



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní

**Teoretická a experimentální analýza
struktury a vlastností polopropustných
membrán pro oděvní účely**

Roman Knížek

AUTOREFERÁT DISERTAČNÍ PRÁCE

Název disertační práce: Teoretická a experimentální analýza struktury a vlastností polopropustných membrán pro oděvní účely

Autor: Roman Knížek

Obor doktorského studia: Textilní technika

Forma studia: Prezenční

Školící pracoviště: Katedra hodnocení textilií

Školitel: prof. RNDr. Oldřich Jirsák, CSc.

Konzultant: prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Složení komise pro obhajobu disertační práce

Předseda: doc. RNDr. Miroslav Brzezina, CSc.

Místopředseda: doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.

Členové: prof. Ing. Petr Louda, CSc.
prof. Ing. Jaroslav Šesták, DrSc., Dr.h.c.
prof. Ing. Jaromír Šňupárek, DrSc. (oponent)
doc. Ing. Ludmila Fridrichová, PhD.
Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.
Ing. Jiří Procházka (oponent)

S disertační prací je možno seznámit se na děkanátu Fakulty textilní Technické univerzity v Liberci.

Liberec 2016

Anotace

Cílem disertační práce je vývoj nanovlákněné membrány pro sportovní a outdoorové oblečení za účelem zvýšení komfortních vlastností těchto oděvů. Jedná se především o vytvoření nanovlákněné membrány s vysokou paropropustností, nízkou prodyšností a vysokou hydrostatickou odolností. Nanovlákněná membrána je vyrobena z polyamidu 6 pomocí elektrostatického zvlákňování, následně hydrofobně upravena pro získání vysoké hydrostatické odolnosti a poté laminována s vrchovým materiálem a/nebo podšívkovým. Byly vytvořeny dvou a třívrstvé lamináty, které chrání nanovlákněnou membránu před poškozením a zároveň je možné z těchto laminátů vytvořit finální oděv. Dále bylo prokázáno, že pro docílení vysoké hydrostatické odolnosti nestačí pouze povrchová hydrofobní úprava nanovlákněné membrány, ale je nutné, aby hydrofobní prostředek pronikl do celé struktury nanovlákněné vrstvy. Z experimentů plyne, že měření kontaktního úhlu smáčení není vhodným ukazatelem pro stanovení hydrofobnosti nanovlákněné membrány pro oděvy. Tato práce se detailně zabývá různými možnostmi hydrofobizace a laminace nanovlákněných vrstev, včetně průniku aditiva do samotné nanovlákněné vrstvy a následným sledováním komfortních vlastností nanovlákněné membrány. Jedná se o první reálnou aplikaci nanovlákněné vrstvy pro oděvní účely.

Klíčová slova: nanovlákněná membrána, laminace, hydrostatická odolnost, Nanospider

Annotation

The goal of this dissertation work is the development of a nanofiber membrane for outdoor and sports clothing to increase their comfort properties. Our main task was the creation of a nanofiber membrane with high steam permeability, low breathability and high hydrostatic resistance. The nanomembrane was made from polyamide 6 by electrospinning, after that, hydrophobic treatment was applied to gain high hydrostatic resistance and finally it was laminated with either the top fabric or with the lining fabric. Two- and three-layer laminates were created which protect the nanofiber membrane from damage and at the same time are suitable for creating the final clothing. It was proven that hydrophobic treatment applied only to the surface of the nanofiber membrane is insufficient for high hydrostatic resistance. It is necessary that the hydrophobic additive penetrates the whole structure of the membrane. Our experiments show that contact angle measurements are not a suitable parameter for determining the hydrophobic properties of nanofiber membranes. This dissertation looks in detail at various possibilities for hydrophobic treatment and lamination of nanofiber layers including the penetration of the nanofiber layer by the hydrophobic additive and at the comfort properties of the final nanofiber membrane. This is the first real use of a nanofiber membrane in the clothing industry.

Keywords: nanofiber membrane, lamination, hydrostatic resistance, Nanospider

Die Annotation

Ziel dieser Dissertationsarbeit ist die Entwicklung einer Nanofasermembrane für Sport- und Outdoorbekleidung mit erhöhten Komforteigenschaften dieser Kleidung. Es handelt sich insbesondere um das Bilden von Nanofasermembranen mit hoher Dampfdurchlässigkeit, niedriger Durchlässigkeit und hoher hydrostatischer Beständigkeit. Die Nanofasermembrane wird aus Polyamid 6 mittels elektrostatischem Verspinnen hergestellt, anschließend für das Erreichen hoher hydrostatischer Beständigkeit hydrophob aufbereitet und dann mit dem Obermaterial oder der Futterschicht laminiert. Es wurde zwei- und dreischichtige Lamine hergestellt, welche die Nanofasermembrane vor Beschädigung schützen und gleichzeitig die Fertigung der finalen Kleidungsstücke erlauben. Weiter wurde nachgewiesen, dass für das Erreichen einer hohen hydrostatischen Beständigkeit eine oberflächige hydrophobe Aufmachung der Nanofasermembrane unzureichend ist und es notwendig ist, dass das hydrophobe Mittel die gesamte Struktur der Nanofaserschicht durchdringt. Aus dem Experiment folgt, dass die Messung des Kontaktwinkels der Benetzung ungeeigneter Kennwert für die Bestimmung der Hydrophobie der Nanofasermembrane für Bekleidung ist. Diese Arbeit beschäftigt sich mit verschiedenen Möglichkeiten der Hydrophobierung und Laminierung von Nanofaserschichten, mit dem Durchdringen von Additiven in die eigentliche Nanofaserschicht und verfolgt die Komforteigenschaften der Nanofasermembrane. Es handelt sich um die erste reale Anwendung einer Nanofaserschicht für Bekleidung.

