tých letech experimentoval s mokrým zvlákňováním kyseliny hyaluronové s cílem vytvářet orientovanou strukturu tohoto polymeru Allan Rupprecht [3]. Významně později byly patentované postupy pro získávání vláken hyaluronátu sodného z roztoku [4] [5] a také z roztoku jeho derivátů [6].

Pro zvlákňování hyaluronátu sodného a jeho derivátů je využíván vodní případně vodně alkoholový roztok polymeru. Srážení probíhá ve srážecí lázni kombinující organické kyseliny a alkohol. Získaná vlákna jsou dál vypírána v alkoholovém roztoku (například etanolu nebo 2-propanolu) a následně sušena.

Pro tuto práci jsou, z hlediska procesu zvlákňování, důležité změny v průběhu vlákenní. S nimi souvisejí tvarové změny a, pro nás zejména důležité, změny jemnosti vlákna z důvodu např.: změn v teplotě, koncentraci a proudění lázně, změny z důvodu frikce na cívce, a rychlosti návinu s nárůstem množství navinutého vlákna na cívce a další náhodné změny způsobené například orientací jednotlivých vláken na molekulární úrovni. Zkoumání těchto změn je nad rámec této práce, nicméně jejich přítomnost v procesu zvlákňování významně ovlivňují námi měřené strukturní vlastnosti.

2 Měření jemnosti

Jemnost neboli délková hustota vláken je základní charakteristikou vláken. Jako základní jednotka byla v SI soustavě uznaná 1 tex, což je 1 g/km. V praxi se většinou využívá dtex (0,1 g/km resp. mg/m), která blíže odpovídá dříve používaným jednotkám. Ze starších systémů je zajímavé uvést, že existují alternativní systémy přímé a nepřímé, které se specificky využívaly, nebo případně využívají v různých zeměpisných oblastech, nebo pro specifické typy vláken.

Jemnost vláken je v praxi vodítkem pro odhad konkrétních mechanických vlastností daného vlákna. Podle Mortona a Hearle můžeme vidět vliv jemnosti například při posuzování různých vlastností jako například: absorpce vlhkosti a kapalin, torzní pevnost vláken, nebo stejnoměrnost příze. [7]

Pro účely této práce je také důležitý příčný rozměr vlákna (odhad průměru a ekvivalentního průměru) a hustota vlákna.

Nejširší rozměr vlákna na průřezu je jeden z doplňkových geometrických parametrů vlákna, které mají za úkol nahrazovat měření jemnosti vláken, když to je výhodnější zejména z ekonomických a časových důvodů. To, co bylo u některých autorů označováno jako průměr vlákna, bylo ve skutečnosti právě nejširším rozměrem na průřezu vlákna. [7] V dalším textu bude tento rozměr pro jednoduchost označován jako tloušťka vlákna. Tloušťka vlákna pro dokonale kruhové vlákno by odpovídala průměru vlákna. Pro většinu vláken bude mít hodnotu, která bude vyšší než ekvivalentní průměr vlákna. Při nevhodně navržené metodě měření to může vést k významně zkresleným až vyloženě chybným výsledkům, a tedy i závěrům. Uvedené komplikace použití měření šířky vláken pro odhad průměru je nicméně možné omezit vhodným návrhem metody pro stanovení průměru vláken.

2.1 Metody měření jemnosti

Jako první při zavádění metod je nutné správně stanovit standardní podmínky pro provádění měření. Zejména u hygroskopických vláken dochází k tomu, že lineární hustota se může významně lišit podle množství vlhkosti, nebo opačně sušiny, které dané vlákno obsahuje. Proto je nutné zkoušení jemnosti vláken provádět v přísně regulovaných podmínkách, co se týče vlhkosti a teploty. [7]

Pro jednotlivá dlouhá lineární vlákna je metoda měření velmi jednoduchá. Je nutné jenom změřit úsek vlákna a pro ten samý úsek vlákna změřit jeho hmotnost. Je nutné samozřejmě zvolit vhodné jednotky a přesnost měření. Hodnotu jemnosti dostaneme prostým podílem dvou naměřených hodnot. Pro snížení výskytu hrubých a náhodných chyb je nezbytné měření provést na vhodně navzorkované délce vlákna v několika opakováních.

Pro některá přírodní vlákna, jako například bavlnu, je nicméně problematika měření lineární hustoty složitější díky tomu, že přírodní vlákna nejsou zpravidla ve formě jednotlivých oddělených vláken. Musíme tedy nejdříve vzorek pro vzorkování vláken na měření připravit, nastříhat a až následně ze získaných hodnot vhodnými matematickými operacemi získat výslednou hodnotu jemnosti. Z mnoha zavedených postupů pro měření jemnosti se podíváme na postupy uvedené v ČSN EN ISO 1973:1995, která nabízí gravimetrické a vibroskopické metody vhodné pro svazky vláken i pro jednotlivá vlákna. Použití této normy je preferované u chemických vláken z důvodu lepší dosahované přesnosti měření ve srovnání s přírodními vlákny. [8]

Tabulka 1: Schéma experimentu

Den měření	Vlákno a lokalita měření	Počet měření laborant 1	Počet měření laborant 2
Den 1	Vlákno 1 – Začátek	10	10
Den 1	Vlákno 1 – Konec	10	10
Den 1	Vlákno 2 – Začátek	10	10
Den 1	Vlákno 2 – Konec	10	10
Den 2	Vlákno 1 – Začátek	10	10
Den 2	Vlákno 1 – Konec	10	10
Den 2	Vlákno 2 – Začátek	10	10
Den 2	Vlákno 2 – Konec	10	10

Proto byla zavedena upravená gravimetrická metoda pro měření jemnosti monofilů na bázi kyseliny hyaluronové. Vzhledem k velmi vysoké hydrofilitě všech materiálů na bázi hyaluronátu sodného je stěžejní správné nastavení laboratorních podmínek pro měření. Nastavené standardní podmínky jsou vlhkost vzduchu (rh) v intervalu 50 – 60 % a teplota (T) 20 – 27 °C. Vzhledem k charakteru vlákna se vzorek odměřuje a stříhá z cívky. Pro jedno měření slouží kalibrovaným měřidlem odměřený úsek o délce 1 m. Ustřížený úsek vlákna se vloží do kádinky a na analytických vahách se změří hmotnost s přesností na 0,01 mg. Změřená hodnota v mg je hodnotou jemnosti v tex. Měření se opakuje pro 3-5 úseků a výsledek je uváděn spolu se směrodatnou odchylkou a variačním koeficientem.

3 Ověření metody pro gravimetrické měření jemnosti degradabilních vláken

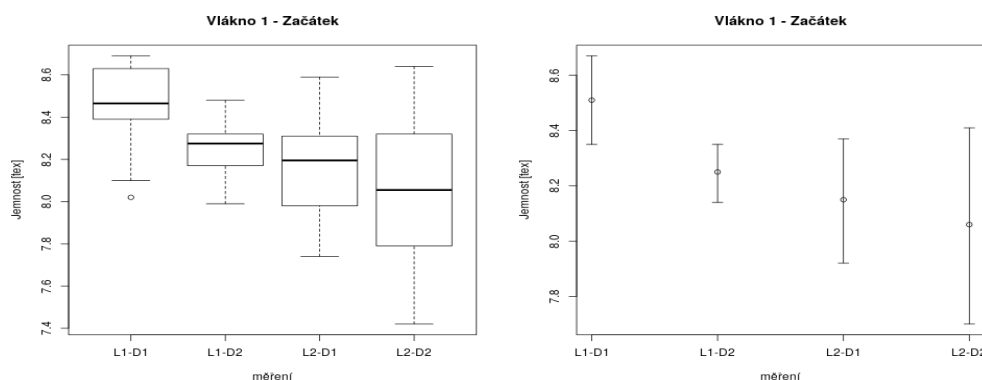
Pro ověření opakovatelnosti a reprodukovatelnosti byl navržen cílený experiment na dvou vláknech, při měření dvěma laboranty, každým ve dvou různých dnech. V tabulce 1 je uveden počet měření jednotlivými laboranty v jednotlivé dny.

Současně s výsledky byly do protokolu o měření zaznamenány i laboratorní podmínky, které

mohou vnášet, zejména u parametru reprodukovatelnosti, významnou variabilitu do získaných dat. Na stejných vláknech bylo rovněž provedeno skenování pomocí laseru a to každým operátorem a v každý den měření (celkem budou tedy k dispozici 4 skeny vlákna pomocí laseru pro zpracování dat). Za účelem získání dalších informací o vláknech byl na začátku a na konci každého vlákna proveden řez pro snímek na elektronovém mikroskopu.

Pro každé vlákno bylo provedeno měření na obou koncích (zjednodušeně budeme označovat začátek a konec vlákna, kde začátek je konec vlákna s vyšší jemností a konec vlákna je konec vlákna s nižší jemností, což odpovídá výrobnímu procesu). Vzhledem k statisticky významnému rozdílu v jemnosti mezi začátkem a koncem vlákna budeme pracovat při zpracování dat opakovatelnosti měření zvlášť pro jednotlivé konce a jednotlivá vlákna. Pro každý konec vlákna a každé vlákno zvlášť máme tedy sadu čtyř měření po deseti opakováních (celkem 40 hodnot). Zpracování naměřených hodnot jemnosti (t [tex]) pro začátek vlákna 1 je uvedené v tabulce 2 a data jsou rovněž vynášena na obrázku 1 ve formě boxplotu (graf vlevo) a bodového diagramu (graf vpravo) pro jednotlivé časy měření a laboranty. Na sbíraných datech jsou vypočtené průměrná hodnota (prostý aritmetický průměr) $\bar{t}$, výběrová směrodatná odchylka s_t , variační koeficient v_t , dolní a horní mez intervalu spolehlivosti střední hodnoty μ . Výpočty všech uvedených parametrů byly provedené pomocí software LibreOffice.

Variabilita jednotlivých sad měření je na přijatelných hodnotách s hodnotami variačního koeficientu pod 5 %, což se dá považovat za přijatelnou hodnotu i s ohledem na běžné specifikace připravovaných vláken, kde požadovaný interval hodnot bývá obvykle 10 20 % střední hodnoty. Když porovnáme intervaly spolehlivosti jednotlivých sad měření, vidíme, že u jednotlivých laborantů můžeme na základě překryvu intervalů spolehlivosti mluvit o tom, že nevidíme rozdíl mezi jednotlivými dny měření a také můžeme konstatovat, že nevidíme rozdíl mezi měřeními jednotlivými laboranty v jeden konkrétní den. Nicméně pokud porovnáme každé měření s každým tak v tomto případě nemůžeme potvrdit shodu naměřených dat mezi laborantem 1 v Den 1 a měřeními laborantem 2 v Den 2. Vzhledem k tomu, že pracujeme s malými výběry a použití statistiky pro normální rozdělení navzdory běžnému využití v praxi je zatíženo chybou, tak pro ověření správnosti úvahy jsme provedli také výpočet intervalu spolehlivosti odhadu střední hodnoty podle Hornova postupu. Horní (x_H) a dolní (x_D) pivot, pivotová polosuma (P_L) a pivotové rozpětí (R_L) spolu s intervalem spolehlivosti jsou uvedené v tabulce 2. Získané intervaly spolehlivosti se navzájem překrývají (viz obr. 1, vpravo). Tato skutečnost vede k závěru, že nemůžeme vyvrátit shodu mezi kteroukoliv dvojicí sad měření. Vzhledem k zjištěným výsledkům měření nemůžeme u počátečního měření vlákna 1 potvrdit vliv dne provedeného měření stejně tak jako vliv laboranta měření provádějícího.



Obrázek 1: Gravimetrické měření jemnoti – Vlákno 1 – Začátek

Analogicky jsme při vyhodnocení dat pokračovali i pro konec vlákna 1 a pro začátek a konec vlákna 2. U všech úseků zamítáme vliv laboranta i dne měření a můžeme pro porovnání shody mezi počátečním a koncovým úsekem jednoho vlákna použít všech 40 měření (pro dané vlákno jako dostatečně homogenní vzorek. V tabulce 3 jsou uvedené výsledky odhadu globálního průměru, výběrové směrodatné odchylky, variačního koeficientu a 95% intervalu spolehlivosti.

Vypočtené hodnoty nám potvrzují statisticky významný rozdíl v jemnosti na začátku a na konci vlákna. Potvrzujeme tím vlastnosti procesu výroby vláken, kde dochází k poklesu jemnosti v průběhu výroby vlákna pomocí použité výrobní technologie.

Gravimetrickou metodu měření jemnosti tak, jak je zavedená, lze dle získaných dat považovat za dostatečně přesnou a validovatelnou. Výsledky vedou k zamítnutí vlivu operátora a času měření. Nicméně výsledky potvrzují, že i u samotného vlákna záleží na místě odběru vzorku pro analýzu jemnosti.

4 Zpracování dat měření „tloušťky“ vlákna pomocí laseru

Měření probíhalo při převíjení vláken za sucha pomocí přístroje Accuscan 6000. Přístroj měří ve čtyřech osách (0°, 45°, 90° a 135°) vlákno procházející otvorem (viz obrázek 2). Vlastnosti použitého technického vybavení umožňují nastavení několika parametrů pro záznam dat pomocí laserového snímání. Pro naše měření jsme použili následující nastavení:

- rychlost návinu 30 m za minutu (mpm)
- zaznamenávání dat z 5 po sobě jdoucích měření každých 0,1 s.

Tabulka 2: Gravimetrické měření jemnosti – Vlákn 1 – Začátek

	Laborant 1		Laborant 2	
	Den 1	Den 2	Den 1	Den 2
začátek	t[tex]	t[tex]	t[tex]	t[tex]
t	8,43	8,25	8,16	8,02
s_t	0,220	0,140	0,256	0,367
$v_t[\%]$	2,6	1,7	3,1	4,6
95% IS dolní mez	8,30	8,17	8,00	7,79
95% IS horní mez	8,57	8,34	8,32	8,25
x_D	8,39	8,17	7,98	7,79
x_H	8,63	8,32	8,31	8,32
P_L	8,51	8,25	8,15	8,06
R_L	0,24	0,15	0,33	0,53
95% IS dolní mez	8,35	8,14	7,92	7,70
95% IS horní mez	8,67	8,35	8,37	8,41

Tabulka 3: Gravimetrické měření jemnosti – Srovnání počátečního a konečného úseku vlákna.,

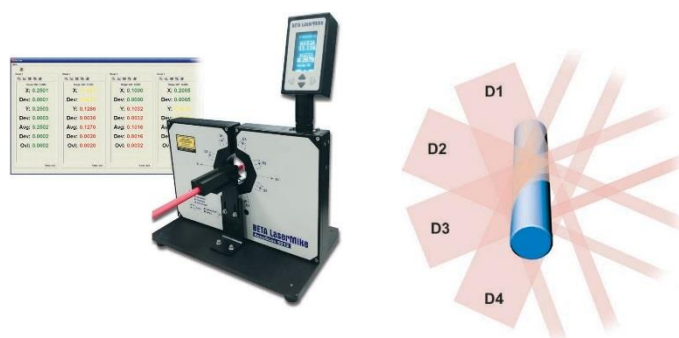
	Vlákn 1		Vlákn 2	
	začátek	konec	začátek	konec
t [tex]	8,22	7,33	9,06	7,25
s_t [tex]	0,29	0,17	1,40	0,32
v_t [%]	3,55	2,26	15,48	4,42
95% IS DM [tex]	8,13	7,28	8,63	7,15
95% IS HM [tex]	8,31	7,38	9,50	7,35

Naměřená data tedy získáváme ze 4 detektorů a software zařízení dá le spočítá pro každé jedno zaznamenané měření ještě průměrnou hodnotu.

4.1 Ověření parametrů opakovatelnosti a reprodukovatelnosti

Jak je již v předchozí kapitole uvedené, při provádění experimentu pro ověření reprodukovatelnosti a opakovatelnosti měření jemnosti gravimetricky jsme provedli i skenování na laseru. Z těchto skenů můžeme rovněž vypočítat stejné parametry pro validitu metody a vlivu operátorů a data měření na provádění měření. Jako nejdůležitější pro tuto práci bude vyhodno

cení vztahu mezi naměřenými hodnotami jemnosti a získanými hodnotami naměřeného průměru vlákna pomocí laseru. K tomuto účelu poslouží jako pomocná data snímky získané na skenovacím elektronovém mikroskopu (SEM) na začátku a na konci každého vlákna.



Obrázek 2: Zařízení pro měření vlákna pomocí laseru včetně schématu měření (zdroj: propagační materiál zařízení)

Pro ověření opakovatelnosti

reprodukovatelnosti, stejně tak jako srovnání metody s metodou gravimetrickou pro měření jemnosti,

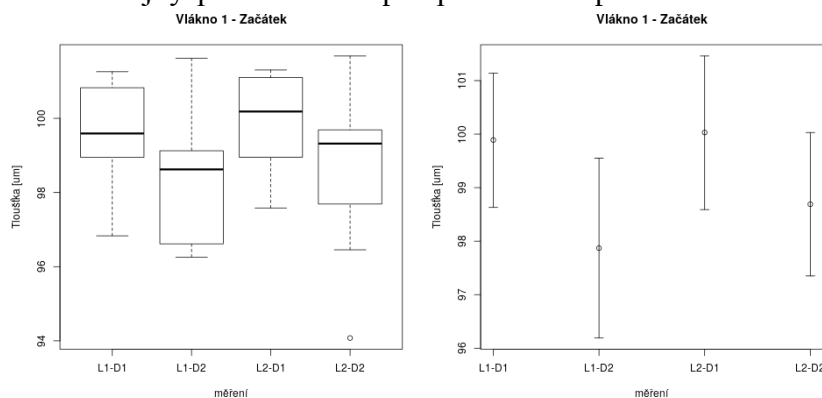
použijeme podmnožinu dat, ve které cíleně nepoužijeme některé cenné informace, a budeme zanedbávat část variability, která může být způsobena zejména v průběhu výroby vlákna a která zvyšuje variabilitu dat. Pro další výpočty tedy budeme používat

vždy zprůměrovaná data pro 1 metr vlákna (vždy 20 získaných hodnot) tak, abychom používali stejně dlouhý úsek, ve kterém cíleně nebudeme detekovat malé rozdíly a rozptýl a ty zanedbáme. Pak, abychom zachovali stejný počet hodnot pro posouzení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti

a abychom pro vztah mezi těmito dvěma metodami mohli mít, pokud možno vyrovnaný experiment, z každého skenu vezmeme vždy data pro prvních a posledních 10 metrů vlákna. Díky tomu opět získáme 40 měření pro každý z popisovaných úseků vlákna a na nich můžeme provádět

a Tabulka 4: Měření tloušťky vlákna laserem – Vlákno 1 – Začátek

vlákno 1	Laborant 1		Laborant 2	
začátek	Den 1	Den 2	Den 1	Den 2
	$D^* [\mu m]$	$D^* [\mu m]$	$D^* [\mu m]$	$D^* [\mu m]$
D^*	99,66	98,41	99,97	98,63
s_{D^*}	1,36	1,79	1,28	2,18
$v_{D^*} [\%]$	1,37	1,82	1,28	2,21
95% IS dolní mez	98,81	97,30	99,17	97,28
95% IS horní mez	100,50	99,51	100,76	99,98
x_D	98,95	96,62	98,95	97,69
x_H	100,83	99,13	101,10	99,69
P_L	99,89	97,87	100,03	98,69
R_L	1,88	2,51	2,15	2,00
95% IS dolní mez	96,27	93,16	95,82	94,77
95% IS horní mez	101,55	100,06	99,74	100,29



Obrázek 3: Měření tloušťky vlákna laserem – Vl. 1 – Začátek

analogické výpočty jako pro jemnost vláken s tím, že pro základní ověření reprodukovatelnosti/opakovatelnosti měření můžeme výpočty provádět přímo pro naměřenou hodnotu tloušťky vlákna (značíme D^*). Pro výběr podmnožiny dat jsme použili software GNU Octave, další výpočty byly prováděny pomocí software LibreOffice, grafy byly zhotovené pomocí software RStudio.

Na takto vybrané podpopulaci jsme stejně jako pro jemnosti vypočítali hodnoty, které jsou pro začátek vlákna 1 uvedené v tabulce 4 (pro data při uvažovaném normálním rozdělení) a v druhé části tabulky uvedené hodnoty vypočítané postupem podle Horna, data jsme rovněž zobrazili pomocí boxplotu (viz obr. 3, vlevo). Díky práci s průměrovanými hodnotami jsme dosáhli nízké variability dat (variační koeficient pod 2,21 %). Současně s tím můžeme konstatovat, že opět dochází k překryvu všech 95% intervalů spolehlivosti (vypočtené oběma způsoby, intervaly vypočtené postupem podle Horna jsou vyneseny v grafu na obrázku 3, vpravo). Analogicky jsme při výpočtu postupovali pro konec vlákna 1 a pro začátek i konec vlákna 2. Stejně jako při měření jemnosti můžeme zpracovat získaná data jako jeden celek a získat průměrnou hodnotu naměřené tloušťky vlákna v μm . Data srovnání začátku a konce vlákna jsou uvedena v tabulce 5. Opět, stejně jako u gravimetrického měření jemnosti, potvrzujeme statisticky významný rozdíl mezi začátkem a koncem měřeného vlákna.

5 Odhad hodnoty jemnosti pomocí měření laserem

Pro odhad jemnosti pomocí tloušťky odhadnuté laserem můžeme využít definici parametru jemnosti a pro ulehčení počítání se získanými daty využijeme proměnu jednotek:

$$t [tex] = \frac{\pi \rho [g/cm^2] 10^{-3}}{4} D^2 [\mu m^2] \quad (1)$$

Kde ρ je hustota vlákna a D je ekvivalentní průměr vlákna. Pokud použijeme do vztahu námi změřenou hodnotu tloušťky vlákna D^* tak musíme rovněž provést korekci a doplnit vztah o konstantu $(1-q)$, kde q je tvarový faktor $q = p/(\pi D)-1$, který pro dokonale kruhové vlákno má hodnotu 0 a pro ostatní vlákna má hodnotu mezi 0 a 1. Pak získáme vztah:

$$t = \frac{1}{4} \rho \pi 10^{-3} D^{*2} (1 - q) \quad (2)$$

kde dosazujeme jemnost v jednotkách tex hustotu v g/cm^3 a tloušťku vlákna v μm . Pak můžeme počítat s kvadratickou závislostí, kde máme regresní vztah:

$$t = a D^2. \quad (3)$$

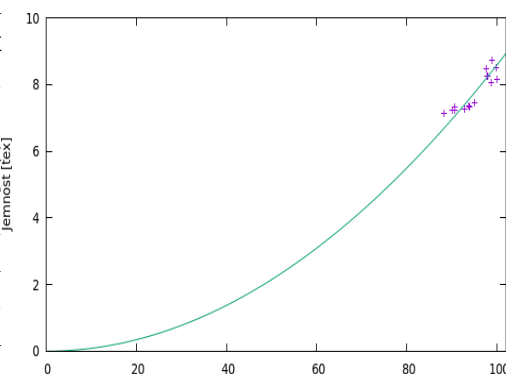
kde pro a platí:

$$a = \frac{1}{4} \rho \pi 10^{-3} (1 - q) \quad (4)$$

Tabulka 5: Měření tloušťky vlákna laserem – Vlákno 1 – Srovnání počátečního a konečného úseku vlákna.

	Vlákno 1		Vlákno 2	
	začátek	konec	začátek	konec
$D^* [\mu m]$	99,17	93,44	97,75	90,25
$s_{D^*} [\mu m]$	1,76	3,09	2,92	2,43
$v_{D^*} [\%]$	1,77	3,31	2,99	2,70
95% IS DM $[\mu m]$	98,62	92,48	96,85	89,50
95% IS HM $[\mu m]$	99,71	94,39	98,66	91,01

Z předchozích dat využijeme jednotlivé sady měření pro odhad hodnot jemnosti vlákna. Do grafu vyneseme odhady polohy podle Hornova postupu pro malé výběry. A pomocí programu GNUplot provedeme nelineární regresi. Graf závislosti jemnosti na tloušťce vlákna tak můžeme vidět na obrázku 4. Hodnota parametru a vypočtená programem GNUplot má hodnotu $8,59 \cdot 10^{-4} \pm 7,8 \cdot 10^{-6}$. Odchylka je asymptotickou standardní chybou regrese. Korelaci mezi oběma měřenými veličinami potvrzuje i Spearmanův korelační koeficient (vypočtený pomocí programu RStudio) s hodnotou 0,87 a p-hodnotou menší než $2,2 \cdot 10^{-16}$, což znamená potvrzení statistické významnosti korelace. Statistickou významnost ukazuje i Paersonův korelační koeficient mezi jemností a kvadrátem tloušťky, s hodnotou 0,90, 95% intervalem spolehlivosti 0,77 – 1,00 a s p-hodnotou $2,14 \cdot 10^{-6}$.



Obrázek 4: Graf závislosti jemnosti vlákna na tloušťce

Ze získaného parametru a z regresní přímky můžeme zapomoci snímků z elektronového mikroskopu a vyčteného tvarového faktoru získat odhady hustoty vlákna ρ . Pro výpočet hustoty budeme vycházet z rovnice 4. Vyjádříme hustotu jako:

$$\rho = \frac{4a}{\pi(1-q)} = \frac{4a}{\pi q^*} \quad (5)$$

kde q^* je substituce za $(1-q)$, kterou dokážeme vypočítat přímo z naměřených hodnot obvodu a obsahu řezu vlákna na snímku SEM. Vzhledem k tomu, že hodnoty a i hodnota q^* jsou hodnoty získané pomocí měření (ať už přímo nebo nepřímo) budeme muset pro odhad hodnoty hustoty použít zákon šíření chyb pomocí Taylorova rozvoje, kde platí pro odhad průměru a rozptylu hustoty [9]:

$$\bar{\rho} = \frac{4}{\pi} \left(\frac{a}{q^*} + \frac{a}{(q^*)^3} s_{q^*}^2 \right) \quad (6)$$

$$s_{\rho}^2 = \left(\frac{s_a^2}{(q^*)^2} + \frac{a^2}{(q^*)^4} s_{q^*}^2 \right) \quad (7)$$

kde a je hodnota regresního parametru, s_a hodnota standardní chyby regrese, q^* hodnota substituovaného tvarového faktoru a hodnota s_{q^*} hodnotou směrodatné odchylky získané z výpočtů substituovaného faktoru.

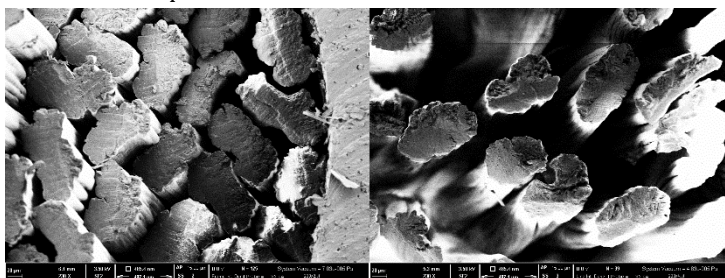
Na snímcích z elektronového mikroskopu jsme pro každý úsek vlákna pomocí programu imageJ určili velikosti obvodu a obsahu 10 řezů vláknem. Pro každou takto získanou dvojici hodnot jsme spočetli ekvivalentní průměr a tvarový faktor q , respektive substituovaný tvarový faktor $q^* = (1-q)$, který budeme používat pro další výpočty. Ukázkové snímky ze SEM jsou uvedené na obr. 5. Z vypočtených hodnot pro jednotlivé části vlákna získáme odhad průměrné hodnoty hustoty vláken $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$ se směrodatnou odchylkou $0,13 \text{ g.cm}^{-3}$. Tuto hodnotu použijeme potom do vztahu pro jemnost (viz rovnice č. 1), kde za hodnotu průměru vlákna D budeme dosazovat průměrné hodnoty získané měřením na laseru. Vzhledem k tomu, že jak použitá hodnota hustoty má získaný rozptyl, stejně tak, jako průměrné hodnoty změřeného vlákna, získáme dle Taylorova rozvoje vztahy doplněné o rozptyly jednotlivých parametrů průměrnou hodnotu odhadu jemnosti a pro odhad směrodatné odchylky:

$$\bar{\epsilon} = \pi \rho \frac{D^2}{4} 10^{-3} + \pi \rho \frac{s_D^2}{4} 10^{-3}$$

(8)

$$s_t^2 = \frac{1}{4} \pi^2 D^2 10^{-6} \left(\frac{D^2}{4} s_p^2 + \rho^2 s_D^2 \right) \quad (9)$$

Pro výše uvedené vztahy jsme nepoužili korekci pomocí tvarového faktoru, počítali odhad z materiálové konstanty (hustota ρ) a naměřené hodnoty tloušťky vlákna. Uvedená korekce nám může pomoci zpřesnit získané výsledky.