Schlüsselwörter: Nanofasermembrane, Laminierung, hydrostatische Beständigkeit, Nanospinder

Obsah

1	Úvod	1
2	Předmět a cíle disertační práce.....	2
3	Přehled současného stavu problematiky.....	3
4	Přehled kroků k vývoji nanovlákněné membrány.....	5
4.1	Výroba nanovlákněné vrstvy	5
4.2	Hydrofobizace nanovlákněné vrstvy.....	6
4.2.1	Nánosování hydrofobizačního prostředku pomocí fuláru.....	6
4.2.2	Zvýšení hydrofobity pomocí postřiku.....	10
4.2.3	Zvýšení hydrofobity pomocí nízkovakuové plazmy.....	12
4.3	Laminace	14
4.3.1	Kombinace nánosování a podlepování	14
4.3.2	Tvorba dvou a třívrstevných laminátů.....	15
4.4	Výsledky laminace nanovlákněné membrány s tkaninou.....	17
4.5	Plánovaný experiment.....	18
5	Přehled dosažených výsledků.....	23
6	Zhodnocení výsledků a nových poznatků	26
7	Seznam použité literatury	27
8	Práce autora se vztahem ke studované problematice	35
8.1	Publikace v odborných časopisech.....	35
8.2	Příspěvek ve sborníku z konference.....	35
8.3	Odborná literatura	36
8.4	Patenty a užité vzory	36
	Curriculum Vitae	38
	Stručná charakteristika dosavadní odborné, výzkumné a vědecké činnosti	40
	Zápis o vykonání státní doktorské zkoušky	42
	Vyjádření školitele doktoranda.....	43
	Oponentské posudky disertační práce.....	44

1 Úvod

Prvotní funkcí oděvu byla ochrana člověka před povětrnostními vlivy. Později k tomu přistoupila, někdy převážila např. funkce společenská, avšak základní požadavek, tj. ochrana člověka před povětrnostními vlivy, byl v řadě případů zachován. Tato základní funkce oděvu je požadována i v současnosti. V posledních dvou desetiletích s vývojem nových materiálů a se zvyšujícím se důrazem na bezpečnost a ochranu zaměstnanců při práci a na ochranu lidí při outdoorových volnočasových aktivitách se stal výzkum v oblasti komfortu textilií a oděvů jedním z nejdůležitějších. Pomocí klasických výrobních postupů, klasických přírodních vláken a klasických finálních úprav již dnes nelze vyrobit dostatečně komfortní oděvy vyhovující posledním trendům. V oděvním průmyslu tak nastupují nové materiály, vlákna a technologie, které dávají oděvním výrobkům nové vlastnosti a zvyšují tak komfort uživatele.

Příkladem mohou být moderní svrchní oděvy vybavené membránou různého typu a složením určeným pro outdoorové, případně i jiné aktivity. Nejenom, že musí odolávat větru, dešti, sněhu či jiným povětrnostním vlivům, ale musí být také dostatečně paropropustné. Samotné nároky na hydrostatickou odolnost, neboli výšku vodního sloupce, se zvyšují a můžeme se dnes setkat i s hodnotami převyšujícími 20 000 mm.

Nejen membrány, které se používají například na zimní bundy, zvyšují komfort uživatele, ale jsou to i materiály využívané na výrobu funkčního prádla a další produkty s přidanou hodnotou. Všechny tyto produkty mají jeden společný prvek – umí něco nového a rozšiřují svou funkčnost. Známa zásada je, že „neexistuje špatné počasí, ale jen špatně oblečený člověk“.

2 Předmět a cíle disertační práce

Na základě literární rešerše a dosažených výsledků různých autorů a průzkumu trhu v oblasti nanovlákných membrán můžeme konstatovat důležitost a nutnost aplikace nanovlákné membrány pro sportovní, outdoorové a armádní účely, neboť se stále zvyšují požadavky nejen na vyšší komfortní vlastnosti.

V dnešní době existuje nepřeberné množství výrobců membrán pro oděvní účely, ať už se jedná o hydrofilní či hydrofobní membrány, avšak prakticky neexistuje téměř žádný výrobce na světě, který by aplikoval nanovláknou membránu do oděvu. Vědecká pracoviště dle literární rešerše sice vyvinula řadu nanovlákných membrán určených pro oděvy, avšak nanovlákné membrány nemohou v oděvu existovat samostatně a je nutné takovéto membrány slaminovat s vhodným textilním materiálem, ať už s tkaninou či s pleteninou.