Proto pro zpřesnění výsledku použijeme ještě korekci pomocí tvarového faktoru $(1 - q)$ a korigovaný odhad jemnosti pomocí měření laseru pak vypočítáme pomocí vztahu:

Obrázek 5: Řez vláknem zobrazeným na SEM – Vláknem 1

$$\bar{t}_{kor} = \bar{t}(1 - q) \quad (10)$$

Při zohlednění rozptylů obou proměnných pak počítáme odhad a směrodatnou odchylku na základě Taylorova rozvoje:

$$\bar{t}_{kor} = \bar{t}(1 - q) + \frac{1}{2} (s_t^2 + s_{q*}^2) \quad (11)$$

$$s_{t_{kor}}^2 = s_t^2 + s_{q*}^2 \quad (12)$$

Získané výsledky jsou uvedené v tabulce 6 společně s hodnotami získanými gravimetricky pro lepší srovnání výsledků. Tyto výsledky nám potvrzují to, že bez zjištění tvarového faktoru, nebo regrasního parametru a (viz vztah 4) je hodnota spočteného parametru jemnosti jenom na základě naměřené tloušťky vlákna a materiálového parametru hustoty nadhodnocená oproti skutečné hodnotě v jednotlivých případech o 32 respektive 41 %. Pro určování jemnosti není tedy díky velkému množství vznikajících stínů měření laserem vhodné. Nicméně jako parametr jakosti vlákna může tento parametr dle předešlých výsledků s postačující přesností a vypovídající hodnotou nahradit. Pro dopočítání jemnosti je nutné provést další neelementární měření například pomocí SEM, nebo jinou metodou. Pak po zohlednění tvarového faktoru byly potvrzené přesnější odhady získané jemnosti, které se liší ve třech případech do ± 5 % od hodnot získaných gravimetricky a v jednom případě jsou nadhodnocené o přibližně 16 %.

Tabulka 6: Odhad parametru jemnosti vlákna dle měření laserem a srovnání s parametry získanými gravimetricky

	Vláknem 1		Vláknem 2	
	začátek	konec	začátek	konec
$t[tx]$ (laserem)	11,59	10,30	11,27	9,60
$s_t[tx]$	1,08	1,12	1,18	0,98
$t_{kor}[tx]$ (laserem – korigováno)	8,02	8,51	8,86	7,60
$s_{t_{kor}}[tx]$	1,09	1,12	1,19	0,98
$t[tx]$ (gravimetricky)	8,21	7,33	8,51	7,25
$s_t[tx]$	0,29	0,17	0,46	0,32
jemnost laserem/gravimetricky	1,41	1,41	1,32	1,32
jemnost laserem (korigovaná)/gravimetricky	0,98	1,16	1,04	1,05

Závěr

Provedený experiment na dvou vláknech s robustním návrhem experimentu pro ověření opakovatelnosti metod měření jemnosti, jsme provedli tak, abychom při skenování laserem zanedbali nestejnoměrnost na úsecích kratších než 1 m. Tím jsme získali nižší variabilitu měření a potvrdili silnou korelaci mezi gravimetrickým měřením jemnosti a laserovým skenováním tloušťky. Pro ilustraci této korelace jsme vynesli závislost do grafu a výpočtem se pokusili odhadnout hustotu jednotlivých úseků vláken.

Pro obě metody jsme potvrdili opakovatelnost a reprodukovatelnost prováděného měření, s několika málo vybočujícími případy, které byly s největší pravděpodobností způsobené vlivem nestejnoměrnosti připravených vláken.

Metoda laserového skenování dle získaných dat může nahradit měření jemnosti gravimetricky. Nicméně pokud bude nutné získat hodnotu jemnosti vlákna, tak přímým výpočtem bez znalosti přesného tvaru průřezu vlákna budou získané hodnoty jemnosti vlákna významně nadhodnocené, zejména díky počtu konkávních úseků na povrchu vlákna, které skenování pomocí laseru nedokáže zachytit. Pro hodnocení vlákna by tedy bylo nutné využívat přímo naměřenou tloušťku vlákna vzhledem k tomu, že pro odhad jemnosti pomocí tloušťky je nutné provést několik dalších měření a výpočtů, které do odhadu budou vnášet další nepřesnosti. Velmi zajímavá může tato metoda být pro hodnocení výrobního procesu, například pomocí regulačních diagramů, kde může pomoci při odhalování trendů ve výrobě lépe než gravimetrické měření na relativně krátkých úsecích. Pro zavedení hodnocení výroby pomocí regulačních diagramů bude pro rutinní používání nutné zavést automatické zpracování naměřených dat.

Literatura

- [1] NECAS, J. et al.: Hyaluronic acid (hyaluronan): a review. Veterinární medicína, 2008, 53, (8), 397-411.
- [2] BĚŤÁK, J.: Technology of monofilamentous fibers based on oxidized hyaluronic acid [online]. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta chemická, 2016. [cit. 2017-10-10]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/63314>. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta chemická. Ústav fyzikální a spotřební chemie. Vedoucí práce Martina Klučáková.
- [3] RUPPRECHT, A.: Wet Spinning of Hyaluronic Acid. Preparation of Oriented Samples, ACTA CHEMICA SCANDINAVICA, vol. 33, 1979, pages 779 - 780, XP002483473.
- [4] DOMARD, A. et al.: Filament containing hyaluronic acid in free acidic form and method for making same, Patent, WO 2009050389 A3, 2009.
- [5] BURGERT, L. et al.: Hyaluronan fibres, method of preparation thereof and use thereof, Patent, WO2012089179 A1, 2012
- [6] SCUDLOVA J. et al.: Fibres Based on Hydrophobized Derivatives of Hyaluronan, Method of Their Preparation and Use, Textiles on Base Thereof and Use Thereof; Patent, WO 2014082611 A1, 2014Morton, W. E. et al.: Physical properties of textile fibres Fourth edition, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2008, ISBN 978-1-84569-442-5
- [7] ČSN EN ISO 1973 (80 0269) Textilní vlákna-Zjišťování délkové hmotnosti-Gravimetrická a vibroskopická metoda. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [8] MELOUN, M. A MILITKÝ J.: Statistická analýza experimentálních dat. Vyd. 2., upr. a rozš. Praha: Academia, 2004. ISBN 80-200-1254-0.

VIDITELNOST CHODCŮ ZA SNÍŽENÉ VIDITELNOSTI

Autor práce: Bc. Mária Kuzmová
Vedoucí práce: Ing. Katarína Zelová. Ph.D.

Sekce - TEXTIL,
Fakulta textilní, 2. ročník
Magisterský studijní program – ODEVNÍ TECHNOLOGIE

Abstrakt: Práce se zabývá viditelností vybrané skupiny civilistů za snížené viditelnosti. V první teoretické části práce je charakterizována viditelnost, analýza dětského oděvu dostupného na trhu a možností měření retroreflexního materiálů. Druhá praktická část práce je zaměřena na zhodnocení a porovnávání nejvhodnějšího retroreflexního prvků na dětském oděvu novou inovovanou metodou měření pomocí vyhotovených fotografií a přístroje SpectroScanu, doplněno hodnocením pozorovatelů. Na základě výsledků je doporučeno nejvhodnější použití fluorescenčního a retroreflexního prvků na dětském oděvu, jeho umístění, množství a velikost. Bylo prokázáno, že stanovené metodiky měření umožňují objektivně vyhodnotit, zda je chodec na silnici dostatečně viditelný.

Klíčová slova: silniční doprava, bezpečnost, reflexní prvky, metodika testování, dětský oděv.

Úvod

Bezpečnost na silnici je v současné době velice preferovaná téma. Neustálý vývoj automobilů a zrychlení provozu nutí k vyšší bezpečnosti osob na cestách a komunikacích. Nejlépe dbají o svou bezpečnost cyklisté a výrobci oděvů se zaměřují hlavně na jejich skupinu. Avšak nejohroženější skupinou jsou právě děti a senioři. Řidiči mají na cestě v obcích povinnost zvýšit ostražitost v oblastech školek, škol a jiných zařízeních určených pro děti. Bohužel někdy ani dopravní značení oznamující přítomnost dětí nezabrání nehodě. Děti se často chovají zmateně a nevyzpytatelně, a právě proto je potřebné dbát na jejich bezpečnost.

Po vstupu platnosti zákona o bezpečnosti na silnici pro chodce se zlepšuje postupně i jejich situace. Při nabídce oblečení a doplňků pro chodce se objevují retroreflexní prvky, která je v celku na vysoké úrovni. Nekonkrétnost zákona však působí poněkud zmatečně. Nedefinuje velikost, množství ani umístění retroreflexního prvku na oděvu. Pak vzniká situace, že bunda nebo jiné doplňky nezabezpečují pro chodce správnou viditelnost i když se retroreflexní prvek na bundě nachází.

Abychom pro včasnou reakci řidiče snížili riziko nehodovosti nebo dokonce úmrtí dítěte na silnici a zvýšili jeho viditelnost, bylo v této práci navrženo a otestováno několik variant dětských bundiček a doplňků. Dvanáct různých variant slouží pro nej přesnější stanovení vhodného množství, velikosti a místa umístění retroreflexního prvků.

Nejpřesnější měření a následné vyhodnocení pořad není striktně definováno, i když už v minulosti proběhlo mnoho výzkumů a testování zabývajících se podobné problematice. V práci je navržena inovovaná metoda měření a hodnocení na základě dosavadních výzkumů. Kombinací objektivního, přesného měření pomocí přístroje SpectroScanu a subjektivního vnímání pozorovatelů tak získáváme přesnější výsledky.

Každá kapitola je zakončena dílčím závěrem, který stručně shrnuje dosažené výsledky. Hlavní idea práce a celkové shrnutí všech dosažených výsledků jsou zhodnoceny v kapitole diskuze a závěru.

1 Problematika

1.1 Důležitost správné viditelnosti na silnici

Téma bezpečnosti civilistů a cyklistů na silnici je v současné době velice preferovaná a aktuální. Důležitost, která se klade na viditelnost na silnici. Cílem je lidi upozornit na vážnost problému a zvýšení prevence vážných a smrtelných nehod, způsobených nedostatečnou viditelností chodce. Zároveň různé psychologické průzkumy ukazují, že hlavně děti do dvanáctého roku mají problém se plně soustředit na okolní dění. Děti nedokáží ještě správně odhadovat a předvídat. Různé reflexní, retroreflexní prvky, led-diodové pásy nebo fluorescenční doplňky zvyšují možnost včas zaregistrovat chodce na silnici a předejít nehodě, která ve většině případů končí smrtí. A právě u kategorie dětí nastává otázka, zda použití a umístění reflexního prvku na dostupných oděvech na trhu jsou dostačující a umožňují dítě na cestě včas upozorovat. U dětí platí, že už rychlost 30 km/h znamenají kritické následky, téměř vždy končí smrtí [1]. Zvýšení viditelnosti docílíme použitím fluorescenčních, reflexních a retroreflexních prvků. Reflexní materiály zaručují, že světlo dopadající na jejich povrch odráží zpátky směrem k světelným zdrojům - reflektorům vozidla. Zajišťují tak maximální možnou viditelnost osoby a zvyšují její bezpečnost včasnou reakcí řidiče na objekt. [2]. Pro denní světlo jsou nejúčinnější fluorescenční materiály ve žluté, červené a oranžové barvě. V noci kde jsou různé rušivé parametry (pouliční osvětlení, stav vozovky, nepořádek, pozadí - rušivé faktory, počasí, kontrast) se osvědčila kombinace reflexního a fluorescenčního prvku. Retroreflexní a různé blikající LED diodové pásy získali nejlepší hodnocení [3].

V naší práci se zabýváme retroreflexními prvky. Retroreflexní fólie a proužky s toutle technologií jsou velice flexibilní a vysoce výkonné materiály, nejčastěji se využívají v textilním průmyslu materiály.

1.2 Legislativa viditelnosti v současnosti

Již ve zmíněné novele zákona č. 361/2000 sb. o provozu na pozemních komunikacích v paragrafu 53 odstavci devět stojí: „Pohybuje-li se chodec mimo obec za snížené viditelnosti po krajnici nebo po okraji vozovky v místě, které není osvětleno veřejným osvětlením, je povinen mít na sobě prvky z retroreflexního materiálu umístěné tak, aby byly viditelné pro ostatní účastníky provozu na pozemních komunikacích.“ Novela přišla do platnosti od února 2017, čímž se jasně klade důležitost viditelnosti chodce na silnici [4]. I když je v zákoně zmínka o povinnosti nošení retroreflexního materiálu na oděvu, pořád chybí jeho přesná definice. Velikost reflexního prvku nebo jeho umístění. Povinnost nosit reflexní prvky zakotvila ve své legislativě řada evropských zemí a výsledkem bylo snížení počtu smrtelných nehod chodců. Podle normy EN 471 je oděv rozdělený do 3 tříd, přičemž třetí třída představuje nejvyšší stupeň ochrany a určuje, že na svrchním oděvu má retroreflexní materiál tvořit 0,20 m² a fluorescenční plocha by měla být nejméně 0,80 m² z celého oděvu. Tá se ale spíše věnuje profesionálním oděvům u dospělých jedinců. Norma, která by definovala dětské účastníky na silnici i mimo nich však neexistuje. Retroreflexní materiál u oděvů pro dospělé nemusí množstvím a velikostí stačit pro dětské oděvy. Také výška dětí ovlivňuje umístění reflexního prvku [5].

1.3 Umístění reflexního prvku na základě doporučení již existujících výzkumech

Nejlepší výsledek odrazivosti prvků na oděvu nezaručuje jistotu včasného upozorování objektu na silnici. Nápadnost je proto velice důležitým parametrem při vyhodnocení umístění prvků na oděvu. Nejnovější studie z roku 2016 zkoumá, jak ovlivňuje věk a zrakové zdraví řidiče a jeho reakci na objekt na silnici. Zároveň, jak maximalizovat bezpečnost chodců na silnici, jak být nápadní a viditelní, a přitahovat pozornost řidiče. Výzkum prokázal, že viditelnost chodců může být optimalizováno připevněním retroreflexních prvků na končetiny

chodců. Byla testovaná stejná plocha retroreflexního prvků na oděvu v oblasti hrudě, horních a dolních končetin a v oblastech kloubů. Měření proběhlo s figurantem v klidu a také v pohybu. Opět se zde hovoří o „biological motion“ – biomotion, který usnadňuje vnímání osoby [6].

2 Praktická část práce

2.1 Návrh dětského oděvu a doplňků pro zvýšení viditelnosti

Po analýze dětských bund v rešeršní části práce a z průzkumu trhu v ČR, jsme zjistili, že i když se na bundě nachází retroreflexní prvek, v mnoha případech může být nedostačující. Proto v praktické části byli vytvořené varianty bundiček s různým umístěním, velikostmi a množstvím retroreflexních prvků. Mimo variant, které představují existující sortiment na trhu, byli navrhnuté dvě dětské bundy a doplňky, které jsou vyhotovené z lehce dostupných materiálů. Jsou oživené dětským designem a jsou UNISEX, vhodné pro kluky i holky. Jsou vhodným doplňkem i pro bundy, které jsou zakoupené již bez retroreflexních prvků. Svým konstrukčním řešením jsou také vhodné pro nošení batohu a školní tašky, protože se aplikují přes batoh, čímž řeší problém zakrytí retroreflexních prvků na zadním díle bundičky. Narazili jsme na mnohé nedostatky či už praktické nebo finanční. Za pomoci výsledku měření navrhnutých bund a doplňků budeme moci porovnat rozdíl a kvalitu viditelnosti od běžně dostupných dětských bund.

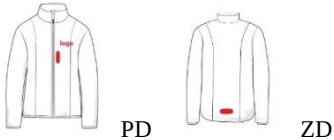
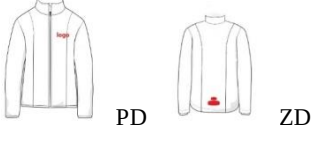
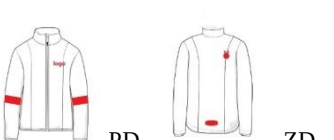
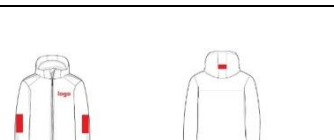
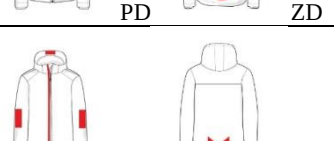
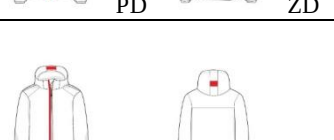
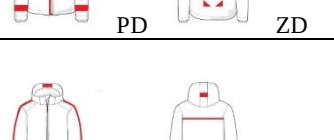
Velikost dětské bundy jsme stanovili po návštěvě základní školy. Po doporučení učitelů jsme se zaměřili na věkovou kategorii 6-7 let žáků. Jsou nejohroženější kategorií dětí, protože se začínají učit samostatnosti a správnému chování na silnici i mimo ni. Provedli jsme měření tělesných rozměrů a vyhodnotili. Podle získaných rozměrů byl vyhotoven základní střih dětské bundičky s kapucí. Plochu dětské a dospělé bundy jsme vyhodnotili za pomoci softwaru obrazové analýzy NIS-Elements (LUCIA), který se nachází na katedře oděvných technologií. Získali jsme plochu obou bund, kde dospělá bunda má výslednou celkovou plochu 1,661m² a dětská bunda 0,892m². Evropská norma EN 471 pro výstražné oděvy s vysokou viditelností pro profesionální a neprofesionální využití, definuje třetí třídu s nejvyšším stupněm ochrany svrchního oděvu. Retroreflexní materiál tvoří 0,20 m² z celého oděvu a podkladová - fluorescenční plocha 0,80 m². Z měření víme, že plocha dospělé bundy tvoří 1,661 m², kde 20 % retroreflexního materiálu představuje 0,332 m², zatímco u dětské bundy při ploše 0,892 m² by 20 % představovalo pouhých 0,178 m². Aby plocha dětské bundy obsahovala stejné množství retroreflexního materiálu jako u dospělé osoby představovanou 20 % plochy retroreflexního materiálu, musí dětský oděv obsahovat ze svého celku minimálně 37 % retroreflexního materiálu. To představuje téměř o polovinu více potřebného retroreflexního materiálu.

2.2 Stanovení variant bund podle průzkumu pro testování

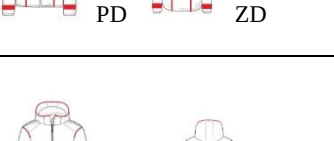
Podle průzkumu trhu jsme stanovili 8 variant bund pro testování. Z toho 4 varianty jsou s kapucí a 4 bez kapuce. Mají rozdílné velikosti, tvar, umístění na bundě, směr i množství retroreflexního materiálu. Do měření jsou zahrnuté také námi navrhnuté dvě dětské bundy a dvojce doplňky. Celkem 12 variant bundiček a doplňků.

Tabulka 1: Přehled 8 variant dětských bund podle současné nabídky na trhu ČR

Číslo bundy	Technický náčrt	Popis retroreflexního prvku	Plocha retroreflexního prvku (m ²) /%
-------------	-----------------	-----------------------------	---

Var.č.1	 PD ZD	PD: Logo na hrudníku, zip kapsy ZD: Ovální vzor v dolní části	PD 0,0452= 5,00% ZD 0,0320=3,60%
Var.č.2	 PD ZD	PD: Logo na hrudníku ZD: 2x ovální vzor v dolní části	PD 0,0240=2,70% ZD 0,0420=4,70%
Var.č.3	 PD ZD	PD: Logo na hrudníku, pruhy v oblasti loktů ZD: zajíc v oblasti pravé lopatky, ovální vzor v dolní části	PD 0,1740=19,50% ZD 0,0440=4,90%
Var.č.4	 PD ZD	PD: Šikmý pruh přes hrudník ZD: Vodorovný pruh přes záda, pásy přes naramenici po celé délce rukávů	PD 0,0530=5,90% ZD 0,0900=10,08%
Var.č.5	 PD ZD	PD: Logo v hrudní části, pruhy po délce rukávů ZD: Kapuce, ovální vzor v dolním kraji bundy	PD 0,1440=16,14% ZD 0,0495=5,55%
Var.č.6	 PD ZD	PD: Pás po délce zdrhovadla, přední kapuce, kroužek v dolním kraji a široké pásy v oblastech loktů ZD: vzory v dolním kraji	PD 0,2240=25,1% ZD 0,0670=7,5%
Var.č.7	 PD ZD	PD: Pás po délce zdrhovadla, kapuca a široké pásy v dolní části rukávů ZD: Oblast kapuce, dolní kraj bundy	PD 0,2190=24,50% ZD 0,0525=5,90%
Var.č.8	 PD ZD	PD: Oblast kapuce, pásy přes naramenici po celé délce rukávů ZD: oblast kapuce, šířka zad, dolní kraj	PD 0,1270=14,20% ZD 0,0845=9,50%

Tabulka 2: Přehled navržených variant dětských bund a doplňků

Číslo bundy	Technický náčrtek	Popis retroreflexního prvku	Plocha retroreflexního prvku (m ²) /%
Var.č.9	 PD ZD	PD: Paspule po celé délce dílů, dolní kraj rukávů ZD: Paspule po celé délce dílů, dolní kraj rukávů	PD 0,1350=15,10% ZD 0,1350=15,10%
Var.č.10	 PD ZD	PD: Paspule po celém obvodu kapuce, po obvodu průramku ZD: Paspule po obvodu průramků	PD 0,0560=6,30% ZD 0,0210=2,36%

Var.č. 11		PD: Nažehlovací fólie a nažehlovačky ZD: Dizajn velryby z nažehlovací fólie	PD 0,0860=9,60% ZD 0,3411=38,2%
Var.č. 12		PD: Nažehlovačky ZD: Dizajn zajíčka z nažehlovací fólie	PD 0,0540=6,05% ZD 0,3686=41,30%

2.3 Reální metody testování a vyhodnocení dětských bund a doplňků

Problematika testování a vyhodnocování retroreflexních prvků na postavě v reálných podmínkách není pořád přesně stanovená. V rešeršní části práce jsme rozebírali vícero způsobů měření a vyhodnocení, jako jsou terénní testy zaznamenané pozorovateli a vyhodnocené dotazníkem, přístrojem změřená odrazivost a vyhodnocená k tomu příslušným softwarem nebo laboratorními testy na změření retroreflexivity prvků. Pro naše testování jsme použili námi dostupné vybavení. Provedli jsme tři různé měření se třemi způsoby vyhodnocování získaných hodnot. Testováno bylo celkem 12 variant bundiček a doplňků. Výslední hodnoty zde můžeme vidět v hodnocení nejlepší, střední a nejhorší.

2.4 Měření vyhodnocované pomocí NIS-Elements

Měření proběhlo za snížené viditelnosti při jasné obloze bez pouličního osvětlení na vzdálenosti 200, 100m za pomoci potkavacích a dálkových světel. Po provedení experimentu jsme získali fotografie, které se následně vyhodnocovaly v softwaru obrazové analýze NIS-Elements. Fotografie jsme převedli do šedého obrazu pro lepší kontrast. Pro kalibraci v programu jsme si vyrobili měřítko o délce 1 m, které se nacházelo vždy vedle figuríny. Získávali jsme tzv. jasový histogram, který nás informuje o světlosti a tmavosti fotografie v bodech. Graf zobrazuje stupnici od 0 do 255 bodů, přičemž každý sloupec znázorňuje určitý světelný bod. Vybráním objektu u každé varianty, každé vzdálenosti a strany výrobku nám vyšel histogram. Jeho hodnoty jsme následně porovnávali.

Tabulka 3: Výsledné hodnoty experimentu nejlepší, střední a nejhorší varianty

Vzdálenost	Foto-ukázka u potkávacích světel	Typ světel	Strana výrobku	Průměr (body)	Plocha prvku (%)
Nejlepší varianta (Var.č.12 ZD)					
200 m		Potkávací	PD	9,08	0,92
			ZD	14,96	11,48
		Dálkové	PD	17,46	3,10
			ZD	16,33	9,76
100 m		Potkávací	PD	12,30	1,79
			ZD	21,42	6,18
		Dálkové	PD	20,03	2,08
			ZD	41,65	9,18
Střední varianta (Var.č.8 PD)					
200 m		Potkávací	PD	9,68	2,28
			ZD	9,53	0,00
		Dálkové	PD	25,24	12,24
			ZD	22,55	6,03

100 m		Potkávací	PD	18,00	5,83
			ZD	17,04	3,60
		Dálkové	PD	44,23	10,30
			ZD	37,96	4,58
Nejhorší varianta (Var.č.2 PD)					
200 m		Potkávací	PD	9,11	0,00
			ZD	9,43	0,83
		Dálkové	PD	14,62	0,76
			ZD	22,84	3,95
100 m		Potkávací	PD	13,59	0,51
			ZD	13,95	1,27
		Dálkové	PD	28,24	0,44
			ZD	33,2	1,23

Výsledné hodnoty získané z provedených fotografií a vyhodnocené z jasových histogramů jsou pouze orientačními hodnotami. Výsledky jsou lehce ovlivnitelné vícerymi faktory při pořizování snímků. Jako například mírně pootočené figuríny, čím se mění odrazivost prvků, bočních rušivých světél, které mohou snímku zesvětlit, jako jsou projíždějící automobily, nebo mírně pozměněné pozadí snímky.

2.5 Laboratorní měření retroreflexních prvků, bundiček a doplňků

Druhé měření bylo provedené v laboratoři na katedře Textilních technologií v Liberci. Výsledkem jsou získané hodnoty v odvozených SI jednotkách jasů cd/m^2 . Měřilo se na figuríně v zatměné místnosti, na vzdálenost 5 m. Varianty byly měřeny za pomoci přístroje SpectroScan 740, který poskytuje vysokou flexibilitu s nejvyšší přesností naměřených údajů. Je to jediný přístroj ve své třídě, který dokáže naměřit zářivost, osvětlení, světelný tok, lumeny a zářivou intenzitu změnou příslušenství. Byl použitý vlastní světelný zdroj, kterým byla figurína osvětlená.

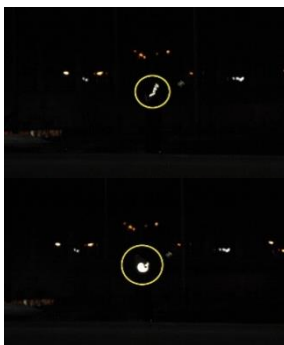
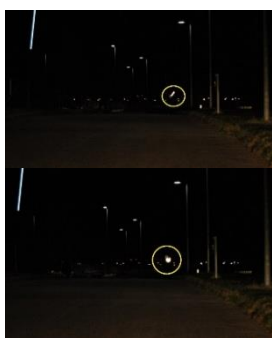
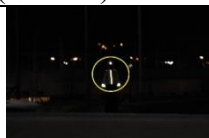
Tabulka 4: Výsledné hodnoty experimentu nejlepší, střední a nejhorší varianty

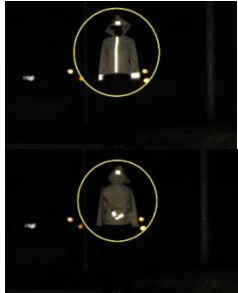
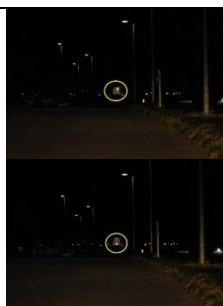
Číslo varianty	Foto-ukázka	Strana výrobku	Bod snímání / výsledné hodnoty (cd/m^2)
Nejlepší (Var.č.11)		PD	Podklad=68,84 Horní pruh=3070 Okolí ryby=3690 Dolní pruh=2622
		ZD	Podklad=69,24 Chvost ryby=3495
Střední (Var.č.3)		PD	Logo=3560 Pravý pruh=1699 Levý pruh=2693
		ZD	Zajíc=3226 Dolní pruh=3655
Nejhorší (Var.č.2)		PD	Logo=3560
		ZD	Malý proužek=3234 Veliký proužek=3655

2.6 Měření vyhodnocené formou dotazníku z pohledu „řidiče“

Třetí měření bylo provedeno začátkem dubna v terénu v Liberci v průmyslové zóně. Výsledkem jsou fotografie a hodnocení z dotazníků. Při měření se nacházeli dvě osoby, které zapisovali do vyhotoveného dotazníky své postřehy a hodnotili na stupnici od 0 do 4 vnímanou viditelnost výrobků. Přičemž 0 je hodnocení pro neviditelnou postavu a 4 je hodnocení pro výborně viditelnou postavu. Měření pak bylo vyhodnoceno zpracováním dotazníků, čímž jsme získali subjektivní pohled „řidiče“ a otestovali důležitý nezměřitelný faktor - vnímavost. Opět bylo nasimulováno 12 variant dětských bundiček a doplňků na vzdálenosti 50 a 100 m, při jasné obloze s pouličním osvětlením. Pozorovatel kromě číselného hodnocení, opisuje situaci, kterou má před sebou a pozoruje tzv. očima „řidiče“. Vnímá postavu jako celek a jestli ji identifikuje jako člověka. Také zaznamenává, kterou část oděvu zpozoroval okamžitě a která se mu ztrácí v rušivém okolí, pouličního osvětlení a jiných světel a odlesků.

Tabulka 5: Výsledné hodnoty experimentu nejlepší, střední a nejhorší varianty

Vzdálenost	Foto-ukázka u potkávacích světel	Typ světel	Strana výrobku	Číselné hodnocení	Slovný komentář
Nejlepší varianta (Var.č.11)					
100 m		Potkávací	PD	1	-patrně vidět prvky, pomáhá šikmé vedení doplňku
			ZD	2	-velká svítící tečka
		Dálkové	PD	4	-výborná viditelnost prvků
			ZD	4	-výborná viditelnost a rozeznatelnost vzoru ryby
PD bundy na 100 m u potkávacích světlech je patrně vidět, avšak pomáhá šikmé vedení proužku. ZD se jeví jako velká svítící tečka. U dálkových světel je viditelnost prvku výborná z PD i ZD. U ZD je dokonce vidět vzor velryby.					
50 m		Potkávací	PD	2	-dobře viditelné prvky, tvar pomáhá upoutat pozornost pozorovatele
			ZD	3	-veliká svítící tečka, která upoutá pozornost nespecifickým tvarem
		Dálkové	PD	4	-výborná viditelnost prvků
			ZD	4	-výborná viditelnost a rozeznatelnost vzoru ryby
U potkávacích světel je dobře vidět prvky na doplňku u ZD i PD. Jejich tvar poutá pozornost řidiče, čím napomáhá rozpoznání postavy na silnici. U dálkových světel je výborně vidět obě strany výrobků. Jasně viditelný tvar velryby.					
Střední varianta (Var.č.7)					
100 m		Potkávací	PD	0	-PD není vůbec vidět
			ZD	0	-ZD není vůbec vidět
		Dálkové	PD	1	-patrně vidět rukávy

			ZD	0	-ZD není vůbec vidět
Stejně jak u varianty č.6 tak i tady je pohled kritický. U potkávacích světél PD ani ZD není vidět vůbec. U dálkových světél je patrně vidět jenom PD bundy v oblastech rukávů. Umístěním na okraji rukávů je lépe projevový biomotion.					
50 m		Potkávací	PD	2	-je vidět rukávy a částečně zip, kapuci není vidět vůbec
			ZD	0	-ZD není vůbec vidět, spíš podkladový materiál
		Dálkové	PD	3	-je dobře vidět rukávy a zip, kapuce jen malá tečka
			ZD	1	-patrně vidět malé tečky, které se ztrácí v okolí
U potkávacích světél PD bundy je vidět částečně zip, kapuce vůbec vidět není a rukávy jsou jediné viditelné místa. Při dálkových světlech je PD vidět dobře. Opět je nejlépe vnímatelný biomotion, umístění prvku na konec rukávů. ZD se jeví jenom jako malé tečky co se ztrácí na pozadí.					
Nejhorší varianta (Var.č.1)					
100 m		Potkávací	PD	0	-PD není vůbec vidět
			ZD	0	-ZD není vůbec vidět
		Dálkové	PD	1	-slévá se s pozadím, stejný problém u všech pohledech
			ZD	1	-slabě viditelná tečka
Viditelnost bundy je kritická jak z PD tak i ZD. U potkávacích světél na vzdálenost 100 m není objekt vůbec vidět. U dálkových světél jsou prvky slabě viditelné jenom jako malé tečky, které se slévají s okolím. Přítomnost postavy není vůbec registrována.					
50 m		Potkávací	PD	0	-PD není vůbec vidět
			ZD	0	-ZD není vůbec vidět
		Dálkové	PD	2	-logo se slévá s prvkem na hrudi v jeden celek a působí jako malá tečka
			ZD	2	-viditelná tečka, která se ztrácí v pouličním osvětlení
U potkávacích světél na vzdálenost 50 m je vidět spíše podkladový materiál bundy jako samotné retroreflexní prvky. U dálkových světél PD bundy logo spolu s prvkem se slévají v celek a působí jako malá tečka. U ZD se také retroreflexní prvek ztrácí v okolí světél a pouličního osvětlení.					

Třetí provedený experiment nám ukázal, jak důležitou část při vyhodnocení nejvhodnější varianty bundy a doplňku sehrává lidský faktor - vnímavost. Přece jen automobil dosud řídí člověk a jeho schopnost včas zareagovat na překážku, závisí především na jeho schopnosti reakce.

2.7 Diskuze výsledků

Po navržnutí variant dětských bundiček a doplňků pro zvýšení viditelnosti a po jejich vyhotovení se provedli tři různé testování. Objektivní a relativně přesné měření bylo doplněno subjektivním hodnocením. Každé měření s malými odchylkami poukazuje na nejlepší a nejhorší změřenou variantu bundy a doplňku ze všech stran.. Po ekonomické stránce nejlépe

vyšli navrhnuté doplňky, které jsou praktické, lehké a flexibilní. Jsou buď součástí bundy nebo se lehce aplikují.

Ze všech provedených měření je zřejmé, že nejlepší výsledky má doplněk označený jako Var. č. 11 a 12 u ZD. U bundiček nejlépe vyšli Var. č. 7, č. 8 a č. 9. U bundičky Var. č. 10 se prokázala viditelnost vedením retroreflexních prvků kolem průramků a kolem obvodu kapuce ze všech stran jenom při kratších vzdálenostech na 50 m. U bundiček var. č. 7 a 8 jsou retroreflexní prvky vedené po celé délce rukávů nebo v místech kloubů. Potvrdilo se nám, že biomotion, umístění retroreflexních prvků v pohyblivých částech těla, má rychlejší reakce pozorovatelů- „řidiče“ než ty se statickým umístěním. Mezi nejhorší výsledky patřili Var. č. 1 a 2. Jsou to bundičky, které podle průzkumu představují současnou nabídku na trhu. Důvodem je nedostačující množství, velikost retroreflexního materiálu a statické umístění prvků. Pozorovatelům se ztrácí v pouličním osvětlení a okolí nebo nejsou vidět úplně. Nejvhodnější použitý podkladový materiál je šedý Dialpex nebo padákoviná, použitá u doplňků. Nejhorší je modrý Diaplex.

Kdybychom jsme měřili jenom za pomoci SpectroScanu v laboratoriu, nezískáme objektivní pohled na prvky, jak se chovají v terénu. Laboratorní testování nám ukáže jakou odrazivost má prvek a jaký jeho směr a velikost se jeví nejlépe, to však k objektivnímu zhodnocení bundiček nestačí. Provedené metody měření nejsou stoprocentně přesné. U každého měření se vyskytly faktory, které ovlivňují konečné hodnoty a výsledky. V terénu jsou to rušivé prvky kolem objektu. Nikdy nelze docílit stejné podmínky u všech měření. Vliv počasí, pouliční osvětlení, odlesky, natočení prvků při pohybu objektu, osvětlení od kolem jedoucích automobilů, časová náročnost při měření a podobně. U měření v laboratoriu jsou výsledky přesnější z důvodů odstranění rušivých faktorů. I přesto se ale mohou výsledky v malých odchylkách měnit. Můžeme říci, že výsledné hodnoty jsou orientační, a proto jsou doplněné i o subjektivní hodnocení u třetího typu měření. Odchylky v měření jsou akceptovatelné i z důvodů, že objekt je na silnici v pohybu a byly měřeny nasimulované reálné podmínky chování retroreflexních prvků v terénu.

Po provedených měřeních doporučujeme umístit retroreflexní prvky především v oblastech rukávů, a to šikmým směrem. Umístění na kapuci se neukázala jako nejvhodnější, avšak vhodně zvoleným obrazcem, např. šipkami na vrchu kapuce, mohou být efektní. Vedení retroreflexního materiálu po celé délce dílů napomáhá včasné reakce řidiče na objekt. Vyhýbat se statickým tvarům a umístěním, které se jeví jako tečky a splývají s pouličním osvětlením a nenapomáhají rozpoznání postavy na silnici. Množství retroreflexního materiálu na dětském oděvu by se mělo pohybovat od 20-37 % z celkové plochy. Na PD a ZD samostatně alespoň 15 % retroreflexního materiálu pro dostatečnou viditelnost a rozeznatelnost postavy na vzdálenost 100 a 200 m. Množství kolem 12 % a pod 10 % z viditelné plochy se jeví jako kritické. Postava není rozeznatelná a viditelná ani u použití dálkových světél u 100 a 200 m.

Viditelnostní podmínky, rušivé faktory nebo světla automobilů sehrávají u viditelnosti důležitou roli. To můžeme také vidět u provedených experimentů. Důležité je především docílit správnou viditelnost za všech podmínek, čím zvyšujeme bezpečnost dítěte na silnici.

3 Závěr

Cílem práce byla analýza dětského oděvu dostupného na trhu a možnosti zvýšení viditelnosti dětí na silnici za snížené viditelnosti a následně jeho otestování v terénu. V rešeršní části práce jsou shrnuty výsledky z průzkumu trhu dětského oděvu a analýzy možností měření a hodnocení viditelnosti retroreflexního a fluorescenčního materiálu v terénu, které jsou dohledány v odborné literatuře a dosavadních provedených výzkumech. Rešerše poukazuje na fakt, že je téma práce aktuální. Autoři se stále snaží o objektivní vyhodnocení používaných retroreflexních prvků, jejich vývoj a co nejefektivnější použití pro docílení správné viditelnosti objektu na silnici a zvýšení jeho bezpečnosti. Navzdory dlouhodobého zkoumání

dané problematiky není jasně definováno, jak změřit a vyhodnotit co nejobektivněji retroreflexní materiály. V zájmu zkoumání jsou cyklisté, kterých oděv je v současné době jasně definován. Avšak problematice chodců, a hlavně dětí jsou definice matoucí a nepřesné. Praktická část práce se věnuje návrhům a realizacím vlastních testovacích metod měření viditelnosti, abychom získali co nejpřesnější výsledky a doporučili nejvhodnější množství, velikost, směr, umístění, plochu a tvar retroreflexního a fluorescenčního materiálu na dětském oděvu.

Závěry vyplývající z diplomové práce jsou následující:

- Navržením variant dětských bundiček a doplňků, jejich realizací a následném otestování v terénu prokázalo, která varianta je pro správnou viditelnost nejvhodnější a naopak nedostačující.
- Navržené inovované metody testování retroreflexe dětského oděvu prokázali získání nejobektivnějších výsledků. Za jejich pomoci jsme definovali potřebné množství retroreflexního a fluorescenčního materiálu pro dětský oděv. Množství retroreflexního materiálu na dětském oděvu by se mělo pohybovat od 20-37% z celkové plochy.
- Byl potvrzen vliv rušivých faktorů na výsledky provedených měření. Jak ovlivňují chování retroreflexních prvků za pomoci simulace reálných podmínek na silnici. Bylo prokázáno, že mnoho prvků ztrácí svou funkci nesprávným umístěním a tvarem na oděvu.
- Výsledkem práce je nová metodika, která umožňuje získat nejobektivnější hodnocení měřených prvků. Výsledkem je stanovení potřebného podílu retroreflexního a fluorescenčního materiálu na dětské bundičce pro správnou viditelnost a pro rychlou reakci řidiče, v případě výskytu dítěte na silnici.
- Podařilo se stanovit a doporučit nejvhodnější umístění, tvar, směr a velikost retroreflexního prvku na dětském oděvu.

Předložená práce řeší problém definování správného použití fluorescenčního a retroreflexního materiálu, prvků pro dětské bundy a doplňků, pro správnou viditelnost dítěte na silnici za snížené viditelnosti.

Literatura

- [1] Každý pátý řidič špatně vidí a neví o tom, varuje kampaň. *Doprava logistika*. [Online] 22. 5 2017. [Citace: 16. 8 2017.] <https://www.dlprofi.cz/33/vlada-schvalila-novelu-silnicniho-zakona-zavadi-reflexni-prvky-u-chodcu-uniqueidgOkE4NvrWuMEMvw3uZDmFrYz2ly2AgWEIJR9Hs5aM2Y>
- [2] KWAN, I., MAPSTONE, J. Visibility aids for pedestrians and cyclists: A systematic review of randomised controlled trials. *Accident Analysis & Prevention* 36. *Researchgate*. [Online] 2014. [Citace: 16. 8 2017.] https://www.researchgate.net/publication/7487486_Visibility_aids_for_pedestrians_and_cyclists_A_systematic_review_of_randomised_controlled_trials
- [3] Chodec. *ibesip*. [Online] 2018. [Citace: 16. 8 2017.] <http://www.ibesip.cz/cz/chodec>
- [4] Zákon o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů. *Zmeny zákonu*. [Online] 14. 4 2000. [Citace: 16. 08 2017.] <http://www.zmenyzakonu.cz/zakon.aspx?id=32710>
- [5] Reflexní oděvy pro profesionální uživatele. *Pro-job*. [Online] 2009. [Citace: 16. 8 2017.] <http://www.pro-job.cz/bezpecnostni-odevy-a-norma-en-471>
- [6] *The conspicuity of pedestrians at night: a review*. TYRRELL, R., WOOD, J., OWENS, A., BORZENDOWSKI, S., SEWALL, A. 12447, USA : Clinical and experimental, 2016. ISSN 425- 434.

APLIKACE ANTIMIKROBIÁLNÍCH ÚPRAV NA VLNĚNÉ PŘÍZE PRO VÝROBU KOBERCŮ JAKO NÁSTROJ INOVATIVNÍHO MARKETINGU PRO FIRMU DANSPIN

Lazarová Monika, Bc.

Sekce - TEXTIL,

Fakulta textilní, 2. ročník

Navazující magisterský studijní program – PRŮMYSLOVÉ INŽENÝRSTVÍ

Abstrakt: Diplomová práce se zabývá aplikací antimikrobiální úpravy na vlněné příze. Cílem je vyrobit prototyp vlněného koberce, který bude sloužit jako nástroj inovativního marketingu pro firmu Danspin. Experimentální část se zabývá testováním tří antimikrobiálních produktů, výběrem toho nejvhodnějšího a zvolení nejnižší účinné koncentrace. V rámci přípravy strategie uvedení nového produktu na trh, byl vytvořen návrh informačních a propagačních materiálů, které budou sloužit k propagaci antimikrobiálního produktu v kombinaci s úpravou odolnou vůči vodě a mokré špíně. V závěrečné fázi je doporučena vhodná receptura produktů pro provozní ověření ve výrobě.

Klíčová slova: Antimikrobiální úprava, inovativní marketing, vlněný koberec, bakterie, informační a propagační materiály.

1 Úvod

Textilní materiály jsou častým přenašečem chorob a proto počet funkčních textilií s antimikrobiální úpravou v posledních deseti letech značně vzrostl. Antimikrobiální látky jsou přírodní nebo syntetické sloučeniny, které buď zamezují růstu mikroorganismů (bakteriostatické), nebo je zcela likvidují (bakteriocidní). Poptávka po takto upravených textiliích není pouze ve zdravotnických zařízeních a prostorách, kde se pacienti zotavují, ale také jednotlivci samotní se více zajímají o funkčnost a původ svých oděvů a textilií. Původní myšlenkou bylo využít koberce v nemocničních a lázeňských zařízeních, kde koberec svou pohodlností bude zpříjemňovat pobyt pacientům, nebo pro mateřské školky, kde tento typ koberce bude vhodným místem pro hraní malých dětí. Nicméně produkt tohoto typu se může stát zajímavým artiklem také pro uživatele trpící alergií, astmatem, nebo pro domácnosti, kde se vyskytují nejen malé děti, ale i domácí mazlíčci.

Vlněné koberce je pohodlné, trvanlivé a mají dobré termoizolační vlastnosti. Pružností materiálu je zaručeno, že se koberec nezploští, vlákna se opět napřímí a koberec vypadá jako nový. Právě v domácím prostředí a v kobercích samotných se nejčastěji (v menší či větší míře) vyskytují kožní deriváty a tkáňové útvary tvořené keratinem (vlasy, chlupy, kůže,...), zbytky jídel, prach a další. Takové prostředí je ideálním místem pro množení mikroorganismů, parazitů a molů, které mohou způsobovat podráždění kůže a alergie.

2 Experimentální část

Experimentální část byla rozdělena na 5 experimentů, které se zabývají výběrem vhodného antimikrobiálního produktu a zvolení nejnižší účinné koncentrace, která byla testována v laboratoři Katedry chemie TUL, a taktéž v laboratoři firmy Rudolf Group v Německu. Výstupem této části je návrh technologického procesu pro provozní ověření ve výrobě.

1.1 První část experimentu – Mléčný test

První část byla zaměřena na vybrání vhodného antimikrobiálního produktu a testování pomocí Mléčného testu. Firmou Danspin byly dodány 3 vzorky vlněných přízí:

- 100% vlněné příze,
- směs 80 % vlna/20 % polyamid,
- 99,7 % vlna/0,3 % kovové vlákno.

Taktéž byla zakoupena běžně dostupná 100% vlněná příze, aby bylo ověřeno, že úpravy jsou kompatibilní taktéž s výrobky běžně dostupnými na trhu, které nepochází z výroby společnosti Danspin. Německou firmou Rudolf Group byly dodány 3 antimikrobiální produkty:

- RUCO-BAC AGP (s prvky stříbra),
- RUCO-BAC ZPY (Pyrithion zinku),
- RUCO-BAC HSA CONC (kvartérní amoniové sloučeniny).

Mléčný test potvrdil, že všechny tři produkty firmy Rudolf Group vykazují antimikrobiální vlastnosti a dají se aplikovat na vlněné vlákno. Z výše zmíněných produktů byl jako nejvhodnější vybrán RUCO-BAG HSA CONC, který je kompatibilní s vlněným materiálem, a je taktéž protiroztočový (dle produktového listu). Odběratelé firmy Danspin jsou též skandinávské společnosti, které odmítají produkty, ve kterých se (i v malé míře) objevují jakékoliv kovy. Ze tří zkoumaných výrobků tuto funkci splňuje pouze RUCO-BAG HSA CONC, který má taktéž již zmíněné protiroztočové účinky, které uživatelé ve spojení s vlněným kobercem jistě uvítají.



Obrázek 1: Detail standardizovaných (neupravených) vzorků s mléčnou bakterií

1.2 Druhá část experimentu – Blue Test

Druhá část experimentu se zaměřila na testování míry aplikované koncentrace výše zmíněného produktu. Byly vybrány dvě vlněné příze: 100 % vlněná příze; směs 80 % vlna/ 20 % polyamid), na které se aplikovali 3 koncentrace produktu RUCO-BAC HSA CONC: 1 %, 1,5 % a 2 %. Jejich aplikace byla testována pomocí Blue Testu, který reaguje na kationaktivní látky modrým obarvením. Jedná se o stejné látky, které jsou obsaženy v produktu RUCO-BAC HSA CONC. Na základě výsledků testování bylo zjištěno, že testem není možné učit rozdíl mezi různě koncentrovanými vzorky, ale pouze přítomnost kationaktivního produktu na vlněné přízi.

1.3 Třetí část experimentu – testování vlivu koncentrací v laboratoři Katedry chemie TUL

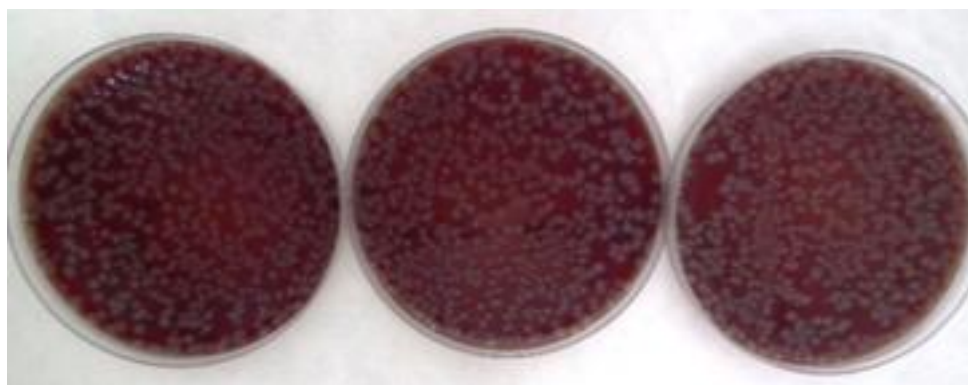
Následoval třetí experiment, dle normy ČSN EN ISO 20645 – Plošné textilie – Zjišťování antibakteriální aktivity – Zkouška šíření agarovou destičkou, který probíhal ve spolupráci s Katedrou chemie na TUL. Pro toto testování byly použity dva patogenní kmeny *Escherichia coli* a *Staphylococcus aureus*, a 8 vzorků (2 typy příze třech různých koncentrací a 2 standardizované vzorky). Dle výsledků testování obou testovaných bakteriálních kmenů, nebyla u žádného z testovaných vzorků zjištěna inhibiční zóna (ani její náznak). Podle tabulky hodnocení výsledků (dle ČSN EN ISO 20645) lze konstatovat, že všechny testované vzorky mají dle použité metodiky nedostatečný antibakteriální efekt. Pro ověření výsledků byla též zařazena testovací metoda AATCC 147, která zjistila, že 4 ze vzorků vykazují antimikrobiální účinnost. Dalším provedeným testováním dle metody AATCC 100, bylo u vzorků s RUCO-BAC HSA CONC 2 % zjištěna antimikrobiální aktivitu na bakteriální kmen *Staphylococcus aureus*. V porovnání se standardizovaným vzorkem zde došlo k 99,9% inhibici. Tyto výsledky byly následně ověřovány v laboratoři firmy Rudolf Group.

Tabulka 1: Vyhodnocení testování dle normy ČSN EN ISO 20645

Vyhodnocení testování dle ČSN EN ISO 20645	vzorek č.	1.	2.	3.	4.
	100% vlněná příze	neupravený vzorek	1%	1,5%	2%
	Escherichia coli	0 halo zóna	0 halo zóna	0 halo zóna	0 halo zóna
	Staphylococcus aureus	0 halo zóna	0 halo zóna	0 halo zóna 20 % inhibice v kontaktu	0 halo zóna 70 % inhibice v kontaktu
	vzorek č.	5.	6.	7.	8.
	80 % vlna/ 20 % polyamid	neupravený vzorek	1%	1,5%	2%
	Escherichia coli	0 halo zóna	0 halo zóna	0 halo zóna	0 halo zóna
	Staphylococcus aureus	0 halo zóna	0 halo zóna	0 halo zóna 90 % inhibice v kontaktu	0 halo zóna 80 % inhibice v kontaktu

Tabulka 2: Vyhodnocení testování dle metody AATCC 100

Vyhodnocení testování dle metody AATCC 100 - triplety	vzorek č.	1.	2.	3.	4.
	100% vlněná příze	neupravený vzorek	1%	1,5%	2%
	Escherichia coli	kompaktní výsev	kompaktní výsev	kompaktní výsev	kompaktní výsev
	Staphylococcus aureus	kompaktní výsev	kompaktní výsev	kompaktní výsev	kompaktní výsev
	vzorek č.	5.	6.	7.	8.
	80 % vlna/ 20 % polyamid	neupravený vzorek	1%	1,5%	2%
	Escherichia coli	kompaktní výsev	kompaktní výsev	kompaktní výsev	kompaktní výsev
	Staphylococcus aureus	kompaktní výsev	kompaktní výsev	kompaktní výsev	Ø cca 700 kolonií



Obrázek 2: Počítatelné jednotlivé bakteriální kolonie

1.4 Čtvrtá část experimentu – testování receptur v laboratoři firmy Rudolf Group

Na základě informací z dotazníkového šetření, které bylo součástí diplomové práce, se firma Danspin se rozhodla navýšit svůj požadavek o úpravu nešpinavou. Ta byla respondenty zvolena jako úprava, kterou by nejvíce uvítali. Firma Rudolf Group byla požádána o doporučení produktů, které vykazují vlastnosti odolné vůči vodě a mokré špíně. Byly doporučeny 4 produkty:

- RUCO-GUARD AFT6 - C6-fluorokarbonová pryskyřice, PFOA a PFOS free,
- RUCO-FLOOR SIO-FL - kationické organokřemičitany používané pro stabilizaci koberců a jiných vlasových povrchů,
- RUCO-FIL EPF 3352 - vodný přípravek na bázi vysoce rozvětvených polymerů v uhlovodíkové matici a C6 fluoropolymery, PFOA, PFOS a APEO free,
- RUCO-DRY DHN - přípravek na bázi vysoce rozvětvených polymerů v uhlovodíkové matici.

Kombinace několika produktů byla testována v německé laboratoři společnosti Rudolf Group, podle obvyklých norem a metod:

- ISO 20645:2004,
- modifikovaná metoda Spray Test AATCC 22/ ISO 4290,
- Oil repellency AATCC 118,
- AATCC 193 water and alkohol repellency,
- Repellency to Dry Soiling 3M Test.

Na základě výsledků z testování byl produkt RUCO-GUARD AFT6 zvolen, jako nejvíce vyhovující.

Tabulka 3: Výsledky testování v laboratoři firmy Rudolf Group

Testovací metody	1A 100% vlna	1B 80 % vlna/ 20 % polyamid
RUCO-GUARD AFT6	6.0%	6.0%
RUCO-BAC HSA CONC	1,5%	1,5%
ISO 20645:2004(E) method: • Staphylococcus aureus (ATCC 6538) • Escherichia coli (ATCC11229)	žádná zóna inhibice pod vzorkem a v jeho okolí [mm]	žádná zóna inhibice pod vzorkem a v jeho okolí [mm]
Spray Test AATCC 22/ ISO 4290	80	80
Oil repellency AATCC 118	0	2
CibaDu pont test AATCC 193 water and alkohol repellency	5	5
Repellency to Dry Soiling 3M Test	2-3	2-3
Shrnutí	Vyhovuje	Vyhovuje

1.5 Pátá část experimentu – Blue Test v laboratoři Rudolf Group

Pátá část experimentu ověřovala přítomnost kationaktivních látek pomocí metody Blue Test. Test probíhal v laboratoři firmy Rudolf Group. Rozdílný výsledek oproti testování na Katedře chemie TUL, byl pravděpodobně způsoben neshodným vzorkem BPB, případně rozdílným procesem aplikace finální úpravy (v laboratoři TUL v kádince s ručním mícháním; v laboratoři Rudolf Group na laboratorním cirkulačním aparátu).



Obrázek 3: Vzorky upravené a neupravené příze – Blue Test

3 Návrh informačních a propagačních podkladů

V rámci strategie uvedení produktu na trh bylo cílem vytvořit materiály, které budou sloužit k propagaci produktu vykazujícího trojitý ochranný efekt. Firma Rudolf Group poskytla antimikrobiální a hydrofobní produkty pro experimentální část. Jelikož je dodavatelem těchto produktů, tak budou materiály navrženy v rámci korporátního designu této firmy. Nicméně návrhy budou taktéž konzultovány s firmou Danspin..

1.6 Myšlenková mapa

V první fázi tvorby loga nového produktu, byly myšlenky a asociace zpracovány do myšlenkové mapy, která byla nejdříve rozdělena na několik základních částí a jedna z těchto částí byla detailněji větvena/rozpracována. Pozornost byla zaměřena na fakt, že produkt RUCO-BAS HSA CONC vykazuje vlastnosti antimikrobiální a protiroztočové, a v kombinaci s produktem RUCO-GUARD AFT6 taktéž vlastnosti odolné vůči vodě a mokré špíně. Z myšlenkové mapy byly vybrány 4 hlavní myšlenky, které byly zakomponovány do nového loga produktu. Jelikož se jedná o produkt, který je: antimikrobiální, protiroztočový a odolný vůči vodě a mokré špíně – jakési 3 v 1, tedy tři vlastnosti v jednom produktu, tak se i tato myšlenka se objevila v konečných návrzích. Mezi další myšlenky patřila např. ochrana → ochranný štít → tvrdá kůže → hroší kůže → pásovec.

1.7 Tvorba loga nového produktu

V první části tvorby loga bylo vytvořeno 9 návrhů. Logo Rudolf Group je složeno ze dvou barev, z tmavě modré a okrově žluté, které se objevují ve většině návrzích. Loga byla konzultována s partnerskými společnostmi. Následné připomínky byly přijaty, a na jejich základě byly vytvořena další 3 loga. Název „TRIPLE SHIELD“ (trojitý štít), vznikl právě spojením tří úprav, které slouží k ochraně textilního materiálu. Na obrázcích níže jsou 2 loga, která se dostala do finálního výběru. Firma Danspin, upřednostňuje logo se štítem a firma Rudolf Group návrhy konzultuje s pověřenými osobami (očekává se jejich brzké vyjádření). V této fázi zatím není jasné, které z těchto log začne firma využívat pro účely propagace nového typu produktu.



(a)

(b)

Obrázek 1: (a) Logo - Pásovec, (b) Logo – Trojitý štít

1.8 Ostatní informační a marketingové podklady

Cílem této části bylo připravit návrhy propagačních materiálů. Byly vytvořeny návrhy pro dvě formy využití. Tištěné materiály slouží k propagaci na veletrzích, při osobním prodeji atd. Nicméně v dnešní době IT technologií a sociálních médií, je nutné být velmi aktivní taktéž na internetu a na sociálních sítích, tudíž byly vytvořeny materiály i pro tyto účely.

Tištěné:

- logo nového produktu,
- prospekt (A4),
- vizitka pro obchodní zástupce,
- propagační brožura (třístranná – tri-fold).

On-line:

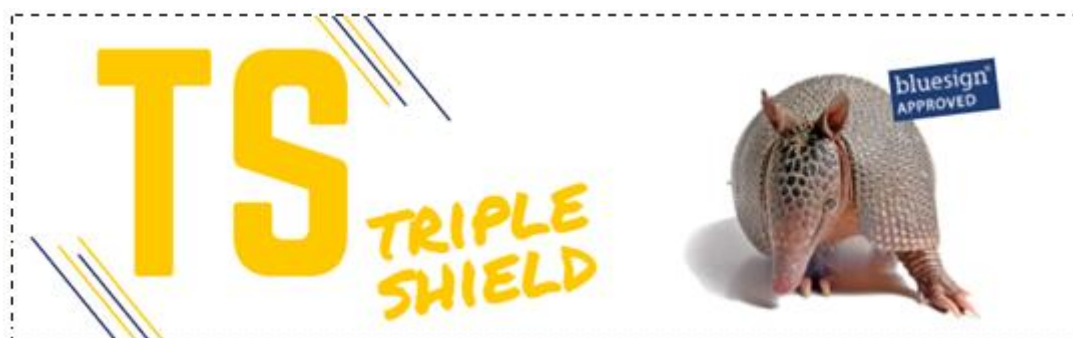
- banner pro LinkedIn,
- hlavička emailu,
- úvodní fotka na Facebook.

Ve většině návrhů dominují dvě barvy, okrově žlutá barva Galliano #D7A22A a modrá barva Sapphire #0d2b56. Tyto barvy byly zvoleny z důvodu zachování korporátního designu firmy Rudolf Group. Z myšlenkové mapy bylo vybráno několik hlavních myšlenek, které jsou zakomponovány v návrzích:

Hlavní myšlenky:

- úprava antimikrobiální, protiroztočová a odolná vůči vodě a mokré špíně - 3 v 1
- pásovec (ochrana – tvrdá kůže)
- trojitý ochranný štít (3 úpravy)

Použité fonty: NORWESTER, Montserrat, Cooper Hewitt, Abril Fatface, CINZEL, Limelight.



Obrázek 4: Banner pro sociální média



Obrázek 5: Vizitka pro obchodního zástupce

ABOUT

Triple effect: bacteriostatic, hydrophobic and anti-dust mite protective finish for textile.

The formation of a passive bacteriostatic protective shield with combination of hydrophobic and anti-dust mite finish protects textiles actively from bacterial and dust mites attacks, and it's also resistant to the wet dirt.

EPA®-registered
Oeko-Tex-listed
bluesign® approval




CONTACT US

Altwaterstraße 58 - 64
82538 Geretsried
GERMANY

Tel: +49 8171/53-0
Fax: +49 8171/53-191

E-mail: rudolf@rudolf.de
Website: www.rudolf.de

TS



TRIPLE SHIELD



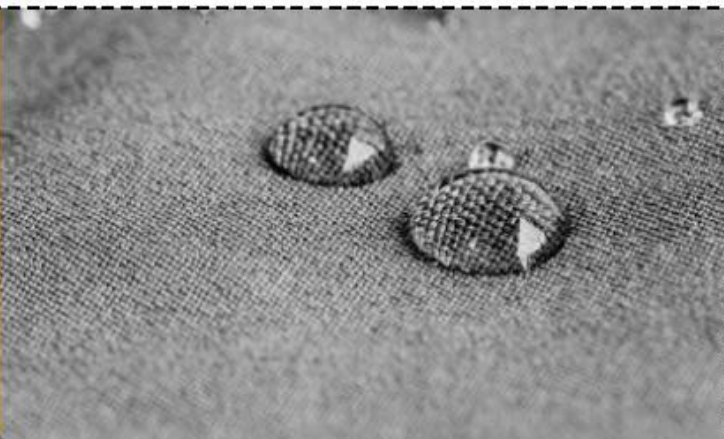


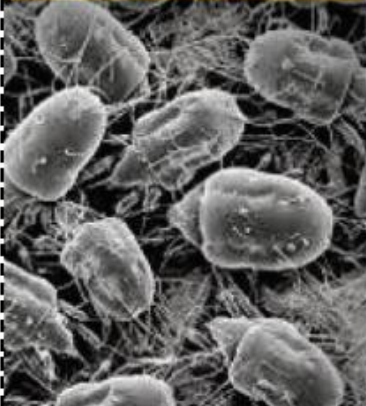




NEW BACTERIOSTATIC, HYDROPHOBIC AND ANTI-DUST MITE PROTECTION FOR TEXTILES

TRIPLE SHIELD





®RUCO-BAC HSA CONC

Bacteriocidal and slightly fungicidal properties for the protection of the textile; non-migrating, antimicrobial effects; interrupts the food chain of dust mites.

®RUCO-GUARD AFT6

Ecologically optimised agent for the water, oil and soil repellent finishing of carpets. C6 fluorocarbon resin PFOA and PFOS free.

TRIPLE SHIELD

With RUCO-BAC HSA CONC the RUDOLF-GROUP offers a further developed, non-migrating hygiene technology for textiles. Combined with RUCO-GUARD AFT6 delivers a further function as is hydrophobic protection.



Obrázek 6 : Propagační brožura - žlutá

4 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo použít antimikrobiální produkt aplikovaný na vlněnou přízi jako nástroj inovativního marketingu pro firmu Danspin, zabývající se výrobou a prodejem vlněných přízí. Teoretická metodologie zavádění inovativního marketingu uvádí, že vývoj nového produktu běžně prochází několika fázemi (viz *Kotler & Trias de Bes* [1]). V rámci této diplomové práce bylo postupováno podle následujících kroků: na počátku byl vznik myšlenky; následovala analýza segmentace produktu a trhu, na základě výstupů a rešerše odborného tématu byla navržena koncepce, která byla prověřena testováním (viz výše). V rámci finanční analýzy můžeme říct, že po aplikaci produktu RUCO-BAC HSA CONC a RUCO-GUARD AFT6 dojde k navýšení ceny příze o cca 15 %. Skutečná cena koberce se odvíjí od nákladů výrobce koberců, jenž nejsou známy. Z otestované koncepce byl výstup receptura, která byla doporučena společnosti Danspin a nyní se čeká na vývoj prototypu, který bude následně testován.

Finální zvolená receptura doporučená společností Danspin je receptura 1A (viz tabulka 3), ze které bude vyroben prototyp koberce z 100% vlněné příze. U produktu RUCO-GUARD AFT6 zůstane koncentrace stejná (6 %), u produktu RUCO-BAC HSA CONC se doporučuje navýšení koncentrace na 2 %. Produktový list firmy Rudolf Group garantuje, že materiál s koncentrací vyšší než 1 % RUCO-BAC HSA CONC může deklarovat protiroztočový účinek. Jelikož ale pracujeme s vlněným materiálem, tak je vzhledem k morfologii vlněného vlákna a jeho afinitě, se běžně doporučuje dvojnásobné množství aplikovaného produktu.

Výstupem experimentální části je technologický předpis, který slouží pro provozní ověření ve výrobě. Doporučení pro firmu Danspin je pro výrobu prototypu koberce nasadit do výroby recepturu RUCO-GUARD AFT6 6 % a navýšenou koncentraci produktu RUCO-BAC HSA CONC 2 %.

Tato práce by se dále mohla rozvíjet zkoumáním a testováním trvanlivosti/stálosti produktů aplikované úpravy vůči šamponování, návrhem aplikace produktů na koberec vyrobený z jiného textilního materiálu (např. polyester, polyamid atd.) nebo jiným účelem použití mimo kobercový sektor. Taktéž rozšířením úprav i na jiné vlnářské textilie jako jsou např. potahové látky.

Tabulka 4: Technologický předpis pro provozní ověření ve výrobě

Produkt/ operace	Množství	Jednotky
<u>Předúprava:</u>	-	-
RUCOGEN FWK – mýdlo	1	g/l
Opracování 20 min při 40 °C	-	-
Teplé a studené opláchnutí, výpust	-	-
<u>Předpírka:</u>	-	-
RUCO-TEX NKS 150 – mýdlo	2	g/l
Opracování 30 min při 50 °C	-	-
Teplé a studené opláchnutí, výpust	-	-
<u>Neutralizace:</u>	-	-
RUCO-ACID ABS 200 – neutralizační prostředek zajišťující kyselé pH	1	g/l
Opracování 10 min při 40 °C	-	-
Výpust	-	-
<u>Finální úprava:</u>	-	-
RUCO-BAC HSA CONC	6	%
RUCO-GUARD AFT6	2	%
RUCO-ACID ABS 200 na pH hodnotu 5-6	1	g/l
Opracování 20 min při 40 °C	-	-
Výpust	-	-
Sušení 30 min při teplotě do 100 °C	-	-

5 Literatura

- [1] KOTLER, P. a TRIAS DE BES, F. *Inovativní marketing. Jak kreativním myšlením vítězit u zákazníků*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2005. ISBN 80-247-0921-X.

Funkčnost bariérových textilií po simulovaném kombinovaném cyklickém namáhání

Bc. Mádlová Jana

Sekce - TEXTIL,
Fakulta textilní, 2. ročník
Magisterský studijní program – ODĚVNÍ TECHNOLOGIE

Abstrakt: V diplomové práci se zkoumá funkčnost bariérových textilií po simulovaném kombinovaném namáhání. K řešení dané problematiky bylo využito metody dutého válce (dle ČSN 82 0871), která běžně slouží pro oděvní materiály. Byl zkonstruován prototyp zařízení M1 a sestavena metodika práce s ním. Podstatou práce bylo zkoumání poklesu výšky vodního sloupce a propustnosti vodních par v závislosti na počtu deformačních cyklů u bariérových materiálů. Závěr práce spočívá ve vyhodnocení degradace materiálů dle mikroskopické analýzy. Přínosem práce je vznik nového zařízení pro simulaci cyklického mačkání M1. Zařízení M1 obstálo vysokému počtu deformačních cyklů a byla ověřena jeho funkčnost.

Klíčová slova: *bariérové materiály, kombinované cyklické namáhání, metoda dutého válce, vodní sloupec, mačkavost*

Úvod

Vlastnosti bariérových materiálů se po určitém čase mohou zhoršovat, a to z důvodu jejich častého namáhání vlivem nošení, kdy na výrobek působí hned několik faktorů: mechanické namáhání, pocení, špinění, klimatické podmínky, UV záření či údržba a další. Tito činitelé mají vliv na funkčnost produktu a výrobci se snaží otestovat materiál, aby zkouška co nejvíce odpovídala zatěžování v průběhu funkčního období. Při testech simulují např. klimatické podmínky (děšť, vítr), fyzickou zátěž (jízda na kole, běh) či mechanické poničení.

1 Charakteristika a přehled bariérových materiálů dostupných na českém trhu

Rešeršní část diplomové práce řeší charakteristiku a přehled bariérových materiálů dostupných na českém trhu. Dále pak shrnuje rozdělení bariérových textilií pro outdoorové oděvy, charakteristiku a druhy používaných membrán a jejich rozdělení na mikroporézní a hydrofilní. Shrnuje současné metodiky testování bariérových textilií a outdoorových výrobků s ohledem na snahu výrobců vytvořit testy a klimatické podmínky, které by co nejvíce připomínaly cyklické zatěžování v průběhu nošení.

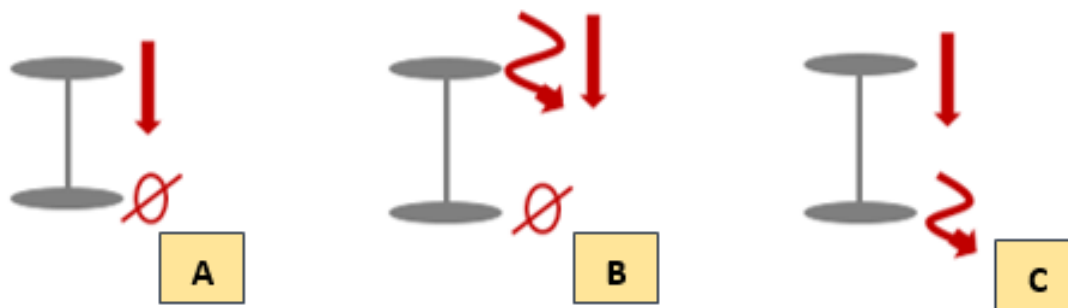
2 Přehled zařízení pro deformaci povrstvených, kožených a jiných materiálů

V současné době je na trhu široká škála přístrojů, které cyklicky deformují materiály a simulují namáhání v průběhu životního cyklu, a to např.: Cold Flex temperature tester Model 46-12, Gelbo flex test, CrumpleFlex Tester TF117C nebo XHF-44 C Fabric CrumpleFles Tester, Schildknecht flex tester TF11B, Fles Durability ASTM F392, Combination Flex Tester. Zařízení se využívají pro pryž, gumu, kůži, syntetiku, elastomery a další a vycházejí z norem pro tyto materiály. Podstatou testu je opakovaně zakroutit nebo stlačit materiál, také může docházet ke kombinaci těchto deformací.

2.1 Shrnutí poznatků a porovnání metod pro stanovení odolnosti vůči cyklické deformaci textilií

Přístroje na testování cyklické deformace pracují nejčastěji třemi způsoby :

1. Přímý pohyb horní hlavice s nečinností spodní hlavice (horní hlavice se pohybuje přímo – nahoru a dolů, spodní hlavice je neaktivní), Obrázek 1 A.
2. Přímý a točivý pohyb horní hlavice s nečinností spodní hlavice (horní hlavice se pohybuje přímo – nahoru a dolů, zároveň se točí, tím dochází k zakroucení materiálu, spodní hlavice je neaktivní), Obrázek 1 B.
3. Třetím způsobem je přímý pohyb horní hlavice a točivá spodní hlavice (horní hlavice se pohybuje přímo – nahoru a dolů, spodní hlavice se točí, dochází tak k zakroucení), Obrázek 1 C.



Obrázek 1 – Schémata práce přístrojů pro testování cyklické deformace

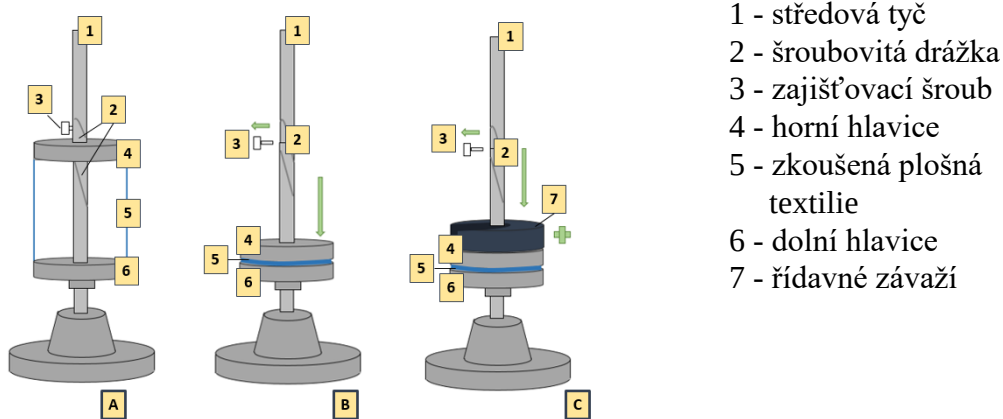
Přístroje pro testování cyklické deformace mohou, mít horizontální či vertikální konstrukci a rozsah zakroucení je nejčastěji 90° nebo 440°. Maximální velikost použitých vzorků je 200 mm x 280 mm. Pohyb horní hlavice může mít dvě konečné polohy (Gelbo Flex Tester Model G0002) nebo jednu polohu (CroumpleFlex tester TF 117C). Počet cyklů za minutu je v rozsahu od 45 do 500 v závislosti na motoru zařízení a konstrukci přístroje.

Vzorek je vždy namáhán na požadovaný počet cyklů, který se nastaví pomocí elektronického displeje, ten zároveň v průběhu testu zobrazuje již vykonaný počet cyklů. Např. zařízení Croumple Flex Tester Model SDL 262 má maximálně 9 000 pracovních cyklů. Mezi výhody některých přístrojů patří i možnost testování více vzorků současně (např. Schildknecht flex Tester TF117B, Flex Durability Tester ASTM F392). Některé mají ochranný kryt z plexiskla, který překryje pracovní část a dojde k zamezení možnosti zranění pracovníka. Celková konstrukce je z kovu, což zapříčiňuje hmotnost okolo cca 60 kg (CroumpleFlex tester TF 117C) až 80 kg. Rozměry se pohybují zhruba kolem 570 mm x 390 mm x 420 mm (CroumpleFlex tester TF 117C). Zařízení pro testování cyklické deformace textilií mohou být umístěny do mrazové komory.

Zařízení pro testování cyklického namáhání materiálů se využívají pro usně, vinylové materiály, pryže, elastomer, netkané materiály a zkoumá se jejich odolnost vůči např. mechanickému poškození (vznik trhlin). Není uváděno, že by se běžně používaly pro textilie a vycházejí z norem pro stanovení odolnosti proti poškození pro pružné, plastové, gumové materiály, či tkaniny potažené pryží nebo plasty.

Pro oděvní materiály – pleteniny a tkaniny se běžně používá statická metoda dutého válce dle normy ČSN 80 0871. *Stanovení mačkovitosti pomocí dutého válce*. Ruční přístroj pro metodu

dutého válce se skládá ze dvou hlavice (horní a dolní) mezi které se upne vzorek (Obrázek 2 A), jehož kratší strany jsou sešity pomocnými stehy, a tak vznikne tvar dutého válce. Ručně dojde k uvolnění pojistky/šroubu a vzorek materiálu je pomocí gravitace stlačen horní hlavicí. Jedná se o statickou deformaci. Pokud dojde k jeho uvolnění, nastává posun horní hlavice směrem ke spodní (stlačení materiálu) a zároveň zakroucení materiálu o 180° (Obrázek 2 B), zakroucení vzniká pomocí vodící drážky (drážka je ve středové tyči). Míra stlačení se dá upravit pomocí různé hmotnosti, (Obrázek 2 C) přídavného závaží na horní hlavici. Vzorek je stlačen a zatížen podle druhu materiálu a následně sejmut, rozpárán pomocný šev a nastává relaxace, zotavení a porovnání s 3D etalonem. Zkoumá se odolnost proti tvoření skladů vlivem působení zatížení. K testování se využívá např. zařízení Wrinkle recovery tester (dutý válec). [1]



Obrázek 2 – Náčrt zařízení pro metodu dutého válce

Vhodná zkouška pro bariérové textilie by nejvíce měla připomínat namáhání materiálu v průběhu nošení. Během funkčního období oděvu dochází k časté mechanické deformaci, která se může projevit mačkovostí, prostorovou deformací.

Metoda dutého válce by se po určité úpravě dala aplikovat i na bariérové textilie, nicméně je potřeba tento princip mechanizovat a dostáhnout tak, co největšího počtu stále se opakujících deformačních cyklů na bariérový materiál, aby se jednalo o dynamické namáhání. Protože samotná statická deformace ručního zařízení metody dutého válce se málo přibližuje zatěžování v průběhu životního cyklu oděvu. Ideálním případem by bylo navrhnout nové zařízení vycházející z metody dutého válce.

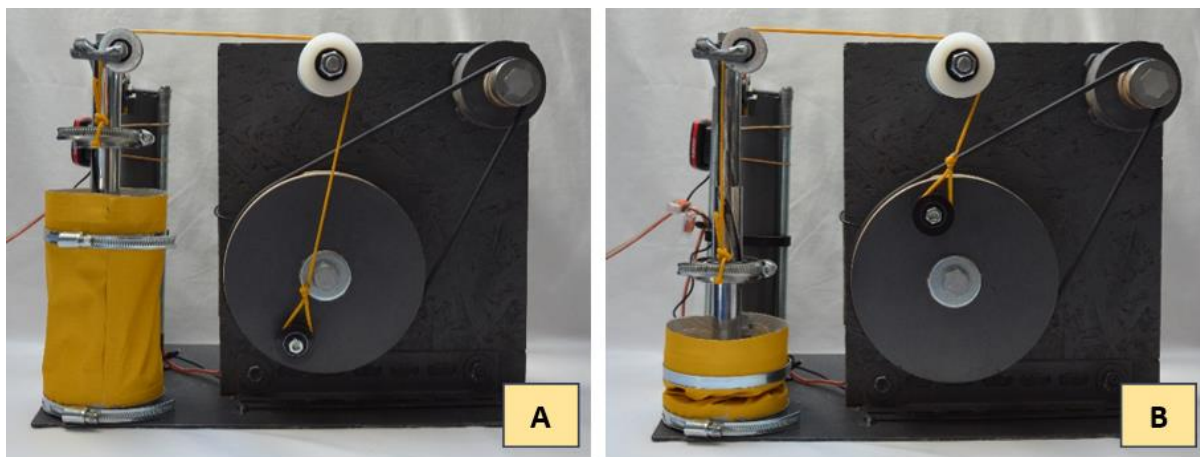
3 Experimentální část

Vlastnosti bariérového materiálu se mohou zhoršovat během nošení z důvodu častého mechanického namáhání. Experimentální část pojednává o testování bariérového materiálu a jeho odolnosti vůči cyklickému mačkání se zaměřením na zkoumání vlivu počtu deformačních cyklů a na jeho vlastnosti.

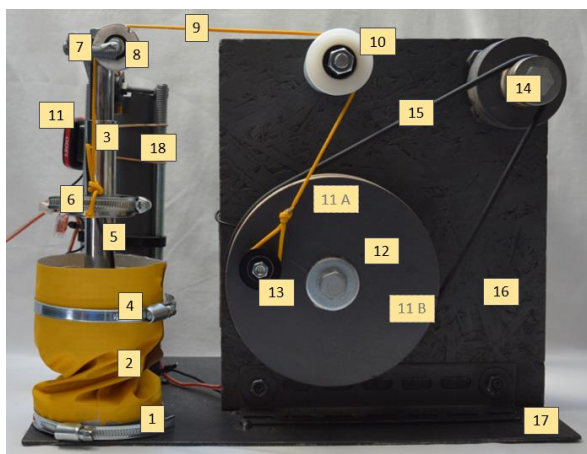
3.1 Návrh a realizace zařízení pro simulaci cyklického mačkání

Navrhovaný prototyp přístroje vychází z metody dutého válce a do jeho konstrukce je zabudováno zařízení pro testování mačkovosti. Prototyp zařízení simuluje „zkoušku nošením“ cyklickým mačkáním. Zařízení slouží pro určení degradace odolnosti bariérových textilií (v důsledku tahu, krutu, smyku a tlaku) v závislosti na počtu deformačních cyklů. Metodika testování vychází z normy ČSN 80 0871. *Stanovení mačkovosti pomocí dutého válce*. Velikost vzorku činí 295 mm x 170 mm. K deformaci materiálu dochází ve směru osy. Vzorky před deformací nesmějí mít vizuální sklady, lomy ani vady. [1]

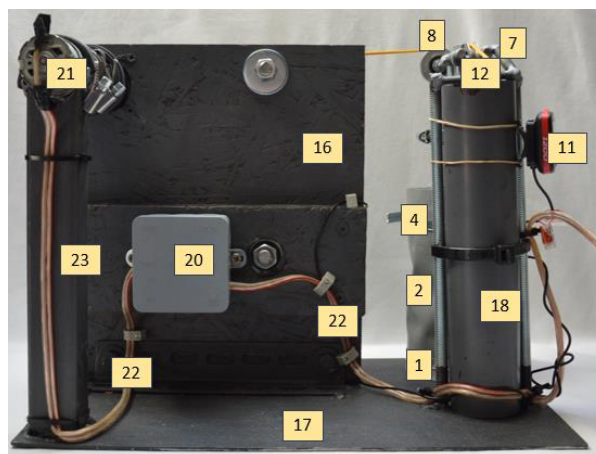
Prototypu zařízení pro simulaci cyklického mačkání byl přidělen pracovní název M1 (dle autorky Mádllové). Zařízení má neomezený počet pracovních cyklů, doba jednoho pracovního cyklu je 3s (= Obrázek 3 A, B, A). Zařízení má jednoduché ovládání, možnost nastavení rozsahu pohybu horní hlavice (0 mm až 105 mm) a zkroucení (0° - 180°) pomocí zkrácení lanka. Lze ho umístit do klima komory a má nízkou hmotnost (9,7 kg). Obrázek 4 a Obrázek 5 zobrazuje zařízení pro testování cyklické deformace M1 a popis jeho jednotlivých částí.



Obrázek 3 - Pracovní cyklus prototypu M1, A – maximální poloha, B – minimální poloha



Obrázek 4 - Prototyp zařízení pro simulaci cyklického mačkání M1, čelní pohled

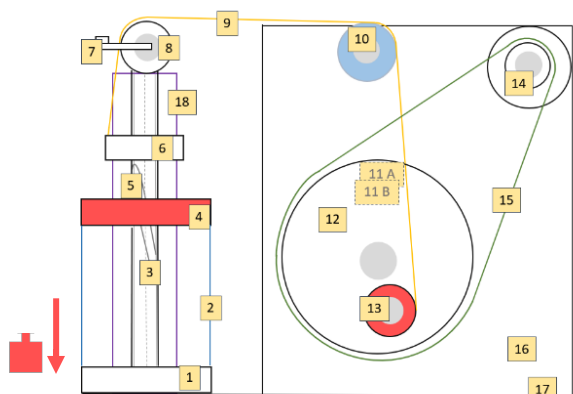


Obrázek 5 - Prototyp zařízení pro simulaci cyklického mačkání M1, zadní pohled

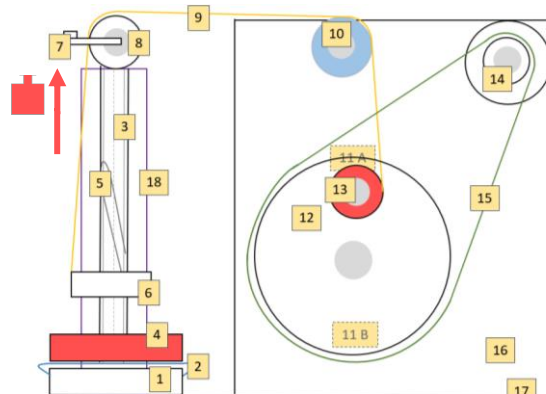
1 – dolní hlavice zařízení pro testování mačkovosti, 2 – upnutý testovací materiál, 3 – středová tyč, 4 – horní hlavice zařízení pro testování mačkovosti, 5 – vodící drážka, 6 – ložisko, 7 – nosná konstrukce pro kladky, 8 – kladka pro lanko, 9 – lanko, 10 – vodící kladka pro lanko, 11 A, B čidlo pro počítadlo cyklů, 12 – sekundární řemenice, 13 – kladka s ukotvením lanka, 14 – primární řemenice, 15 – hnací řemen, 16 – vertikální konstrukce, 17 – horizontální deska, 18 – vodící trubice pro závaží, 19 – jednoduché kladky, 20 – zdroj v krabici, 21 – motor, 22 – kabely

Prototyp přístroje M1 pracuje takovým způsobem, že po zasunutí adaptéru do zásuvky se rozeběhne motor (otáčky ve směru hodinových ručiček), roztočí primární řemenici (14) a pomocí hnacího řemenu (15) se rozpohybuje i sekundární řemenice (12), obě jsou umístěny v kuličkovém ložisku. Pokud dojde k rozpohybování sekundární řemenice (12), dá se do pohybu také kladka s ukotvením lanka (13), které je dále skrz vodící kladku pro lanko (10) a kladku pro lanko (8) spojeno s ložiskem (6), které ovládá pohyb horní hlavice pro testování mačkovosti (4). Pokud je kladka s ukotvením lanka (13) v nejnižší poloze (nejblíže 17 horizontální desce), horní hlavice zařízení pro testování mačkovosti (4) je v maximální pozici (Obrázek 6), závaží je ve své nejnižší poloze a čidla pro počítadlo 11 A, B jsou ve své nejvyšší poloze a překrývají se. Pokud se kladka s ukotvením lanka (13) pootočí do své nejvyšší

pozice, dojde k sesunutí horní hlavice do minimální pozice (Obrázek 7), závaží se dostává do nejvyšší polohy, čidlo 11 B do své nejnižší polohy. Následuje posun kladky s ukotvením vodícího lanka (13) zpět do výchozí pozice (Obrázek 6) takto proběhne jeden pracovní cyklus (zaznamenání jednoho cyklu do počítače, pokud se překryje 11 A s 11 B) za 3 s.



Obrázek 6 – Prototyp pro testování cyklické deformace M1 v maximální poloze, čelní pohled

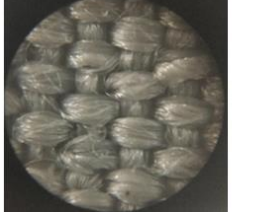
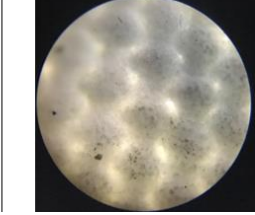
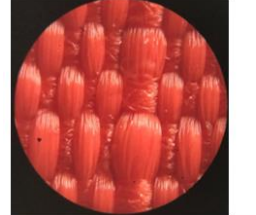
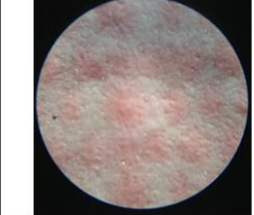


Obrázek 7 - Prototyp pro testování cyklické deformace M1 v minimální poloze, čelní pohled

3.2 Charakteristika testovaných bariérových materiálů

V rámci experimentální části byly vybrány 4 materiály, dvouvrstvé a třívrstvé lamináty. Vyhodnocení výsledků probíhalo pouze u dvou materiálů: 2L2 – Dermizax (tmavě šedá); 2L3 – Dermizax (oranžová) viz Tabulka 1.

Tabulka 1 – Základní parametry testovaných bariérových materiálů

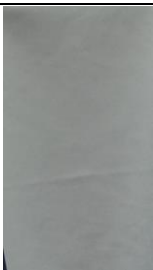
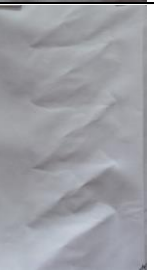
	2L2 – Dermizax (tmavě šedá)		2L3 – Dermizax (oranžová).	
A – líc B – rub				
Struktura materiálů, zvětšení 100x, A – líc B – rub				
Parametry materiálů	Výrobce: Toray Složení: 100% PES Membrána: Dermizax Výška vodního sloupce: 20 [m/H ₂ O] Propustnost vodních par: 10 000[g/m ² /24 hod] Plošná hmotnost: 170 [g/m ²] Tloušťka: 0,29 mm		Výrobce: Neuvedeno výrobcem Složení: Neuvedeno výrobcem Membrána: Dermizax Výška vodního sloupce: Neuvedeno výrobcem Propustnost vodních par: Neuvedeno výrobcem Plošná hmotnost: 136 [g/m ²] Tloušťka: 0,23 mm	

3.3 Experimentální hodnocení

Vybrané vzorky bariérových materiálů byly testovány na počet předem zvolených cyklů. Po sejmutí vzorku z prototypu zařízení pro simulaci cyklického mačkání M1, vždy proběhla fotodokumentace do několika minut (cca 2 min). Deformace všech zmíněných materiálů proběhla za běžných podmínek: teplota $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a vlhkost $43\text{ }\% \pm 5\text{ }\%$.

Následující Tabulka 2 ukazuje průběh deformace materiálu 2L2 od původního přes 4 000, 8 000, 10 000, 15 000 a 20 000 deformačních cyklů na M1 a Tabulka 3 průběh stejné deformace pro materiál 2L3. Materiál 2L2 má oproti 2L3 větší tloušťku, a tak nedocházelo k takovému stlačení vzorku, tudíž lomy nebyly tak výrazné a ostré po sejmutí vzorku, výraznější lomy byly z rubní strany (i po 48 hodinách a více).

Tabulka 2 – Vizuální hodnocení deformace vzorku 2L2; počet cyklů: 0, 4 000, 8 000, 10 000, 15 000, 20 000

Označení	Původní	2L2 - 4	2L2 - 8	2L2 - 10	2L2 - 15	2L2 - 20
P. cyklů	0	4 000	8 000	10 000	15 000	20 000
Líc						
Rub						

Tabulka 3 - Vizuální hodnocení deformace vzorku 2L3; počet cyklů: 0, 4 000, 8 000, 10 000, 15 000, 20 000

Označení	Původní	2L3 - 4	2L3 - 8	2L3 - 10	2L3 - 15	2L3 - 20
P. cyklů	0	4 000	8 000	10 000	15 000	20 000
Líc						
Rub						

3.4 Laboratorní hodnocení

V rámci laboratorního hodnocení proběhlo několik zkušebních testů pro zkoušku tlakem vody a propustnosti vodních par na TUL (KDO, KHT). Další měření výšky vodního sloupce proběhlo v Textilním zkušebním ústavu v Brně.

3.4.1 Testování výšky vodního sloupce

Měření výšky vodního sloupce proběhlo v TZU v Brně dle normy ČSN EN 20811 (80 0818). *Textilie. Stanovení odolnosti proti pronikání vody. Zkouška tlakem vody.* Testu byly podrobeny vzorky 2L2 – Dermizax (tmavě šedá) a 2L3 – Dermizax (oranžová) před deformací a po 8 000, 10 000, 15 000 a 20 000 deformačních cyklech. Vzorky byly testovány pro průnik vody z lícni strany do rubní. Klimatické podmínky byly pro všechny testy stejné: teplota $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$, vlhkost $65\% \pm 4\%$. V průběhu testování u žádného vzorku nedošlo k úniku vody mezi materiálem a těsněním. [2]

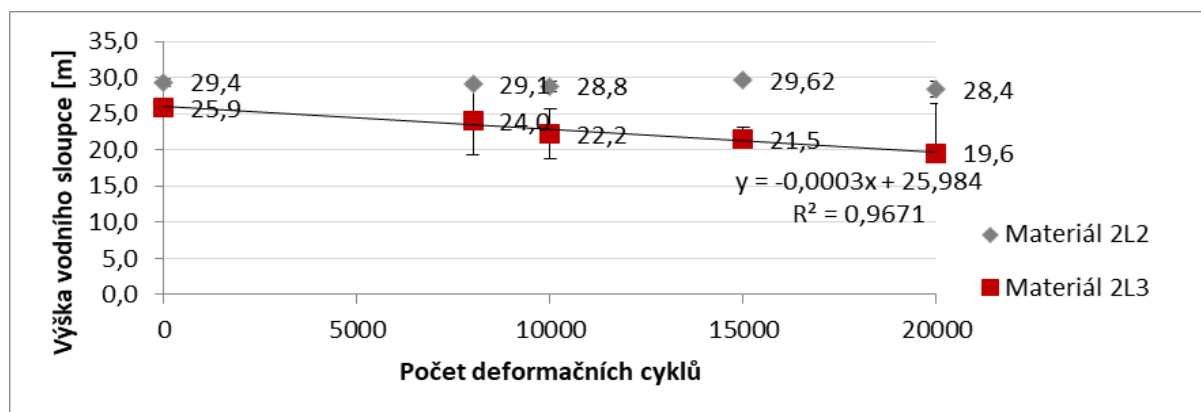
U vzorku 2L2 – Dermizax (tmavě šedá), výrobce uvádí výšku vodního sloupce 20 m/H₂O. Výsledné hodnoty však byly okolo 29 – 30 m/H₂O. U ani jednoho vzorku nedošlo k průniku vody skrze materiál (omezení maximální hodnoty měřicího zařízení 30 m/H₂O). Pokles po 20 000 deformačních cyklech oproti původnímu vzorku byl o 3%.

Pro vzorek 2L3 – Dermizax (červená) nebyla výrobcem uvedena výška vodního sloupce, dle měření vzorku bez deformace byl stanoven na 26 m/H₂O. U tohoto vzorku vždy došlo k průniku vody skrze trhlinu. Materiál 2L3 – tedy jevil pokles oproti původnímu vzorku, a to o 7% při 8 000, 14% při 10 000, 17% při 15 000 a 24% při 20 000 deformačních cyklech.

Naměřená data byla dále graficky zpracována (Obrázek 8). Je patrné, že větší pokles odolnosti vůči proniknutí vody pod tlakem po cyklickém zatěžování na M1 nastal pro materiál 2L3 – Dermizax (oranžová). I přesto, že je membrána pro oba testované materiály (2L2 a 2L3) stejná (Dermizax).

Výsledky experimentu ukazují, že odolnost materiálu závisí na tloušťce, hustotě vazby materiálu, pórovitost a dalších faktorech. U všech vzorků materiálu 2L3 – Dermizax

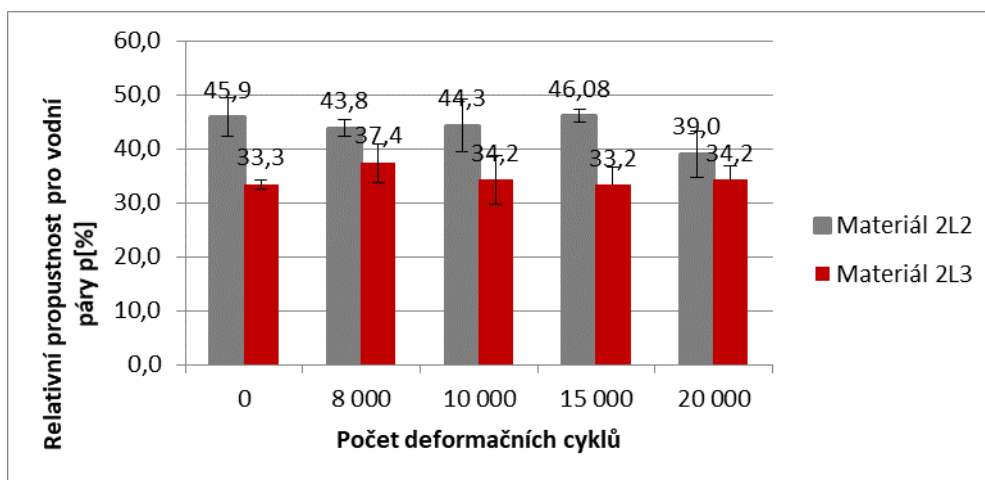
(oranžová) se projevuje pokles hodnoty výšky vodního sloupce v závislosti na přibývajícím počtem def. cyklů. Materiál si zachoval 76% své odolnosti po 20 000 deformačních cyklech.



Obrázek 8 – Graf závislosti výšky vodního sloupce na počtu deformačních cyklů; materiál 2L2 a 2L3

3.4.2 Propustnosti vodních par

Měření na Permetestu – propustnosti vodních par, proběhlo v rámci TUL na Katedře hodnocení textilií dle IN 23- 304 - 01/01. Stanovení termofyziologických vlastností textilií. [3] Vyhodnocené hodnoty měření relativní propustnosti vodních par P [%] pro vzorek 2L2 - Dermizax (tmavě šedá) 2L3 - Dermizax (oranžová) v průběhu deformace od 0, přes 8 000, 10 000, 15 000 a 20 000 deformačních cyklů obsahuje Obrázek 9.



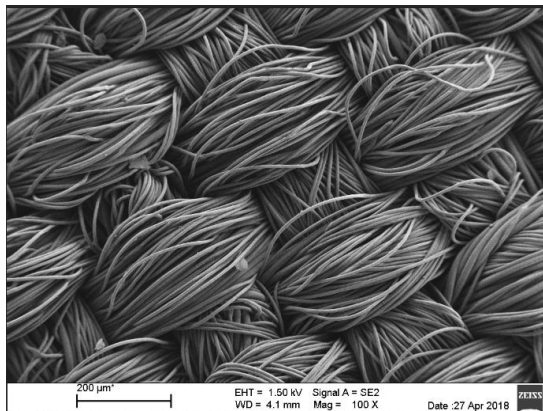
Obrázek 9 – Vyhodnocení relativní propustnosti vodních par v závislosti na počtu deformačních cyklů, porovnání 2L2 a 2L3

Měření na Permetestu pro materiál 2L2 - Dermizax (tmavě šedá) prokazuje, že při 20 000 deformačních cyklů dojde k poklesu relativní propustnosti vodních par o 15 % oproti původnímu vzorku. Pro materiál 2L3 nebyl zaznamenán pokles relativní propustnosti vodních par.

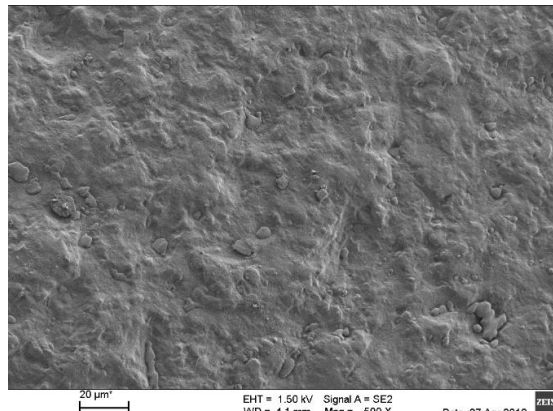
3.5 Mikroskopické hodnocení

U vybraného vzorku byla hodnocena vizuální charakteristika poškození membrány před a po deformaci pomocí mikroskopické metody: na rastrovacím (scanning) elektronovém mikroskopu Zeiss Ultra Plus (SEM) a světelném mikroskopu Cais Axi Vizion (SM). Mezi vybrané vzorky pro mikroskopickou analýzu patřil vzorek 2L2 – 0 (původní) a 2L2 - 10

(10 000 def. cyklů), vzorek Dermizax (tmavě šedá). Mikroskopické snímky byly provedeny po více jak 20 dnech po realizované deformaci, proznačení lomů u 2L2 bylo patrné velmi slabě. Obrázek 10 zachycuje pohled z lící stany vzorku 2L2 – Dermizax (tmavě šedá) a Obrázek 11 rubní strany bez deformace. Dle Obrázek 12, Obrázek 13, je patrné, že i po 10 000 deformačních cyklech nedošlo k výraznému mechanickému poničení membrány Dermizax, na snímcích je pouze patrná prohlubeň lomu. Což potvrzuje odolnost materiálu při měření výšky vodního sloupce (malý pokles při 20 000 deformačních cyklech o 3% oproti původnímu). Výraznější porušení membrány by mohlo nastat s navýšením počtu deformačních cyklů a větší mírou stlačení.



Obrázek 10 – Vzorek 2L2 – Dermizax - původní; lící strana; SEM



Obrázek 11 – Vzorek 2L2 - Dermizax – původní; rubní strana; SEM



Obrázek 12 – Vzorek 2L2 – Dermizax; 10 000 deformačních cyklů; místo lomu; rubní strana; SM



Obrázek 13 - Vzorek 2L2 – Dermizax; 10 000 deformačních cyklů; místo lomu; rubní strana; SM

4 Možnosti dalšího výzkumu

Při řešení dané problematiky diplomové práce vznikly nové náměty, které mohou být předmětem dalšího výzkumu:

- V rámci dalšího vývoje M1 je doporučováno zaměřit se na snížení hluku při jeho pracovním chodu a na zrychlení doby trvání jednoho pracovního cyklu.
- Optimálně zabezpečit lanko ve vodící kladce pro lanko a kladku pro lanko na M1. Vyvrtat otvor do horní hlavice M1, aby docházelo k průchodu vzduchu při stlačování a zvedání horní hlavice.

- Přístroj M1 může být dále doporučován např. k hodnocení lomů a jejich tvaru v průběhu deformací plošných textilií, kdy lze využít vizuální hodnocení již od 1 000 deformačních cyklů (i méně v závislosti na materiálu).
- Podrobit cyklickému zatěžování na M1 další bariérové materiály a vyhodnotit závislost výšky vodního sloupce na počtu deformačních cyklů.
- Vyhodnotit počet pracovních cyklů na M1 ve srovnání s běžným nošením materiálu.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo zjištění funkčnosti bariérových textilií po simulovaném kombinovaném cyklickém namáhání. V rešeršní části diplomové práce jsou popisovány dosavadní metody testování bariérových textilií a outdoorových výrobků při simulaci reálných podmínek. Rešerše poukazuje na široký sortiment zařízení používaných pro cyklické deformování povrstvených, kožených a jiných materiálů. Publikace ukazují, že i navzdory stále se zlepšujícím technologiím cyklické deformace povrstvených či kožených materiálů není tato problematika zcela vyřešena pro oděvní materiály. Jako vhodná metoda pro hodnocení mačkavosti se jeví metoda dutého válce.

- Bylo navrženo a zkonstruováno inovativní zařízení pro simulaci cyklického mačkání M1 vycházející z ruční metody dutého válce (ČSN 80 0871), došlo k mechanizaci ručního zařízení pro testování mačkavosti.
- Zkonstruovaný prototyp pro simulaci cyklického mačkání M1 obstál při testech, v průběhu jeho využívání došlo k zdeformování materiálů, a to přibližně v počtu 300 000 pracovních cyklů (ke dni 1. 4. 2018).
- Experiment poukazuje na prohloubení lomů při zvyšujícím se počtu deformačních cyklů u bariérových materiálů. Laboratorní hodnocení prokazuje pokles výšky vodního sloupce pro materiál 2L3 – Dermizax (oranžová) o 24 % a pokles relativní propustnosti vodních par pro 2L2 – Dermizax (tmavě šedá) o 15 % při 20 000 deformačních cyklech.
- Výsledky testování, poukazují na to, že mechanická odolnost bariérových materiálů je závislá na více faktorech: materiálu a jeho tloušťce, hustotě vazby, přízi, pórovitost, kvalitě laminátu a dalších.
- Mikroskopické hodnocení materiálu 2L2 – Dermizax (tmavě šedá) po 10 000 def. cykl. neprokazuje, výrazné poškození membrány po relaxaci.

Literatura

- [1] ČSN 80 0819. *Stanovení mačkavosti pomocí dutého válce*. Praha: Vydavatelství ÚNM, 1994.
- [2] ČSN EN 20811 (80 0818). *Textilie. Stanovení odolnosti proti pronikání vody. Zkouška tlakem vody*. Praha: Český normalizační institut, 1994
- [3] IN 23- 304 -01/01. *Stanovení termofyziologických vlastností textilií*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní.

HODNOCENÍ VRÁSNĚNÍ ŠVŮ

Rašková Kateřina

Sekce - TEXTIL,

Fakulta textilní, 2. Ročník - navazující

Magisterský studijní program – TEXTILNÍ INŽENÝRSTVÍ

Abstrakt: Tato práce se zabývá hodnocením vrásnění švů. Stávající hodnocení můžeme rozdělit na subjektivní a objektivní. Subjektivní hodnocení jsou prováděna porovnáváním vzorků s etalony. Mezi objektivní metody řadíme metodu porovnávání délek vzorků před a po ušití, měření pomocí kontaktního čidla, fotoelektrickou metodu a dále především metody bezkontaktní (CCD kamera, laserové skenování, ultrazvuková technologie). V práci je navržena optická metoda hodnocení s využitím triangulačního snímače. Je zde navržen algoritmus, který rozděluje nasnímaný povrch do tříd, které simulují stupnici hodnocení pomocí fotoetalonů, a upozorňuje obsluhu na tvarové změny povrchu textilie online. Hodnocení vrásnění švů je založeno na předem stanovených směrodatných odchylkách.

Klíčová slova: povrch, vrásnění, vrásnění švů, triangulační laserový snímač, MATLAB®, Metralight, hodnocení

1 Úvod

Tato práce se zabývá problémem vrásnění švů, především detekováním takovéto vady již při výrobním procesu tak, aby se zamezilo vzniku a výrobě zmetků, tj. nejakostních produktů.

Jedním z cílů je seznámit čtenáře s problematikou vrásnění švů a jejím hodnocením. První část se zabývá analýzou současného stavu problematiky hodnocení vrásnění švů. Analýza probíhala na základě důkladného prozkoumání doporučené literatury, zahraničních publikací a článků. Přináší nám pohled na základní příčiny vrásnění švů a na způsoby jejich hodnocení, která se pohybují především v oblasti objektivního hodnocení a jedná se o kontaktní a bezkontaktní metody hodnocení.

Druhá část nás zavede mezi optické senzory měřící vzdálenosti, především se seznámíme s principem laserových snímačů vzdálenosti s triangulačním principem měření. Podrobněji si popíšeme senzor TLE1.

Cílem experimentální části je navrhnout, vytvořit a odzkoušet novou metodu hodnocení vrásnění švů. V této části bude představena bezkontaktní metoda objektivního hodnocení pomocí snímače TLE1. Na začátku popíšeme vytvoření vzorků pro experiment. Vzorky napodobují fotoetalony – resp. se jedná o vzorky se stupňující se mírou vrásnění. Na zpracování těchto vzorků bude založen návrh systému nové metodiky, která by měla identifikovat vrásnění vzorků při výrobním procesu online. Vzorky budou analyzovány pomocí laserového triangulačního snímače TLE1 a data budou zpracována za pomoci softwaru TL Studio a programového prostředí MATLAB®.

Následuje samotné experimentální ověření metody, kde si podrobně popíšeme průběh měření vzorků zhotovených podle fotoetalonu a přejdeme k hodnocení vrásnění pomocí laserového snímače TLE1. V této části probereme i možnosti úpravy naměřených dat pomocí filtrů, které nám pomáhají řešit problémy, tzv. zašumění, v naměřených hodnotách. Dále si ověříme aplikovatelnost metody na referenčních vzorcích, tak i na různorodých vzorcích plošných textilií a to jak tkaných, tak pletených.

2 Analýza současného stavu hodnocení

Během posledních let bylo vynaloženo značné úsilí zaměřené na vývoj objektivní metody hodnocení vrásnění švů.

Techniky pro objektivní charakterizaci vrásnění švů mohou být klasifikovány do dvou hlavních kategorií, a sice "kontaktních" a "bezkontaktních" metod. Většina z nástrojů, pro bezkontaktní metodu, zahrnuje optické metody.

Bezkontaktní hodnocení má výhodu oproti kontaktnímu takovou, že zařízení není v kontaktu s tkaninou a tím nemůže narušovat povrch tkaniny, ale přesto může poskytnout přesné posouzení geometrické drsnosti/nerovnoměrnosti. Bezkontaktní hodnocení zajišťuje vysokou přesnost, dobré rozlišení a vysokou reprodukovatelnost.(1)

2.1 Kontaktní metody objektivního hodnocení

Hodnocení pomocí „**wrinklemeteru**“, původně vyvinutého pro detekci a měření mačkavosti, k vyhodnocení zvrásnění švu a to sledováním křivky obrysu švu.

Měření byla provedena na dvou obrysech křivky, rovnoběžně se švem, ve vzdálenosti 2 mm od šicí nitě a to po obou stranách. První křivka představuje výšku, druhá křivka sklon a třetí zakřivení. Ze zakřivení snadno zjistíme hustotu. Finální výsledky měření získané ze dvou obrysů podél švu tak určily míru zvrásnění. (1)

Dále hodnocení probíhalo pomocí „**puckermeteru**“, který měří vrásnění porovnáním délky zvrásněného vzorku se vzorkem bez zvrásnění. „**Puckemeter**“ umožnil zhodnotit vrásnění švů o takových faktorech, jako je rozdílné vrásnění dílčích součástí švu, posunutí tkaniny během formování švu, napnutí šicích nití a přirozené vrásnění. Stupeň vrásnění švů byl vyjádřen jako "index zvrásnění" (1)

2.2 Bezkontaktní metody objektivního hodnocení

Vzhledem k tomu, že přímý kontakt mezi senzorem a vzorkem švu může ohrozit přesnost a reprodukovatelnost měření, byly vyvinuty metody, které se snaží zamezit tomuto jevu.

Jednou ze základních metod je **metoda zpracování obrazu**, která je kombinována s **pomocí tzv. neuronových sítí**. K těmto možnostem hodnocení je základem geometrické modelování vrásnění. Zahrnuje spektrální analýzu obrazu pomocí Fourierovi transformace s Kohonenovou mapou, která materiál vzorků klasifikuje do pěti stupňů kvality a to od 5 (nejlepší) po 1 (nejhorší). (3)

Mezi další metody hodnocení patří hodnocení pomocí **CCD kamery** (systém *Pucker vision*), kde použití CCD kamery nahrazuje lidské oko a použitý systém simuluje lidský kognitivní systém. (1)

Velmi přesné hodnocení nám nabízí **ultrazvuková metoda**. Ta shromažďuje informace o tvaru povrchu zvrásněného švu přes ultrazvukový snímač obrazu. Ultrazvukové vlny jsou úzké paprsky a intenzita odrazu souvisí se sklonem povrchu. Zvrásněný povrch je měřen pomocí ultrazvukového odrazu a intenzity odrazu. V technologii ultrazvukových vln se hodnoty dat vztahují k úhlu sklonu povrchu.(2)

Poslední zmíněnou možností hodnocení je **laserová technologie**. Laserový snímač detekuje odraz od odraženého povrchu polovodičem detekujícím světlo. S výstupem výšky odrazného bodu, který je vypočítán podle principu triangulace, byly údaje na liniích, s ohledem na vlnové a výkonové spektrum každé linie, vypočteny pomocí FFT (Fast Fourier Transform). Tato

metoda byla vyhodnocena jako účinná, s dostatečnou přesností a reprodukovatelností pro objektivní posouzení povrchu textilie. Metoda hodnocení není ovlivněna barvou ani vzorem tkaniny. (1)

2.3 Optické senzory

Jedná se o proximitní snímače (proximita = blízkost), které měří vzdálenost v blízkém okolí. Samotný princip detekce přiblížení objektu je pak podobný jako u ultrazvukových senzorů, tzn., že se měří nebo detekuje množství odraženého světla dopadajícího zpět na optický detektor umístěný hned vedle vysílače. Konkrétně se měří úroveň amplitudy nebo světelný výkon a porovnává se s nastavenou (požadovanou) hodnotou. To umožňuje měřit nejen vzdálenost, ale zpracovávat tak i jiné optické parametry jako je kontrast či barva. (4)

Princip funkce senzorů, jak napovídá jejich název, je spjatý se světlem, resp. pracuje na principu detekce existence nebo měření intenzity paprsku světla dopadajícího na přijímací část senzoru. Jako jedinou alternativu k jiným typům senzorů přiblížení lze považovat pouze senzory pracující na principu reflexe, tzn. senzory, které mají zdroj paprsku světla i detektor umístěn v jednom pouzdru. (4)

Senzory se tedy skládají z optického vysílače a přijímače. Vysílače jsou tvořené buď LED diodou (s rozsahem jednotek metrů) nebo laserovou diodou (v rozsahu až několika desítek metrů). Pro LED diody se obvykle využívají různé barvy ve viditelném spektru světla, pro laserové diody je nejčastěji využíváno červené barvy. Přijímače jsou dnes tvořené fototranzistory nebo pro výkonnější senzory rychlejšími PIN fotodiodami. Podle toho, co paprsek odráží, se senzory dělí na reflexní snímače a reflexní závory. Reflexní snímače detekují odražený paprsek od přiblíženého objektu, přičemž reflexní závory detekují přerušení paprsku odraženého se od odrazky (4)

2.4 Senzor TLE1

TLE1 (viz. obr. 1) je triangulační laserový snímač od společnosti Metralight, který slouží k velmi přesnému měření vzdáleností od objektů a jejich výšky. Oproti podobným snímačům nepracuje jen s úzkým svazkem světla a měřením v jednom bodě, ale na objekt vysílá širší svazek, který následně zachytí pomocí CMOS čidla s vysokým rozlišením (1280 x 1024 pixelů). Díky většímu množství bodů je senzor schopen měřit mnohem přesněji například rozměry různých otvorů objektů či zachytit profil výrobku. (5)



Obr. 1 – Senzor TLE1-58-122

Laser senzoru TLE1-58-122 emituje záření ve spojitém režimu ve viditelné části spektra 650nm, a řadí se tak do druhé bezpečnostní třídy

3 Bezkontaktní metoda objektivního hodnocení pomocí snímače

TLE1

3.1 Program pro snímání povrchu s online přenosem dat

Pro nejlepší možnosti a schopnost prezentovat vlastnosti snímače je zapotřebí používat doplňkový software.

Firma Metralight společně se snímačem dodává i základní aplikaci pro čtení a zpracování dat a to aplikaci **TL Studio 1.6.0.**, která umožňuje základní manipulaci s nastavením snímače a částečné čtení naměřených dat.

Navržený algoritmus byl vytvořen v prostředí **MATLAB®**, jako doplňující program pro zpracování a především online stream (přenos) naměřených dat ze snímače TLE1.

Hlavní složkou je aplikace *Main.m*, která má jednu hlavní ovládací část, která se uživateli aktivuje po spuštění. Stránka *Main.m* obsahuje tři základní prvky pro práci se snímačem:

- **LaserButtonOn** – prvek ovládající zapnutí paprsku laseru
- **LaserButtonOff** – prvek ovládající vynutí paprsku laseru
- **DataStreamButton** – prvek, kterým se spouští stream dat

Výsledkem spuštění prvku **DataStreamButton** je spuštění pěti samostatných oken, které zachycují následující měřené aspekty a informace o měřeném povrchu:

- **3D graf povrchu textilie**
- **graf zobrazující profil snímané textilie**
- **graf snímané vzdálenosti**
- **graf zobrazující směrodatné odchylky.**

Tento celek nám umožňuje sledovat data snímaného vzorku se zpožděním setin sekundy a zaznamenávat tedy informace o povrchu materiálu již při jeho zpracování.

Pro detekci míry zvrásněného povrchu slouží část složky *Main.m*, která upravuje hodnoty-škály určující třídy směrodatných odchylek. Tyto hodnoty jsou definovány uživatelem a to za pomoci předem naměřených dat z programu TL studio, jak již bylo zmíněno výše.

Z naměřených hodnot TL studia byly exportovány jednotlivé *.xls* soubory s naměřenými daty jednotlivých profilů a následně bylo provedeno statistické vyhodnocení, ze kterého byly patrné rozdíly mezi směrodatnými odchylkami jednotlivých vzorků, které posléze posloužily, jako klíč programu, který na takto určených hodnotách třídí měřené vzorky dle míry zvrásnění.

Po skončení snímání se automaticky exportuje soubor ve formátu *.xls*, ve kterém najdeme všechna naměřená data od vzdáleností až po hodnoty směrodatných odchylek.

4 Experimentální ověření metody

4.1. Vytvoření vzorků pro experiment

Pro simulaci rostoucího vrásnění byly zhotoveny vzorky simulující stupnici fotoetalonu, které sloužily jako referenční vzorky pro nasnímání hodnot vrásnění pomocí senzoru TLE1.

Jako šitý materiál byla použita jemná bavlněná tkanina o gramáži 150g/m^2 , která byla před dalším zpracováním vypraná a vyžehlená, jako šicí materiál byly zvoleny 100% polyesterové nitě, ze kterých se zhotovily vzorky simulující pětistupňový fotoetalon dle normy AATCC 88B, tj. vzorky simulující zvrásnění od stupně 1 – nejintenzivnější vrásnění až po stupeň 5 – vzorek bez vrásnění.

Vzorky byly zhotoveny na šicím stroji BROTHER DB2-B755- 403A, JUKI DDL-888 v šicí dílně KOD na TU v Liberci. Šicí stroj byl vybaven zoubkovým podáváním šitého materiálu, přítlačnou patkou, s délkou vázaného stehu 2,5mm. Za účelem postupného zvlnění ve švu se zvyšovalo napětí spodní niti.

Délka zkušební vzorku 22cm, šíře 16 cm, na vzorcích bylo vyznačeno deset bodů, které mezi sebou měly odstup 1,8cm.

Na vzorcích byla naměřena vzdálenost (distance), která byla exportována pomocí aplikace TL Studio do excelového souboru, kde byla data dále vyhodnocena a porovnávala se směrodatná odchylka vzorků.

4.2 Hodnocení vrásnění švů pomocí laserové snímače TLE1

Metoda je unikátní v tom, že celý proces hodnocení probíhá zcela online a to se zpožděním cca jedné setiny sekundy. Pro hodnocení a možné detekování chyby, v našem případě zvrásněného povrchu, bylo potřeba zajistit a definovat hodnoty, které nám rozlišují jednotlivé jakostní třídy (v našem případě míru zvrásnění materiálu).

Software systému pro hodnocení vrásnění pracuje a vyhodnocuje data na základě posuzování směrodatných odchylek snímaných hodnot

Tabulka 1 – směrodatné odchylky jednotlivých vzorků

	1.									
	1.bod	2.bod	3.bod	4.bod	5.bod	6.bod	7.bod	8.bod	9.bod	10.bod
smodch	1198,433	1147,001	716,334	1383,49	1240,9	945,778	780,316	1396,05	1178,679	1227,137
smodch. Tot	1260,648	1260,648	1260,65	1260,65	1260,65	1260,65	1260,65	1260,65	1260,648	1260,648
	2.									
	1.bod	2.bod	3.bod	4.bod	5.bod	6.bod	7.bod	8.bod	9.bod	10.bod
smodch	1027,032	1035,207	937,618	344,977	649,047	707,262	1674,65	940,445	912,3053	689,8444
smodch. Tot	1124,314	1124,314	1124,31	1124,31	1124,31	1124,31	1124,31	1124,31	1124,314	1124,314
	3.									
	1.bod	2.bod	3.bod	4.bod	5.bod	6.bod	7.bod	8.bod	9.bod	10.bod
smodch	242,9711	461,42	475,528	393,454	475,68	535,465	487,387	318,513	252,9361	662,8993
smodch. Tot	599,4808	599,4808	599,481	599,481	599,481	599,481	599,481	599,481	599,4808	599,4808
	4.									
	1.bod	2.bod	3.bod	4.bod	5.bod	6.bod	7.bod	8.bod	9.bod	10.bod
smodch	219,9385	301,7055	163,535	178,272	254,99	251,284	263,879	195,192	414,9499	148,8636
smodch. Tot	365,9095	365,9095	365,91	365,91	365,91	365,91	365,91	365,91	365,9095	365,9095
	5.									
	1.bod	2.bod	3.bod	4.bod	5.bod	6.bod	7.bod	8.bod	9.bod	10.bod
smodch	54,58035	70,51189	135,452	67,803	103,557	125,639	121,273	86,8948	158,5536	159,2699
smodch. Tot	176,5576	176,5576	176,558	176,558	176,558	176,558	176,558	176,558	176,5576	176,5576

Jak je patrné z tabulky č. 1, nastavení jednotlivých tříd vrásnění bylo provedeno ve složce *DataPanel* následujícím způsobem (viz. zdrojový kód 1):

```
% Create Button5
struct.level1EditField = uicontrol('Style','edit');
struct.level1EditField.Position = [524 203 100 22];
struct.level1EditField.String = '0';

% Create Button6
% nastavení hranice pro změnu barvy třídy dle smodch
struct.level2EditField = uicontrol('Style','edit');
struct.level2EditField.Position = [524 144 100 22];
struct.level2EditField.String = '200';

% Create Button7
% nastavení hranice pro změnu barvy třídy dle smodch
struct.level3EditField = uicontrol('Style','edit');
struct.level3EditField.Position = [524 90 100 22];
struct.level3EditField.String = '420';

% Create Button8
% nastavení hranice pro změnu barvy třídy dle smodch
struct.level4EditField = uicontrol('Style','edit');
struct.level4EditField.Position = [524 29 100 22];
struct.level4EditField.String = '670';
```

Zdrojový kód 1 – nastavení hranice pro změnu barvy dle směrodatné odchylky

Dále bylo pro jednoduchou a přehlednou rozlišitelnost a prezentaci vyobrazených odchylek nastaveno barevné odlišení jednotlivých tříd následujícím způsobem:

- **Vzorek bez vrásnění** byl nastaven na hodnotu směrodatné odchylky do hodnoty 200, v grafu je zobrazen pod zelenou barvou.
- **Vzorek s mírným vrásněním** byl nastaven na hodnotu směrodatné odchylky do hodnoty 420, v grafu je zobrazen pod žlutou barvou.
- **Vzorek se středním vrásněním** byl nastaven na hodnotu směrodatné odchylky do hodnoty 670, v grafu je zobrazen oranžovou barvou.
- **Nejzvrásněnější vzorek** byl nastaven na hodnotu směrodatné odchylky od hodnoty 670 a v grafu je zobrazen červenou barvou.

Software třídí naměřená data, dle zadaných parametrů a takto naměřená data jsou zobrazována v grafickém okně zobrazujícím směrodatné odchylky.

4.2.1 Úprava naměřených dat pomocí filtrů

Při snímání dat dochází k nepřesnostem a zašumění snímaných dat. Důvodů ke vzniku těchto odchylek a šumů měření může být nespočet. Jedním z nejvýznamnějších by mohli být

odlesk a propustnost (nízká dostava) materiálu. Takovéto chyby lze částečně odstranit nebo dostatečně eliminovat pomocí filtrů.

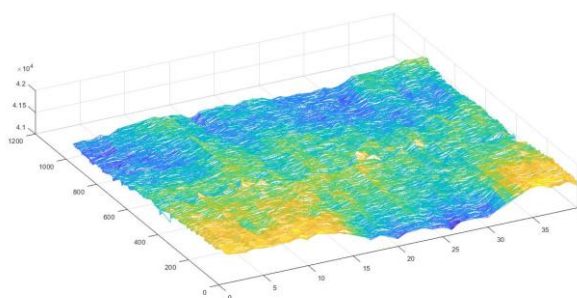
Pro náš případ byl vytvořen speciální filtr, který vyhodnotí vybočující hodnoty, jako extrémní odchylku a informaci o nich vrátí jako nulovou hodnotu. Díky tomu, že program funguje na nastavení snímače, které „osekává“ několik bočních pixelů (nikdy tedy nelze dosáhnout nulové vzdálenosti od okraje) jsou takovéto (nulové) body automaticky smazány. To znamená, že v naměřených datech (profilech, 3D grafu, apod.) vznikne „mezera“.

Ostatní šum lze opravit pomocí snížení či naopak zvýšení intenzity laseru ve složce Sensor v TL studiu. V našem případě bylo shledáno, jako lepší a vhodnější, nastavení nižší intenzity laserového záření (laser power) a to v hodnotě 100.

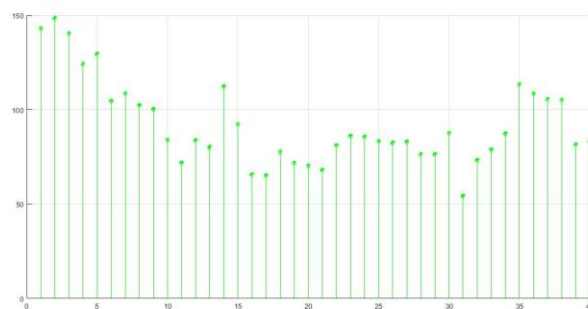
4.3 Hodnocení vrásnění na referenčních vzorcích

Jednotlivě byly vzorky vkládány pod snímací plochu a na základě předem definovaného nastavení byla vyhodnocena tato data:

Na vzorku **číslo 5** – bez zvrásnění, byl zaznamenán téměř hladký povrch s minimálními rozdíly v naměřených vzdálenostech, což je patrné na obrázku č. 10 (rozdíly cca 1 mm). Na obrázku č. 2 a 3 můžeme pozorovat naměřené směrodatné odchylky, které se pohybovaly v hodnotách cca 45- 150.

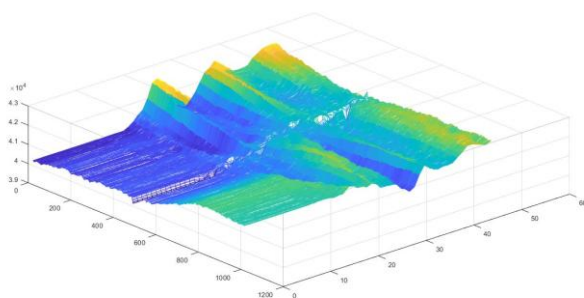


Obr. 2 – 3D graf vzorku č. 5

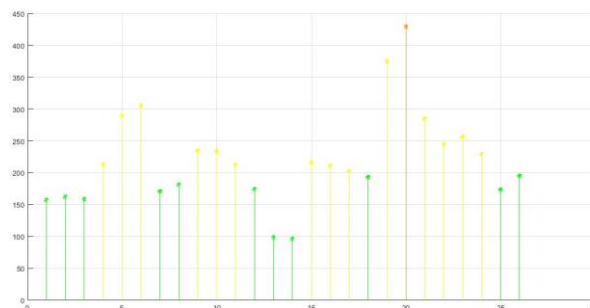


Obr. 3 - graf směrodatných odchylek vzorku č. 5

Na vzorku **číslo 4** bylo zaznamenáno mírné zvrásnění s rozdíly v naměřených vzdálenostech v rozmezí cca 4 mm, přičemž směrodatná odchylka se pohybovala v rozmezí hodnot 100-375, v pár místech již byla ale zaznamenána i vyšší odchylka směřující k hodnotě 435, jenž značí již střední míru zvrásnění. Naměřené hodnoty můžeme vidět na obrázku č. 4 a 5.

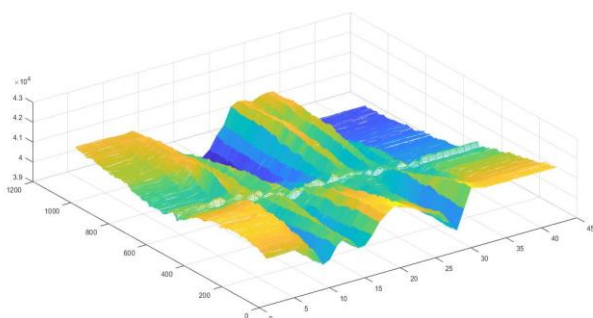


Obr. 4 – 3D graf vzorku č. 4

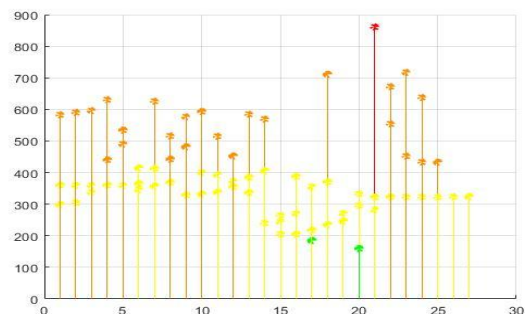


Obr. 5 – graf směrodatných odchylek vzorku č. 4

Na vzorku **číslo 3** bylo zaznamenáno již patrné střední zvrásnění s rozdíly v naměřených vzdálenostech v rozmezí cca 4 mm, přičemž směrodatná odchylka se pohybovala v rozmezí hodnot 180-720, v pár místech byla zaznamenána vyšší odchylka směřující k hodnotě 870, jež značí již vysokou míru zvrásnění. Naměřené hodnoty můžeme vidět na obrázku č. 6 a 7.

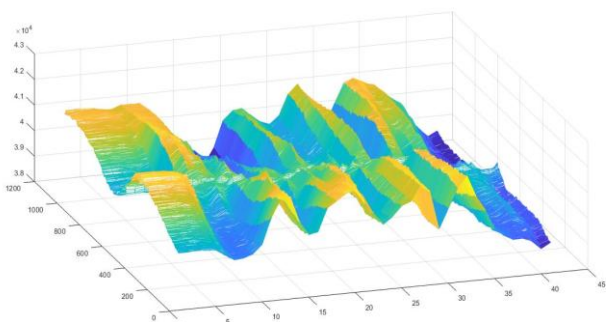


Obr. 6 – 3D graf vzorku č. 3

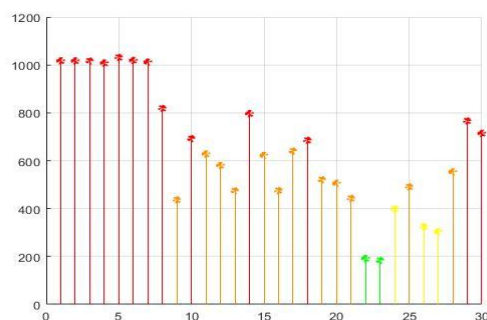


Obr. 7 – graf směrodatných odchylek vzorku č. 3

Na vzorku **číslo 2** bylo zaznamenáno výrazné zvrásnění s rozdíly v naměřených vzdálenostech v rozmezí cca 5 mm, přičemž směrodatná odchylka se pohybovala v rozmezí hodnot 195-810, v pár místech byla zaznamenána vyšší odchylka směřující k hodnotě 1020. Naměřené hodnoty můžeme vidět na obrázku č. 8 a 9.

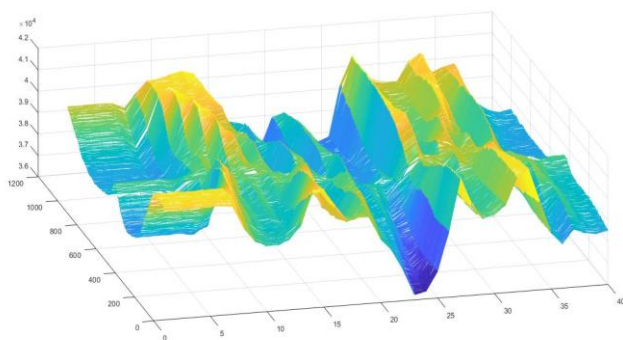


Obr. 8 – 3D graf vzorku č. 2

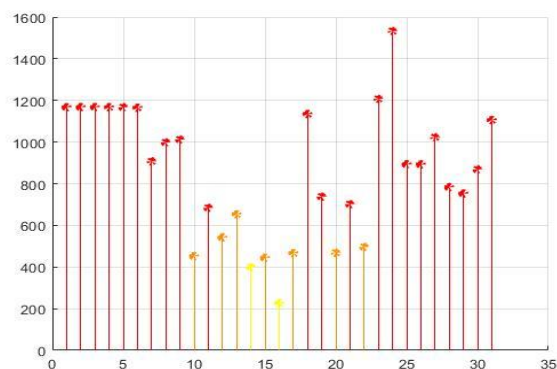


Obr. 9 - graf směrodatných odchylek vzorku č. 2

Na vzorku **číslo 1** – největší zvrásnění, byly zaznamenány největší rozdíly v naměřených vzdálenostech a to v rozmezí 6 mm (viz obr. 10). Na obrázku č. 11 pak můžeme pozorovat naměřené směrodatné odchylky, které se pohybovaly v hodnotách cca 220-1190. Přičemž byly místy naměřeny hodnoty směrodatných odchylek v hodnotách 1580.



Obr. 10 – 3D graf vzorku č. 1



Obr. 11 – graf směrodatných odchylek vzorku č. 1

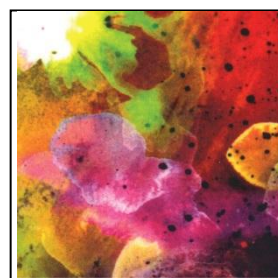
4.4 Testování metody na různorodých vzorcích

Pro odzkoušení funkčnosti metody byla provedena měření na typově různých vzorcích materiálů. Jednalo se o tkaniny i pleteniny, materiály matné i lesklé, s finální úpravou i bez úprav. Na typových materiálech bylo patrné, že je metoda hodnocení pomocí triangulačního snímače TLE1 variabilní a nastavitelná pro většinu materiálů tkaných i pletených. Avšak, na základě těchto měření bylo zjištěno, že tato metoda není vhodná pro příliš lesklé a kontrastně potištěné materiály (viz obr. 12). U takovýchto materiálů dochází k výraznému šumu a to především díky difúznímu odrazu laserového paprsku snímače a částečného pohlcení paprsku způsobeného kontrastním barevným rozpořením – na vzorku oblast přechodu mezi černou a světle zelenou barvou.

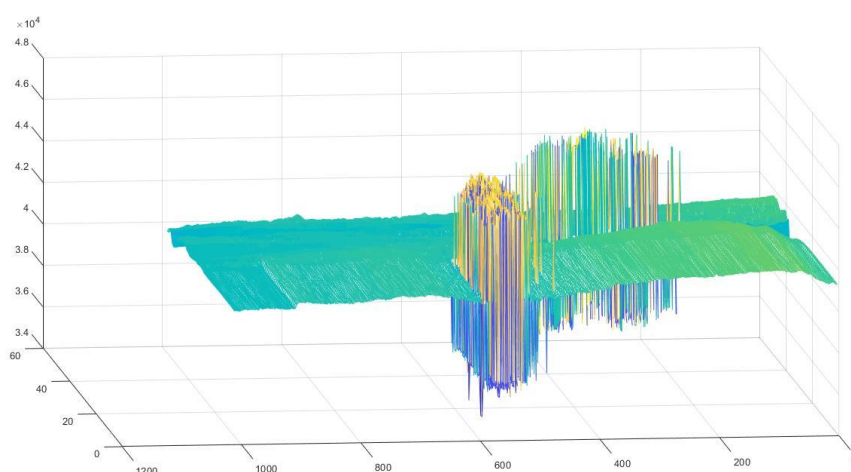
Ukázka aplikace metody na tkaném potištěném vzorku materiálu:

Vzorek č. 4:

Název: FWCH025
 Složení: 100% Polyester
 Typ materiálu : Tkanina – Lightweight Print
 Měrná hmotnost : 36 g/m²



Úpravy : Shiny downproof polish on back side, DWR 5/80, Teflon, CIRE on face side



Obr. 12 – 3D graf povrchu materiálu FWCH025 - šum

5 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout novou metodu pro hodnocení vrásnění švů a to za pomoci triangulačního laserového snímače TLE1, který zpracovává data za pomoci softwaru dodávaného společností Metralight – TL Studio a programového prostředí MATLAB©.

Na základě analýzy současného stavu hodnocení problematiky byla navržena metoda hodnocení vrásnění povrchu pomocí triangulačního laserového snímače TLE1, která přináší novou možnost v oblasti online detekce a kontroly povrchu materiálů. Byly zhotoveny

zkušební – referenční vzorky, které byly následně zpracovány pomocí TL studia, kde byla naměřena data jednotlivých profilů, která byla potřebná pro průběh dalšího hodnocení. Na základě naměřených hodnot bylo zjištěno, že pro naše účely je nejvhodnější použít hodnoty směrodatných odchylek, kde byl největší patrný rozdíl mezi jednotlivými třídami zvrásnění. Pro tyto účely byl vytvořen software pracující v programovém prostředí Matlab, který zajišťuje hodnocení vrásnění s okamžitou – online – odezvou a následným exportem naměřených dat v excelovém formátu (.xls). Program je jednoduše ovladatelný a pomocí hlavních funkcí nám nabízí základní ovládání snímače, jako zapnutí/vypnutí laseru a začátek či konec online streamu dat (*dataStreamOn/dataStreamOff*). Po spuštění snímání se na obrazovce spustí čtyři základní okna, která nás informují o snímaném povrchu a to: graf zobrazující profil povrchu materiálu, graf zobrazující vzdálenost, 3D graf povrchu materiálu a pro nás nejdůležitější graf směrodatných odchylek, který má barevně odlišené stupně odchylek a tím nás upozorňuje na akceptovatelnou či naopak již neakceptovatelnou míru zvrásnění povrchu. K ověření metody bylo provedeno hodnocení i na různorodých plošných textiliích a to včetně jedné pleteniny. Většina vzorků, včetně pleteného, byla metodou hodnocena bez problému, ale u tkaného vzorku s povrchovou úpravou DWR, která byla kontrastně potištěná a měla velmi lesklý povrch, nastal šum zapříčiněný difúzním odrazem laserového paprsku. Popsaná metoda hodnocení pomocí laserového snímače umožňuje snadné, opakovatelné, velmi přesné a především rychlé zhodnocení povrchu.

Na základě výše zmíněných výsledků je tato metoda aplikovatelná na většinu materiálu, tkaných i pletených, nejlépe jednobarevných či bez výrazných kontrastních niancí. Po nashromáždění dostatečných vstupních informací – v našem případě hodnot směrodatných odchylek jednotlivých tříd, které od sebe oddělují různé míry zvrásnění, můžeme upravit nastavení softwaru tak, aby hodnotil vrásnění povrchu různých materiálů.

V rámci hodnocení bylo zjištěno, že metoda online snímání za pomoci triangulačního laserového snímače není vhodná pro příliš lesklé a kontrastní povrchy materiálů. Snímač má své limity, které souvisí jak se softwarovým nastavením, tak především i s technickou úrovní výpočetní techniky, elektrotechniky či optiky. V rámci snímání povrchu je nutné eliminovat vibrace produkované šicíím strojem, prašnost textilního materiálu a dále je nutné zajistit konstantní podmínky v rámci osvětlení. Jako důležitý faktor pro správnost a přesnost měření je i důkladné zaškolení obsluhy šicího stroje, tak i obsluhy výpočetní techniky včetně snímače. V neposlední řadě je důležitým aspektem pro správné fungování a aplikaci této metody nepochybně i dostatečná výkonnost výpočetní techniky, která zpracovává naměřené hodnoty.

Literatura

- [1] **FAN, Jintu, Winnie YU a Lawrence HUNTER.** Clothing Appearance and Fit 1st Edition. Cambridge: Woodhead : Woodhead Publishing, 2004. ISBN 0-8493-2594-3.
- [2] **Shigeru, Inui a Atsuo, Shibuya.** Objective Evaluation of Seam Pucker: USING AUTOMATED CONTACTLESS MEASUREMENT TECHNOLOGY. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 1992, Sv. 5, 4, stránky 24-33.
- [3] **Brad, Raluca, Hăloiu, Eugen a Brad, Remus.** Seam puckering evaluation method for sewing process. *Remus BRAD Ph.D.* [Online] 2014. [Citace: 19. červen 2015.] <http://remus.ulbsibiu.ro/publications/papers/2014%20puckering.pdf>.
- [4] **FORMÁNEK, Joseg, Ing., Ph.D.** Copyright Š 2006 ZČU v Plzni - Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů. ZČU v Plzni - Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů. [Online] Katedra konstruování strojů, 11. Leden 2007. [Citace: 15. Únor 2018.] http://home.zcu.cz/~formanek/mmvyuka/Data/opticke_snimace/optika_vzdalenost.htm.
- [5] **NĚMEČEK, Tomáš.** Softwarové rozhraní pro laserový triangulační senzor TLE1. Liberec : TUL, 2014.

STUDIUM KŘIVOSTI TAŽENÉHO VLÁKNA POMOCÍ OBRAZOVÉ ANALÝZY

Vítovský David

Sekce - TEXTIL,
Fakulta textilní, 2. ročník
Magisterský studijní program – PRŮMYSLOVÉ INŽENÝRSTVÍ

Abstrakt: Práce se zabývá výpočtem dvojnásobku střední křivosti povrchu vlákna vzniklého tažením na základě videozáznamu zachycujícího proces vytvoření vlákna. Z pořízeného videozáznamu experimentu jsou zpracovány jednotlivé snímky pomocí programu vytvořeného v prostředí Matlab. Ze snímků záznamu je pomocí obrazové analýzy extrahován profil vlákna. Využitím lineární regrese je hrana profilu vlákna postupně prokládána polynomem n -tého řádu. Aplikací matematických a fyzikálních vztahů je výpočítán dvojnásobek střední křivosti vlákna. V rámci práce bylo vytvořeno grafické uživatelské rozhraní, díky kterému lze nastavovat parametry pro analýzu obrazu a prohlížet dosažené výsledky. V rámci uživatelského rozhraní je implementováno ověření výpočtu křivosti na tělesech se známou křivostí.

Klíčová slova: dvojnásobek střední křivosti, lineární regrese, tažené vlákno, obrazová analýza, uživatelské rozhraní

1. Úvod

Práce se zabývá nanovláknem vzniklým tažením. Jejich hlavní výhodou oproti vláknům vzniklým elektrostatickým zvlákňováním je možnost tvořit vlákna s konkrétní délkou, průměrem a orientací. Nanovláknem s konkrétní délkou a orientací jsou vhodná například pro optická vlákna a malá fotonická zařízení. Vlákna jsou v současnosti vytvářena na experimentálním základě. Vhodnou volbou parametrů, jako jsou například polymerní roztok, průměr kapiláry, rychlost tažení, teplota, se buď vytvoří, nebo nevytvoří vlákno. Vytvoření vlákna zdánlivě odporuje teorii Plateau-Rayleighově nestabilitě. Při dosažení této nestability se z kapaliny přestane vytvářet válcové těleso a začne se rozpadat na jednotlivé kapky. Při tvorbě vlákna tažením se však dosahuje velkých vzdáleností a válcové těleso se nerozpadá, což je způsobeno změnou struktury válcového tělesa při procesu tažení. Přestane se jednat o kapalinu. V důsledku vypařování rozpouštědla z polymerního roztoku při procesu tvorby vlákna se z roztoku stává tuhé těleso. Pokud by byl stanoven předpis určující vztah jednotlivých parametrů k vytvoření vlákna určité délky, bylo by možné vlákna vyrábět dle požadavků například na délku a průměr.

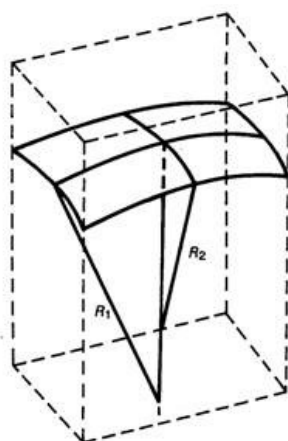
Cílem této práce je pomoci k fyzikálnímu popisu procesu tažení vlákna, neboť není zcela popsán. K určení předpisu pomůže zkoumání kapilárního tlaku v polymerním roztoku. Klíčovým parametrem pro určení kapilárního tlaku je křivost povrchu. Právě určení dvojnásobku střední křivosti vlákna je předmětem této práce.

2. Matematicko-fyzikální popis

Podmínku rovnováhy tlaků nad a pod zakřiveným povrchem popisuje Young-Laplaceova rovnice

$$p_c = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \sigma(2\kappa) \text{ [Pa]}, \quad (2.1)$$

kde σ je povrchové napětí, R_1 a R_2 jsou poloměry oskulačních kružnic a p_c je kapilární tlak. Vztah mezi poloměry oskulačních kružnic lze vyjádřit jako dvojnásobek střední křivosti 2κ . Graficky je situace znázorněna na Obr. 1 [1].



Obr. 1 – Znázornění poloměrů oskulačních kružnic Young-Laplaceovi rovnice [1].

Například pro válec $R_1 = R$, $R_2 = \infty$. Dosazením do vztahu (2.1)

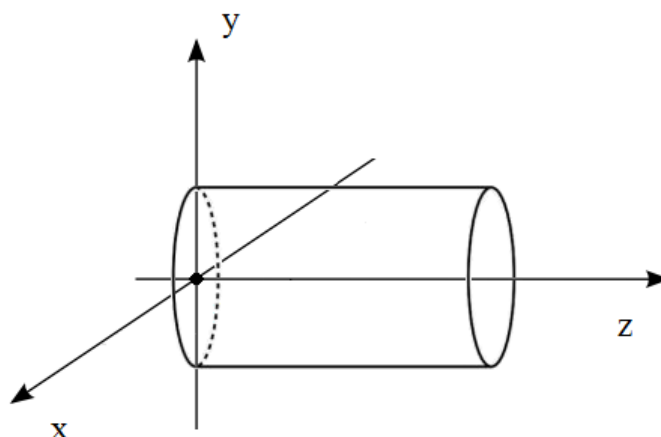
$$p_c = \sigma \left(\frac{2}{R} \right). \quad (2.2)$$

Kapilární tlak je určen poloměry oskulačních kružnic, resp. dvojnásobkem střední křivosti, a povrchovým napětím kapaliny. Povrchové napětí je závislé na použitém polymerním roztoku a teplotě. Povrchové napětí s rostoucí teplotou klesá.

Dvojnásobek střední křivosti je vyjádřen jako divergence normály, vektoru kolmém k tečné rovině

$$2\kappa = \vec{\nabla} \vec{n} = \frac{\partial n_x(x)}{\partial x} + \frac{\partial n_y(x)}{\partial y} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \quad (2.3)$$

kde R_1 a R_2 jsou poloměry oskulačních kružnic ve směru osy x a osy y . Na Obr. 2 je těleso $z = f(x, y)$ zobrazeno v kartézské soustavě souřadnic. Je zvolena orientace systému taková, že vlákno představované válcovým tělesem leží ve směru osy z .



Obr. 2 – Naznačení válcového tělesa v kartézském souřadném systému.

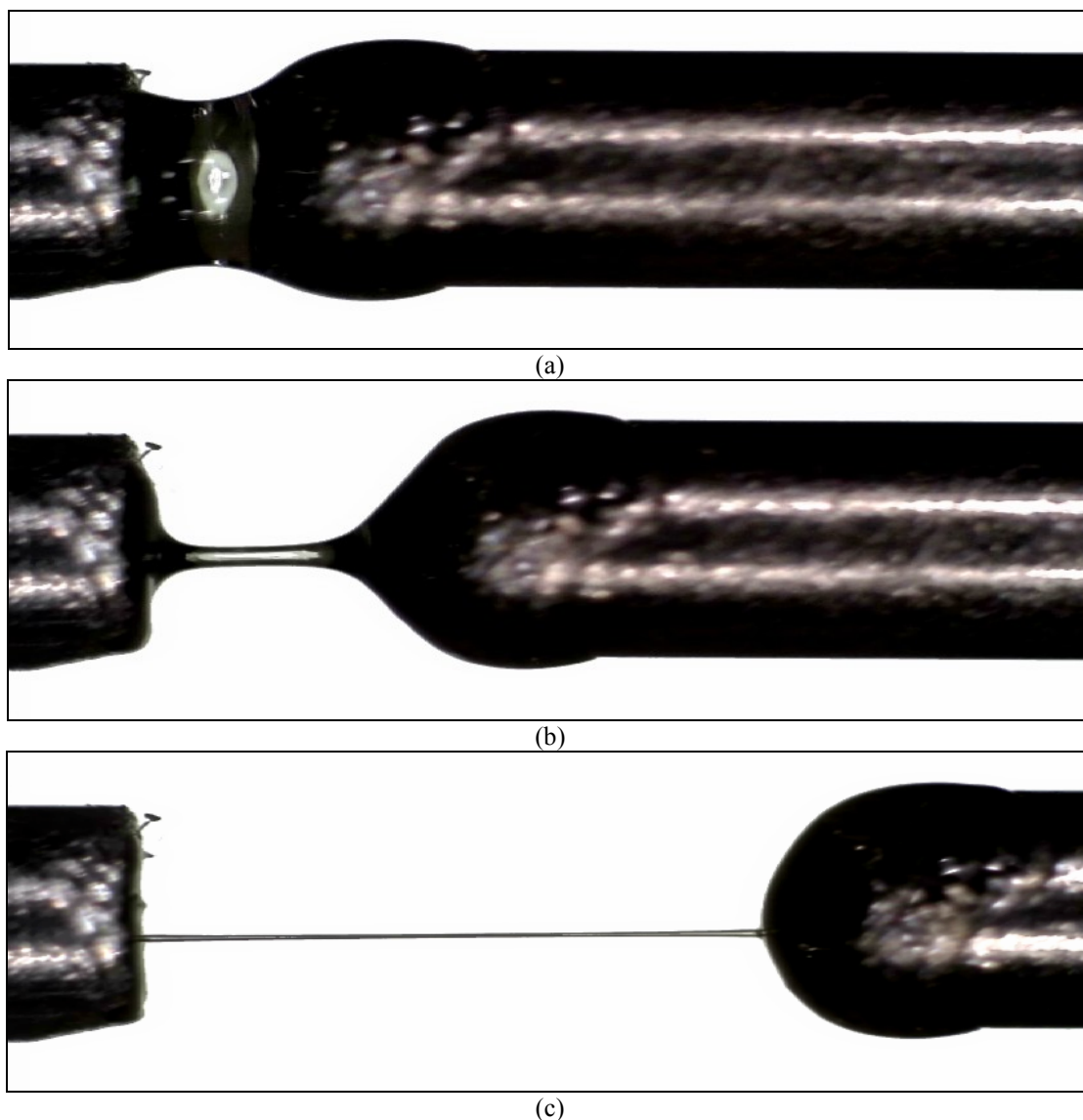
Za předpokladu osově symetrického tělesa popsaného křivkou, poloměr tělesa $r = f(z)$, lze vztah při vyjádření operátorů divergence a gradientu v cylindrických souřadnicích zjednodušit. Po úpravách popsaných v práci prof. Lukáše [2] je dvojnásobek střední křivosti vyjádřen vztahem

$$2\kappa = \vec{\nabla} \vec{n} = \frac{1}{f(z)} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2}} - \frac{\frac{\partial^2 f}{\partial z^2}}{\left[1 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2\right]^{3/2}} \quad (2.4)$$

Vztah (2.4) lze využít pro výpočet dvojnásobku střední křivosti libovolného tělesa vzniklého rotací kolem osy z popsaného křivkou $f(z)$ [2].

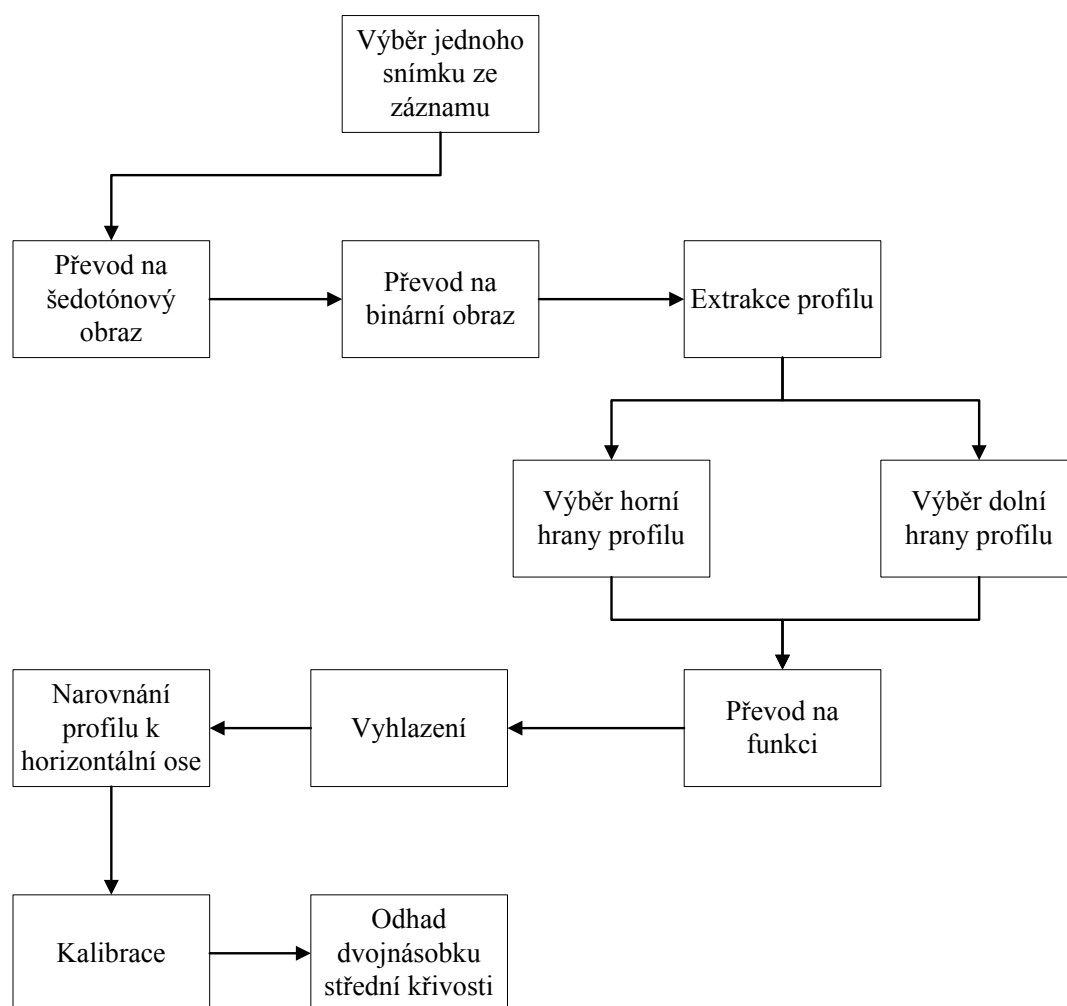
3. Popis experimentu

V rámci práce byl proveden experiment, na kterém byla studována křivost vlákna během jeho vzniku při procesu tažení. Dvě kapiláry naplněné polykaprolaktonem rozpuštěným v ethanolu jsou od sebe odtahovány. Jedna kapilára je stacionární, druhá je posouvána pomocí přístroje KD Scientific. Horizontální pohyb umožňuje krokový motor s mikrokrokem $0,165 \mu\text{m}$. Na počátku experimentu jsou kapiláry v kontaktu, po spuštění posunu se začnou posouvat horizontálně směrem od sebe. Jako kapiláry byly použity jehly s průměrem $1,2 \text{ mm}$. Vytvoření vlákna tažením jedné kapiláry od druhé bylo zaznamenáno ve formě videozáznamu v laboratořích TUL pomocí mikroskopu Dino-Lite. Mikroskop se ovládá pomocí softwaru Dino-Capture 2.0. Mikroskop byl před provedením experimentu připevněn ke stojanu. Čočky mikroskopu byly nastaveny tak, aby byl obraz nejostřejší v místě tvořící profil vlákna. Podle rychlosti, kterou se kapiláry vůči sobě pohybují, se vytvoří či nevytvoří vlákno. Na Obr. 3 je zobrazen průběh experimentu ve třech momentech. Experiment trvá 16 s . Čas $t = 0 \text{ s}$ představuje počátek experimentu a je zobrazen na Obr. 3 (a). Kapiláry jsou smočeny v roztoku a vzájemně v kontaktu. Na Obr. 3 (b) je zachycen moment $t = 5 \text{ s}$, kdy se začne vytvářet vlákno. Obr. 3 (c) představuje ukončení experimentu v čase $t = 16 \text{ s}$, vlákno se vytvořilo.



Obr. 3 – (a) Počátek experimentu, (b) vytváření vlákna, (c) konec experimentu.

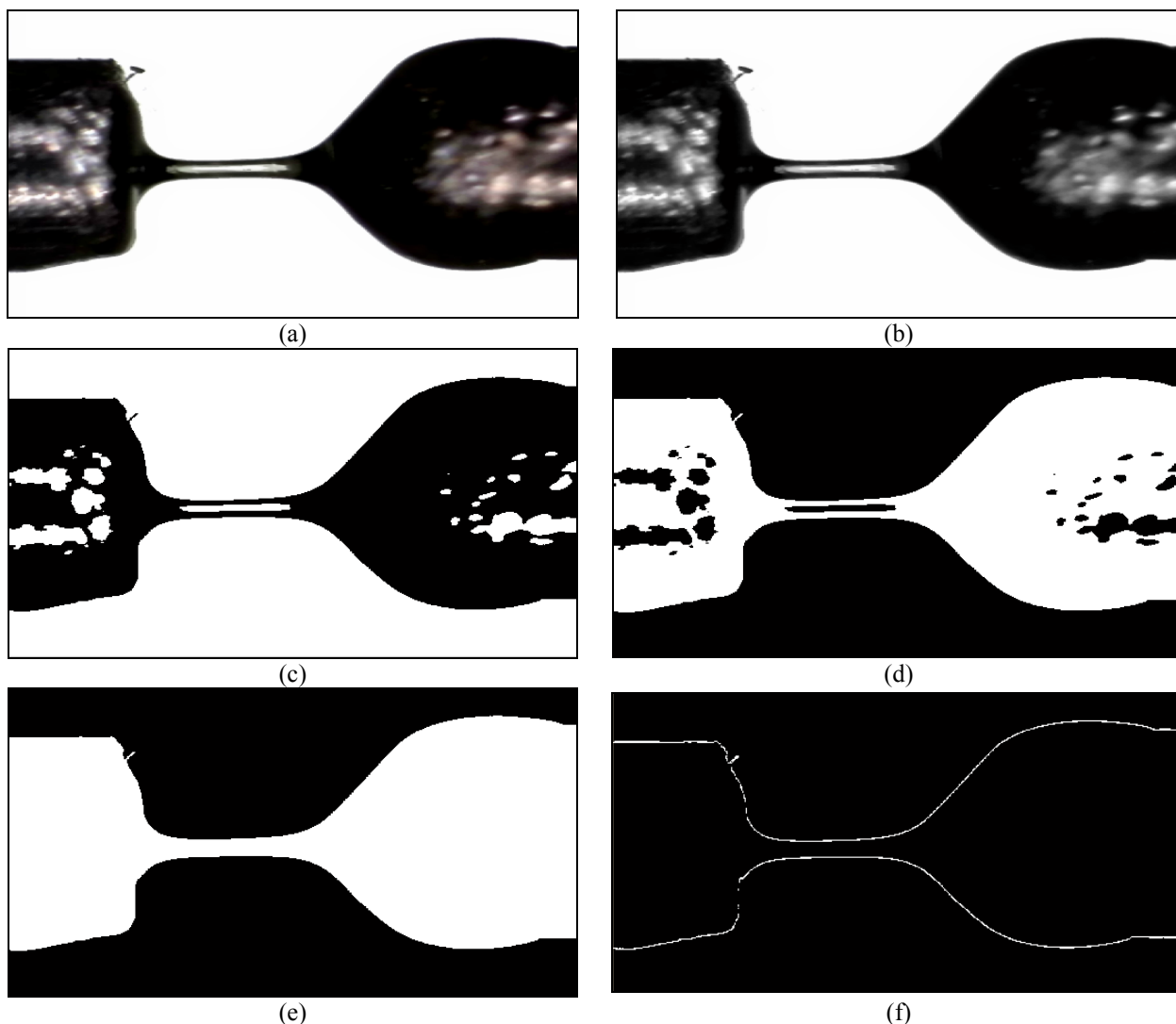
V následujících podkapitolách je vysvětlen postup zpracování záznamu obrazovou analýzou využitím softwarového prostředí Matlab firmy MathWorks[®] tak, aby výstupem byl odhad střední křivosti těles na jednotlivých snímcích. Postup zpracování je graficky zobrazen vývojovým diagramem na Obr. 4.



Obr. 4 – Postup zpracování záznamu.

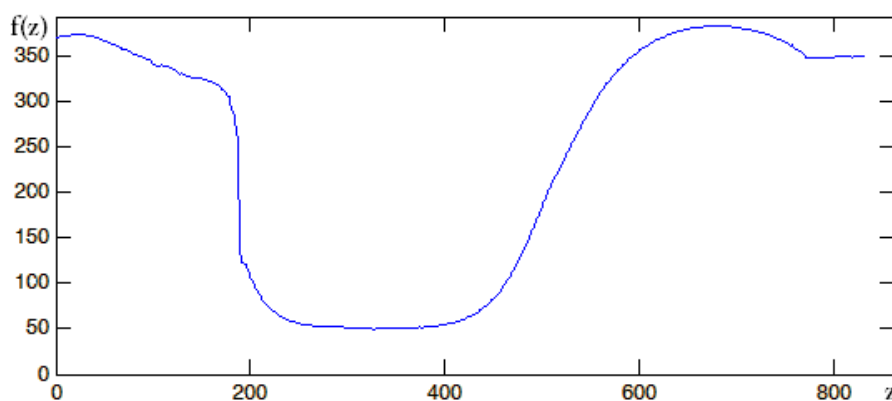
3.1 Zpracování obrazu

Cílem úprav obrazu je získání matematického popisu profilu vlákna. Barevný obraz, vzorek záznamu experimentu, musí projít operacemi, které obraz postupně zjednoduší a umožní snadný odhad předpisu profilu. Na Obr. 5 jsou zobrazeny jednotlivé kroky zpracování obrazu Obr. 3 (b). Obr. 5 (a) představuje výběr vzorku ze záznamu. Takový vzorek je popsán RGB vektorem, třemi složkami intenzity světla – červené, zelené a modré barvy. Barevný obraz je převeden na monochromatický Obr. 5 (b), popsáný pouze jednou složkou intenzity světla. Pomocí globálního prahování je monochromatický obraz převeden na binární obraz Obr. 5 (c). Inverzí logických úrovní binárního obrazu vznikne Obr. 5 (d), kde logická jednička představuje oblast zájmu. Aplikací morfologických operací je získán binární obraz Obr. 5 (e) s vyplněním vlákna. Odečtením objektu o 1 pixel menší od vyplněného binárního obrazu vznikne obraz s profilem vlákna Obr. 5 (e).



Obr. 5 – (a) Vzorek záznamu, (b) šedotónový obraz, (c) binární obraz, (d) binární obraz s předmětem zájmu reprezentovaným „logickou 1“, (e) vyplnění děr, (f) profil útvaru.

Pro další zpracování je vybrána spodní hrana profilu obrazu a je převedena na funkci jedné proměnné označené $f(z)$ z důvodu korespondence s teoretickým výkladem z představuje osu ve směru posunu kapiláry. Průběh funkce $f(z)$ představující spodní profil zkoumaného objektu z Obr. 3 (b) je znázorněn na Obr. 6.



Obr. 6 – Profil z Obr. 3 (b) převedený na funkci $f(z)$.

Pozice osy rotace tělesa je spočítána na základě umístění středu kapiláry. Před aplikováním vztahu (2.4) pro výpočet dvojnásobku střední křivosti je průběh funkce upraven. Vzhledem k výskytu prvních a druhých derivací by skoky funkční hodnoty $f(z)$ o jeden pixel byly příliš strmé. Na průběh funkce je aplikován průměrovací filtr, který odstraní lokální strmé stoupání funkční hodnoty. Využití vztahu (2.4) je podmíněno osovou symetrií tělesa. Při zaznamenávání může být kamera v nesouladu s osou kapilár. Pro správnost výpočtu křivosti je profil narovnan. Z aritmetického průměru krajních 10 bodů je spočítána směrnice a body původního profilu upraveny tak, aby směrnice přepočítaného profilu byla nulová.

3.2 Výpočet dvojnásobku střední křivosti

Mezi jednotlivými vzorky funkce $f(z)$ je délkový rozdíl 1 px. Dvojnásobek střední křivosti je počítán v metrických jednotkách. Pro převod ze systému pixelů do metrického systému se funkce $f(z)$ zkalibruje. Pomocí obrazové analýzy se spočítá průměr kapiláry v pixelech d_1 a průměr kapiláry d_2 je znám. Převodní vztah délky z pixelů na milimetry

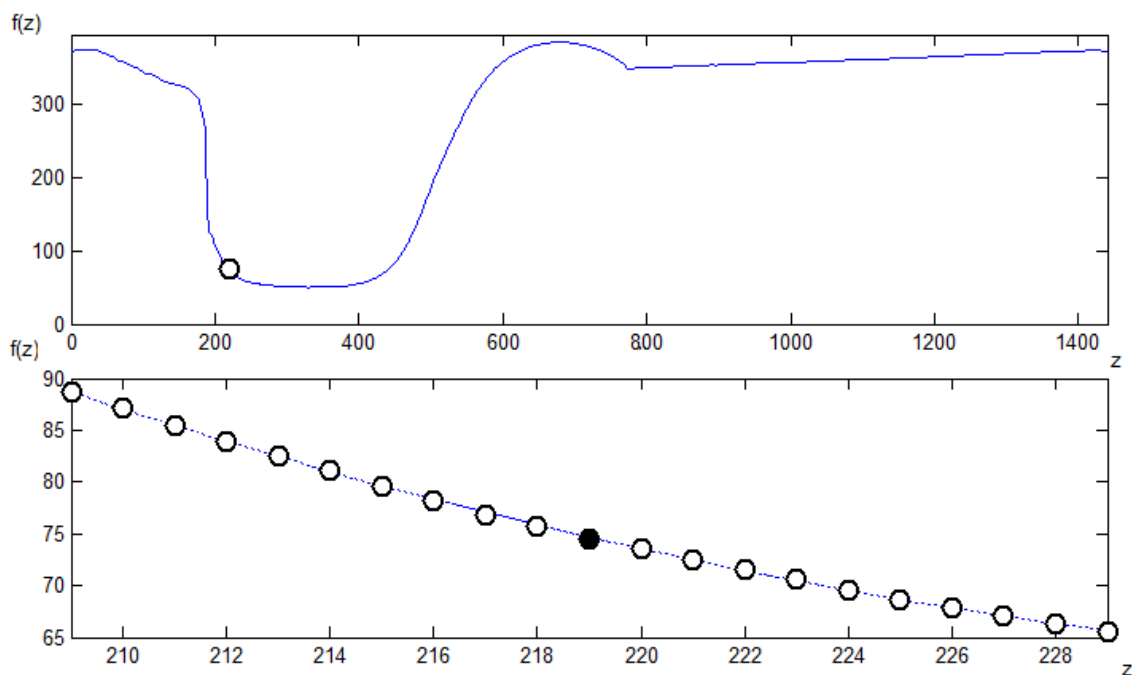
$$c = \frac{d_1[px]}{d_2[mm]} \quad (3.1)$$

je dosazen do vztahu pro výpočet dvojnásobku střední křivosti rotačního tělesa (2.4)

$$2\kappa = c \cdot \left(\frac{1}{f(z)} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2}} - \frac{\frac{\partial^2 f}{\partial z^2}}{\left[1 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2\right]^{3/2}} \right) [mm^{-1}]. \quad (3.2)$$

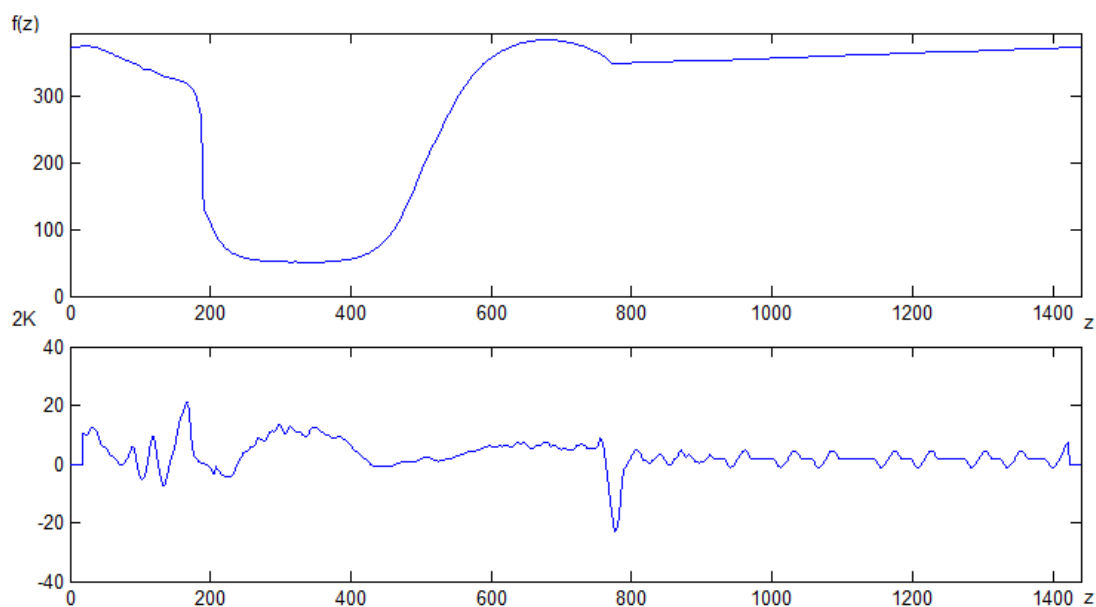
Při výpočtu 2κ se aplikací vztahu (3.2) eliminuje vliv rozlišení kamery nebo vliv přiblížení či vzdálenosti kamery od objektu. Při určení průměru kapiláry v mm je dvojnásobek střední křivosti počítán v jednotkách mm^{-1} .

Pro výpočet dvojnásobku střední křivosti s využitím vztahu (3.2) je nutné vyjádřit funkci analyticky. Předpis funkce se odhadne aproximací polynomem n -tého řádu. Pro odhad je využito metody nejmenších čtverců. Křivka popisující těleso je prokládána po částech. Úsek je dán bodem a velikostí jeho okolí, které je proximováno polynomem. K polynomu je spočítána první a druhá derivace a je dosazeno do vztahu (3.2) pro výpočet 2κ . Odhad je proveden pro každé okolí bodu křivky. Na Obr. 7 je pomocí funkce *polyfit* proloženo okolí bodu $z = 219$ o velikosti 10 pixelů polynomem druhého stupně. Horní graf představuje označení místa profilu, kde je okolí umístěno. Spodní graf představuje jednotlivé body okolí a jeho proložení polynomem.



Obr. 7 – Ukázka proložení okolí bodu $z = 219$ o velikosti 10px polynomem 2. stupně.

Po aplikaci algoritmu pro každý bod křivky je spočítán průběh 2κ rotačního tělesa popsaného křivkou $f(z)$, viz Obr. 8.



Obr. 8 – Výpočet 2κ profilu s proložením polynomu 2. stupně

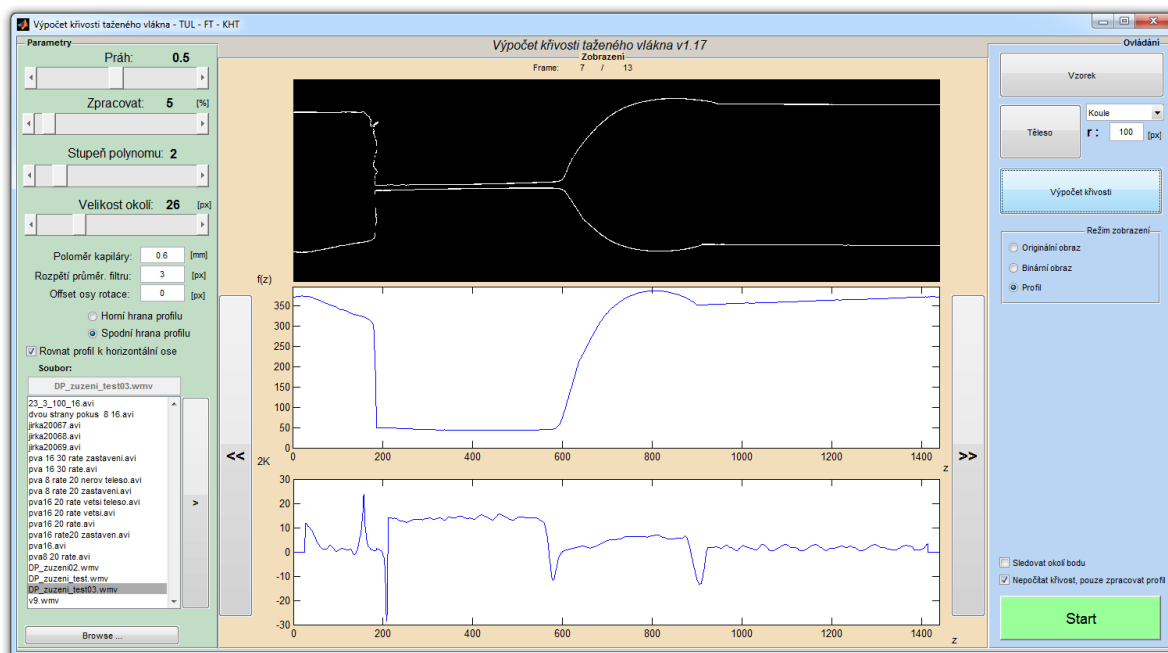
4. Uživatelské rozhraní

Algoritmus výpočtu dvojnásobku střední křivosti vlákna byl implementován do grafického uživatelského rozhraní, viz Obr. 9. Program je rozdělen do třech částí.

Centrální část slouží k zobrazení obrazu, funkce vybrané hrany profilu a průběhu dvojnásobku střední křivosti aktuálního snímku záznamu. Po krajích grafů jsou umístěny šipky pro prohlížení výsledků jednotlivých snímků. V horní části je zobrazeno číslo aktuálního snímku a číslo posledního snímku.

Levá část slouží k nastavení parametrů výpočtu. Ve spodní části nastavení je umístěna volba složky se soubory a volba z podporovaných souborů ke zpracování. Nad seznamem souborů je volba spodní/horní hrany profilu a možnost vypnutí funkce rovnání k horizontální ose. V nastavovací části je také zadáván poloměr kapiláry pro kalibraci, velikost průměrovacího filtru a posun osy rotace pro případ, že se vlákno vytvoří mimo osu. V horní části nastavení jsou umístěny posuvníky, kterými se nastaví velikost okolí bodu, řád polynomu, kterým je aproximováno, prahová hodnota a procentuelní počet snímků, které mají být z videozáznamu zpracovány.

Pravá část slouží k ovládání programu. V horní části je tlačítko pro zpracování jednoho, prostředního, snímku záznamu. Stisknutím tlačítka „*Těleso*“ je místo vzorku analyzováno vybrané těleso. Na výběr je mezi válcem, koulí, kuzelem a katenoidem. Zároveň je možné u těles nastavovat parametry jako je poloměr nebo délka. Stisknutím tlačítka „*Výpočet křivosti*“ je spočítán 2κ vzorku, tělesa nebo aktuálně zobrazeného snímku videozáznamu. Pod ovládacími tlačítky je nastavení zobrazení aktuálního snímku. Je možné volit mezi zobrazením originálního obrazu, binárního obrazu nebo profilu. Pro zobrazení proložení polynomem slouží zaškrťovací políčko „*Sledovat okolí bodu*“. Místo průběhu 2κ je zobrazeno okolí bodu a proložení polynomem. Bod, který se zobrazí, je volen na posuvníku, který se při zaškrtnutí této volby zobrazí. Zeleným tlačítkem „*Start*“ je spuštěno zpracování v závislosti na zaškrtnutém políčku „*Nepočítat křivost, pouze zpracovat profil*“. Pokud je zaškrtnuto, není počítán časově náročný dvojnásobek střední křivosti pro každý snímek, jsou pouze zpracovány snímky a výpočet 2κ je možné provést pro konkrétní snímky dodatečně tlačítkem „*Výpočet křivosti*“.



Obr. 9 – Uživatelské rozhraní programu

5. Závěr

Z provedeného experimentu tažení vlákna byl pořízen záznam v podobě digitálního souboru, který byl zpracován a upraven pomocí obrazové analýzy. Výsledkem úprav jsou obrazy profilu vlákna v jednotlivých časových úsecích. Z profilů byl vyhodnocen dvojnásobek střední křivosti. V rámci práce byl vytvořen program ve formě uživatelského grafického rozhraní zpracovávající záznam v digitální podobě. Pomocí programu lze identifikovat dvojnásobek střední křivosti vlastních záznamů při dodržení stanovených kritérií. V rámci programu bylo vytvořeno i ověření správnosti výpočtu křivosti na tělesech se známou křivostí, které se shodují s teoretickým předpokladem. Byl odzkoušen vzájemný vliv funkcí uživatelského rozhraní a program byl upraven tak, aby byl uživatelsky přívětivý a nedocházelo k výjimkám v programu, které by mohly způsobit jeho pád. Data získaná při výpočtu jsou uložena v datové struktuře a je možné k nim přistupovat i z Matlabu, mimo uživatelské rozhraní. Z výsledků je patrný moment, kdy se z roztoku začne vytvářet tuhé těleso – v čase $t = 5$ s.

Díky programu lze relativně rychle a snadno analyzovat rozložení dvojnásobku střední křivosti v záznamech experimentů, kde tažení vlákna probíhá v horizontálním směru, což by mělo vést k určení rozložení kapilárního tlaku při tažení vlákna z polymerního roztoku. V budoucnu by tak mohly být díky programu definovány podmínky pro vytvoření vlákna o požadované délce, průměru a z požadovaného materiálu. Tvorba takových vláken by se uplatnila např. u fotonických zařízení.

Literatura

- [1] JINDRA J. a kol. *Fyzikální vlastnosti živých organizmů* [online]. [cit. 2017-12-24], Dostupné z: <https://kof.zcu.cz/vusc/pg/termo09/mechanics/v/v2.htm>
Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň, 2010
- [2] LUKAS D. a kol. *Technologie drawing*. Technická univerzita v Liberci, Manuscript v přípravě, 2016.
- [3] GONZALES, R.C., WOODS, R.E. *Digital Image Processing*, 3rd edition, Pearson Prentice Hall, New Jersey, 2008.

ELEKTROMAGNETICKÉ STÍNÍCÍ VLASTNOSTI A AC A DC VODIVOST EPOXIDOVÝCH KOMPOZITŮ PLNĚNÝCH UHLÍKOVÝMI NANO A MIKRO PLNIVY

Novotná Jana

Sekce - TEXTIL,
Fakulta textilní, 4. ročník
Doktorský studijní program – TEXTILNÍ INŽENÝRSTVÍ

Abstrakt: Cílem této studie je studium elektricky vodivých polymerních kompozitů s nízkou koncentrací uhlíkových plniv. Byly testovány elektromagnetické stínící vlastnosti kompozitů epoxidové pryskyřice obsahující uhlíkové nano a mikro částice. Také byla měřena AC a DC vodivost. Vzhledem k dobré vodivosti střídavého proudu v rádiovém kmitočtu a nízké vodivosti stejnosměrného proudu lze teoreticky tento materiál využít pro výrobu nízkofrekvenčních stínících krytů.

Klíčová slova: uhlíková mikro a nano vlákna, uhlíková plniva, AC a DC vodivost, elektromagnetické stínění

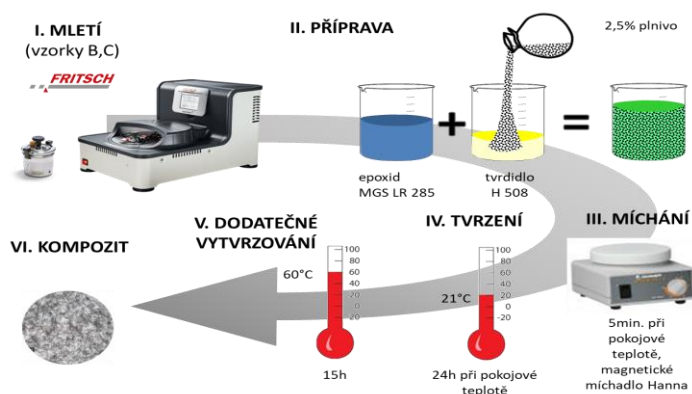
1 Úvod

Obecně jsou uhlíková vlákna elektricky vodivá a vhodná pro konstrukci stínících bariér vzhledem k dobré elektrické vodivosti [1]. Jsou také chemicky odolná a mají nízkou hustotu. Tato studie se zabývá porovnáním elektrických vlastností různých uhlíkových plniv s cílem určení co nejvhodnějšího plniva pro stínící kryty.

Koncentrace plniv byla zvolena na základě předpokládaného perkolačního prahu z předchozích studií [2] a literatury [3][4][5]. Perkolační práh lze snadno určit z experimentální závislosti elektrické vodivosti kompozitního vodivého materiálu na koncentraci vodivého plniva. Výrazný vliv na vodivost polymerního kompozitu má koncentrace vodivé komponenty. Kromě koncentrace vodivých částic záleží také na jejich typu, velikosti a tvaru. Např. snížení průměru kulových částic způsobí pokles perkolačního prahu. U částic, kde je poměr délky a tloušťky větší než 1 vede ke snížení perkolačního prahu zvýšení délky částic. Roli hraje také povrch částic a jejich kompatibilita s použitou pryskyřicí [6].

2 Experiment

2.1. Schéma přípravy vzorků



Obrázek 1: Schéma přípravy výroby kompozitů [8].

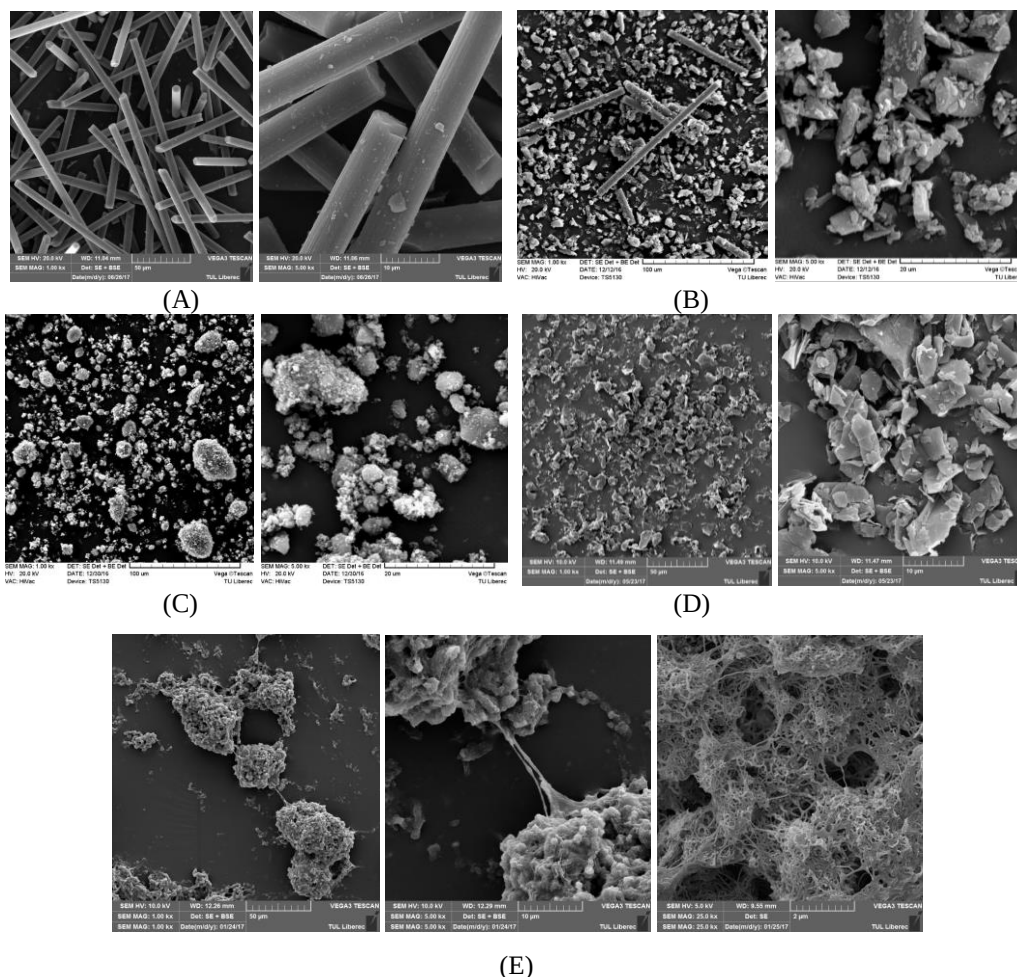
2. 2. Materiál

Byla vyrobena série vzorků z epoxidové pryskyřice MGS LR 285/ H 508, míchací poměr 100:40 dle hmotnosti [7]. Kompozity byly plněny uhlíkovými plnivými v 2,5% hmotnostních koncentracích. Postup výroby je schematicky zobrazen na obr. 1.

Pro experiment byla zvolena tato plniva: vzorek A = vlákna sekaná, vzorek B = vlákna mletá 5min., vzorek C = vlákna mletá 30min.

Mletí vláken bylo provedeno pomocí planetárního mlýnku Fritsch pulverisette 7 [9]. Během mletí dochází k působení odstředivé síly při otáčení mlecích misek kolem jejich vlastní osy a tyto síly mají účinek na obsah mlecí misky, sestávající z materiálu, který má být rozemlet a mlecích kuliček. Mlecí miska a opěrný kotouč, v němž je usazena mají opačné směry otáčení, aby se odstředivé síly stýkaly ve stejném a v opačném směru. Výsledkem je, že mlecí kuličky spadnou dovnitř stěny misky s třecím účinkem a zasáhnou opačnou stěnu s nárazovým účinkem. Dochází k rotačnímu pohybu mlecích misek a zároveň k rotačnímu pohybu mlecích kuliček uvnitř misek.

Dále byly pro porovnání připraveny vzorky plněné grafitem = vzorek D a uhlíkovými nanovláknými MWCNT [10] = vzorek E. SEM snímky jednotlivých plniv jsou uvedeny na obr.2.



Obrázek 2: Vzorek A – Carbis, vzorek B – vlákna mletá 5min., vzorek C – vlákna mletá 30min., vzorek D – grafit, vzorek E – MWCNT.

Tabulka 1: Velikost plniv.

	A	B	C	D	E
Plnivo	Carbiso milled	Carbiso mleté 5min.	Carbiso mleté 30min.	Grafit	MWCNT
Parametry mletí	-	1 X	6 X	-	-
Ekvivalentní průměr částic[μm]	7,0	3,2	1,5	0,4	0,0095

Výchozí sekaná vlákna byla Carbiso Milled Carbon Fibre s průměrem 7 μm a průměrnou délkou 100 μm [11]. Geometrie plniv byla charakterizována pomocí digitálního zpracování obrazu a softwarových prvků NIS-Elements. Velikost částic byla stanovena na základě snímků SEM z VEGA 3 TESCAN a VEGA TS 5130.

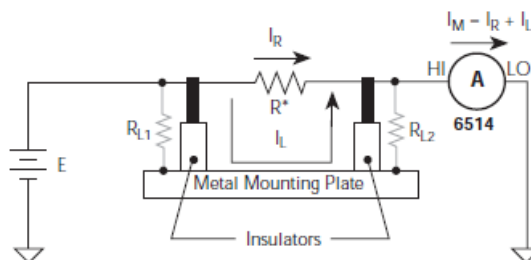
2. 3. Vodivost

Charakteristiky stejnosměrného proudu DC a napětí byly měřeny elektroměrem Keithley 6514 [12]. Dielektrické vlastnosti zahrnující frekvenční závislost reálné části i imaginární část permitivity a AC vodivost byly měřeny pomocí analyzátoru AGILENT 4294 při frekvenčním rozsahu 100 Hz -3 MHz [13].

Tabulka 2: AC a DC vodivost

Veličina	Stejnosemřná vodivost	Střídavá vodivost
Zkratka	$\sigma_{DC}[Sm^{-1}]$	$\sigma_{AC}[Sm^{-1}]$
Vzorce	$\sigma_{DC} = \frac{I_M 4d}{U \pi D^2}$	$\varepsilon'' = \varepsilon' \tan \delta$ $\sigma_{AC} = 2\pi f \varepsilon_0 \varepsilon''$ $\varepsilon' = \frac{Cd}{\varepsilon_0 S}$
Použité přístroje	Keithley 6514	AGILENT 4294
Zdroj	Statron 3241.5 (DC 0-300V/0.4A)	

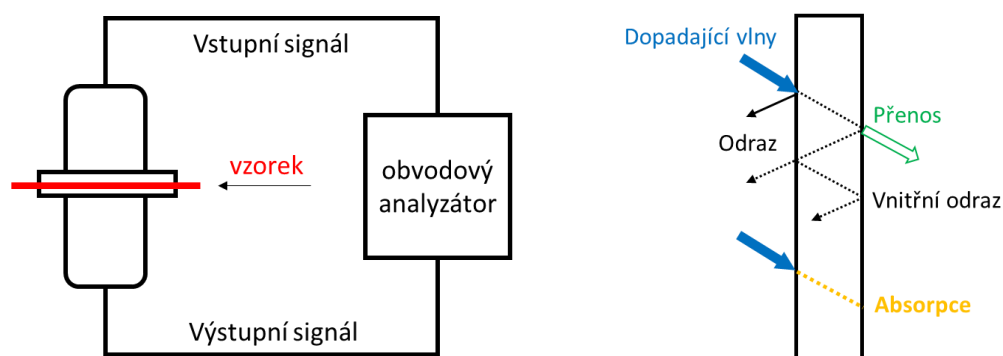
Pro získání co nejkompletnější analýzy elektrických vlastností kompozitů byly měřeny konduktance C , ztrátový úhel $\tan \delta$ (z těchto údajů pak dopočtena střídavá vodivost). Stejnosemřná vodivost byla získána pomocí obvodu (Obr. 3), kde bylo na zdroji nastaveno konkrétní napětí dopočtené podle tloušťky vzorku.



Obrázek 3: Schéma měření DC vodivosti[3].

2. 4. Elektromagnetické stínění

Stínicí vlastnosti byly měřeny v rádiovém kmitočtu 30 MHz-2 GHz, podle ASTM D4935-10. Tato norma pracuje s předpokladem dopadu rovinné vlny na stínicí přepážku v blízké zóně elektromagnetického pole. Měřicí přípravek sestával z držáku vzorku koaxiálního tvaru (výrobce Electro-Metrics, Inc., model EM-2107A), jehož vstup a výstup byl připojen k obvodovému analyzátoru. Pro generování a přijímání elektromagnetického signálu bylo použito obvodového analyzátoru Rohde & Schwarz ZNC3, viz [6].

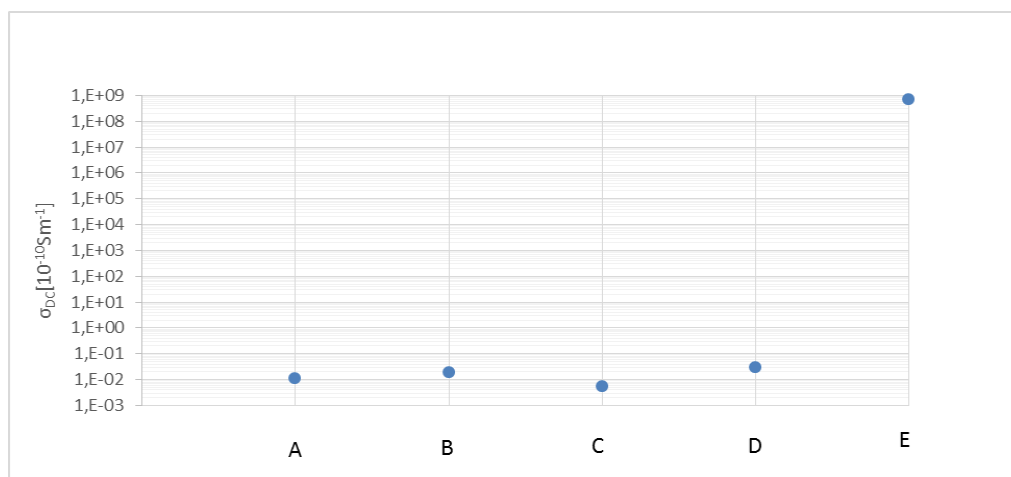


Obrázek 4: Schéma EMI stínění.

3 Výsledky

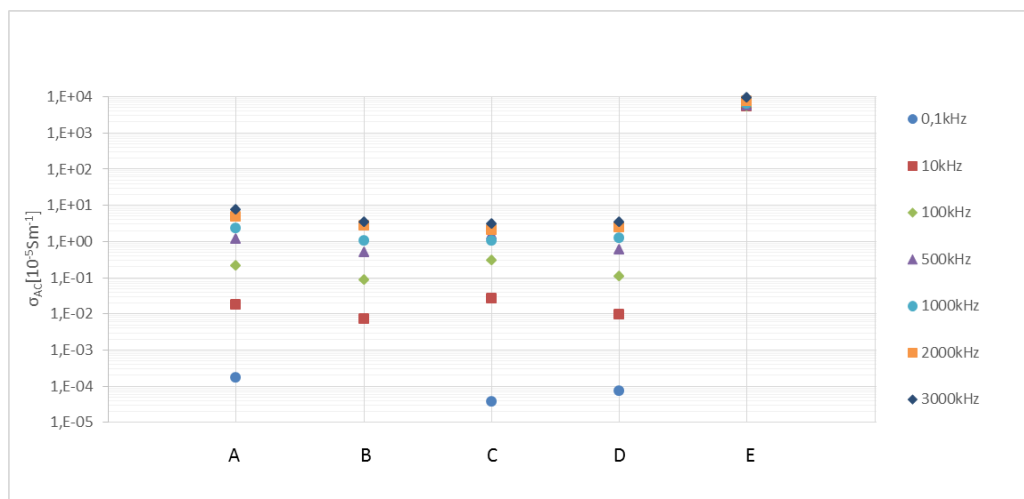
DC vodivost izolátorů je obvykle $5 \times 10^{-16} \text{ Sm}^{-1}$ [1]. Jak bylo zjištěno v předešlých pracích [2], přidáním vodivých plniv s podílem 2,5% objemových složek se DC vodivost σ_{DC} obvykle zvyšuje díky vzniku vodivé sítě. V blízkosti perkolačního prahu jsou částice v dostatečné blízkosti a tvoří vodivé řetězce. Jak vyplývá z obr. 5, krátké mletí vláken vodivost mírně zvyšuje, naopak delší mletí rozdrobí vlákna na prachové části a vodivost se naopak sníží. Pro porovnání vodivost grafitu je lepší než vodivost použitých výchozích vláken.

Oproti tomu Al Haik ve své práci uvádí hodnoty DC vodivosti pro 2% grafit $8 \times 10^{-7} \text{ Sm}^{-1}$ a MWCNT $2 \times 10^{-3} \text{ Sm}^{-1}$ [15]. Podle této studie při této koncentraci u grafitu k perkolačnímu prahu nedochází. Nejvyšších hodnot dosahuje kompozit plněný MWCNT, a sice $7 \times 10^8 \text{ Sm}^{-1}$. Jak je patrné z obr. 2, množství vodivých kontaktů je v MWCNT několikanásobně vyšší oproti běžným uhlíkovým plnivům.



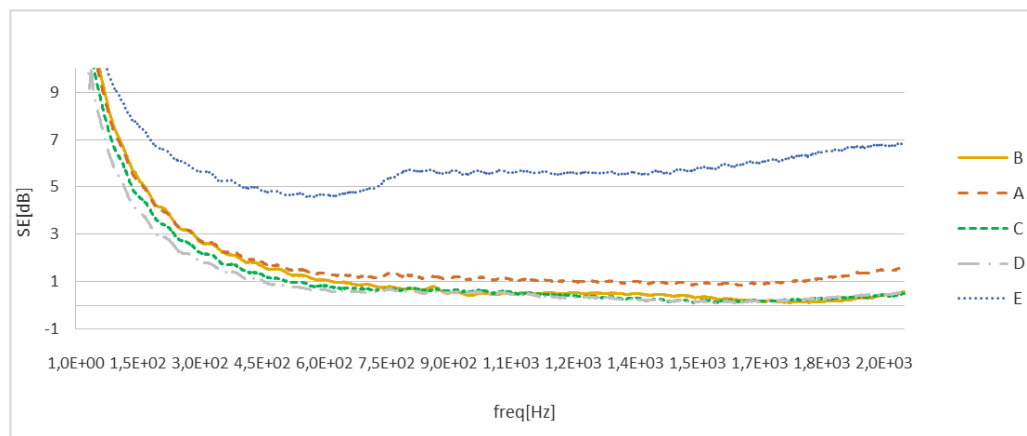
Obrázek 5: DC vodivost.

Z obr. 6 vyplývá, že nejvyšších výsledků AC vodivosti σ_{AC} dosahují opět MWCNT, a to až $9 \times 10^{-2} \text{ Sm}^{-1}$ při 3MHz. Na rozdíl od odborné literatury [16], vliv mletí na vodivost se oproti původním předpokladům neprokázal, naopak u mletých částic je AC vodivost mírně horší. Frekvenční závislost vykazuje nejvyšší výchozí plnivo a to nemletá uhlíková vlákna Carbiso.



Obrázek 6: AC vodivost.

Nejvyšší stínící vlastnosti SE kompozitu vykazuje plnivo MWCNT, jak je vidět na obr. 7. Druhých nejlepších hodnot dosahují uhlíková vlákna Carbiso. Ukázalo se, že mletí plniv stínící účinnost kompozitů zhoršuje.



Obrázek 7: Frekvenční závislost EMI stínění.

4 Závěr

Nejvhodnější materiály určené pro elektromagnetické stínění mají vysokou vodivost a vysokou permeabilitu, a proto největší efektivnosti dosahují kovové kryty. Stále častěji jsou však kovy nahrazovány polymerními materiály, a díky jejich flexibilitě, nízké hmotnosti a v

neposlední řadě i ceně. Elektromagnetické stínění je konstrukčním prostředkem k zeslabení pole rušivých signálů ve vymezené části prostoru. Stínicí materiál působí jako bariéra vůči elektromagnetickému poli pracujícím na velmi širokém frekvenčním pásmu, které může dosahovat: 50 Hz pro zdroje střídavého proudu, 100 kHz - 30 MHz pro dlouhovlnná, středněvlnná a krátkovlnná rozhlasová vysílání, 100 MHz - 500 MHz pro FM a televizní vysílače a několika GHz pro mobilní telefony a radarové zdroje [17].

Uhlíková vlákna Carbisio dosahují stínících hodnot při 30MHz kolem 8 dB. Vzhledem k dobré AC vodivosti v rádiovém kmitočtu a nízké DC vodivosti lze tento materiál využít pro výrobu nízkofrekvenčních stínících krytů.

Poděkování

Tato práce vznikla za podpory projektu SGS projektu SGS 2018 č. 21248. Také bych ráda touto cestou poděkovala za cenné rady a za spolupráci prof. Mgr. J. Erhartovi Ph.D. (KFY), za SEM snímky paní Ing. J. Grabmüllerové (KMI), za poskytnutí vzorků plniv doc. Ing. E. Kuželové Košťákové Ph.D. (KNT) a Ing. V. Kovačičovi (CXI).

Literatura

- [1] M. Paligová, J. Vilčáková, P. Sába, V. Křesálek, J. Stejskal, a O. Quadrat, „Electromagnetic shielding of epoxy resin composites containing carbon fibers coated with polyaniline base“, *Phys. A Stat. Mech. its Appl.*, 2004.
- [2] J. Novotná, M. Pechociaková, a B. Tomková, „Carbon nanoparticles densified C/P composites-changes in electrical and thermal properties“.
- [3] D. D. L. Chung, *Composite Materials*, roč. 22, č. 2. 2010.
- [4] W. Bauhofer a J. Z. Kovacs, „A review and analysis of electrical percolation in carbon nanotube polymer composites“, *Compos. Sci. Technol.*, roč. 69, č. 10, s. 1486–1498, 2009.
- [5] Z. M. Dang, C. W. Nan, D. Xie, Y. H. Zhang, a S. C. Tjong, „Dielectric behavior and dependence of percolation threshold on the conductivity of fillers in polymer-semiconductor composites“, *Appl. Phys. Lett.*, roč. 85, č. 1, s. 97–99, 2004.
- [6] V. Šafařová, „Textilie se zvýšenou odolností vůči elektromagnetickému smogu“, 2014.
- [7] „Technical Information for EPIKOTE Resin MGS LR285“. [Online]. Dostupné z: 2010 www.swiss-composite.ch/pdf/t-Epoxyd-Harz-L-285-LF-e.pdf.
- [8] B. Tomková, J. Novotná, a M. Pechočiaková, „Study on carbon micro/nanoparticles influence on electrical properties of carbon fiber reinforced epoxy matrix composites“.
- [9] „Technical Information Pulverisette 7“. [Online]. Dostupné z: <http://www.fritsch-international.com>.
- [10] „Nanocyl 7000“, 2018. [Online]. Dostupné z: <http://www.nanocyl.com/product/nc7000/>.
- [11] „Technical Information for Carbisio Mil 10 µ Milled Carbon Fibre“. [Online]. Dostupné z: <http://www.easycomposites.co.uk>.
- [12] „Technical Information for Keithley“. [Online]. Dostupné z: <https://www.manualslib.com/manual/748234/Keithley-6514>.
- [13] „Technical Information Agilent 4294A“, 2013. [Online]. Dostupné z: <https://www.keysight.com>.
- [14] J. Novotná, J. Salačová, a M. Pechočiaková, „C/P carbon composites - Reinforcement volume effect on the electrical properties“, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, roč. 254, č. 4.
- [15] M. Safdari a M. S. Al-Haik, „Synergistic electrical and thermal transport properties of hybrid polymeric nanocomposites based on carbon nanotubes and graphite nanoplatelets“, *Carbon N. Y.*, 2013.
- [16] J. Jin, Y. Lin, M. Song, C. Gui, a S. Leesirisan, „Enhancing the electrical conductivity of polymer composites“, *Eur. Polym. J.*, roč. 49, č. 5, s. 1066–1072, 2013.
- [17] V. Safarova a J. Militký, „Electromagnetic Field Shielding Fabrics with Increased Comfort Properties“, *Adv. Mater.*

Název **Studentská vědecká a odborná činnost 2018 - Textil**

Autor kolektiv autorů

Publikace neprošla redakční ani jazykovou úpravou.