Studie výzkumů ukazují, že si nanovlákné membrány zaslouží hlubší analýzu. Především je nutné se zaměřit na další zpracování nanovlákné membrány tak, aby mohl vzniknout plnohodnotný oděv využívající právě nanovláknou vrstvu. Většina prací, jak již bylo uvedeno, se zabývá pouze vyvinutím nanovlákné membrány, avšak už nedochází k dalšímu výzkumu a vývoji potřebnému k tomu, aby mohl vzniknout laminát, který se může dále zpracovávat.

Výzkumy se dále nezabývají zvyšováním hydrostatické odolnosti nanovlákné membrány, neboli výšky vodního sloupce, který je jedním z důležitých kritérií pro sportovní, outdoorové a armádní oblečení.

Základním cílem této práce je vyvinutí zcela nové nanovlákné membrány s vhodnými komfortními vlastnostmi a vytvoření laminátu s využitím právě nově vyvinuté nanovlákné membrány.

Předložená disertační práce si proto klade za cíl:

- vyvinout nanovláknou membránu pro oděvní účely
- vytvořit vhodný dvou a třívrstvý laminát s využitím nanovlákné membrány

3 Přehled současného stavu problematiky

Oděvy pro sportovní, outdoorové či armádní účely bez membrány by v dnešní době nemohly prakticky existovat. Důvodem je stále zvyšující se požadavek na komfortní vlastnosti, ať už se jedná o paropropustnost, hydrostatickou odolnost, větruodolnost, stálost v oděru či odolnost vůči praní či chemickému čištění.

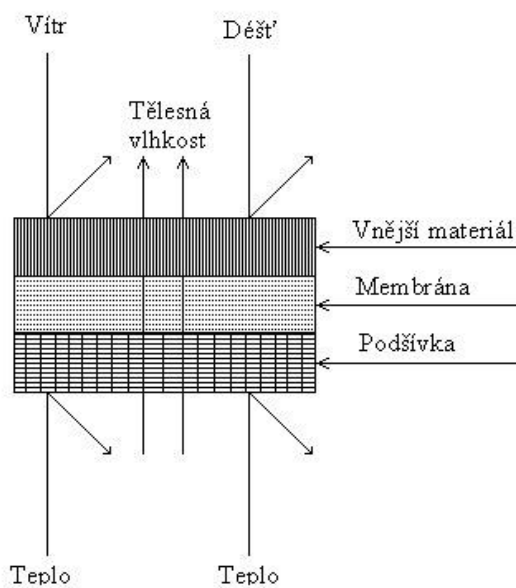
Historie outdoorového oblečení ovšem nezačíná vývojem membrány, ale bavlněnou tkaninou nazvanou Ventile pro britské letce RAF vyvinutou ve 40. letech 20. století vědci ze Shirley institutu v Manchesteru. Kombinéza z Ventile dokázala prodloužit dobu potřebnou pro přežití v ledovém oceánu z několika desítek sekund na 20 minut. Po zavedení výstroje přežívalo 80% protiponorkových pilotů, kteří museli přistát v moři.

Tkanina Ventile je prvním předchůdcem dnešních moderních nepromokavých textilií. Tkanina Ventile používá příze vyrobené z dlouhvláknenné bavlny. Dostava je až 98 nití/cm. Tkanina Ventile má o 30 % hustší vazbu než běžná tkanina. Pokud je vystavena působení vody, vlákna ji absorbují a zvětší svůj objem. Tím zcela uzavřou mezery v osnově i vpichy po jehle a zabrání tak dalšímu pronikání vody. Paropropustnost Ventile tkaniny je $\text{Ret } 3,3 \text{ Pa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$.

Membrány mají za úkol zvýšit naše pohodlí v oděvní textilií, ať už se jedná o bundu, kalhoty, rukavice či boty. Každý oděvní materiál má své limity, proto vkládáme mezi podšívkový (podšívka není podmínkou) a vrchní oděvní materiál membránu, abychom tyto limity navýšili a textilií udělali pro nositele pokud možno co nejvíce pohodlnou. Membrána má tři základní funkce: paropropustnost, nepromokavost a větruodolnost. Nepromokavost a větruodolnost jsou vlastnosti, kterých se dá poměrně „snadno“ docílit. Například klasická pláštěnka tyto dva předpoklady splňuje, ale už není schopna paropropustnosti a člověk se v takovéto textilií potí, a tudíž se jeho pohodlí minimalizuje. Proto světoví výrobci outdoorového oblečení používají membrány pro docílení těchto tří parametrů.

Na obr. 1 je vidět, jak taková membrána funguje. Na vrchní materiál padají kapky vody (sníh, déšť). Vrchní oděvní materiál se snaží zamezit proniknutí kapek vody pod textilií, protože i samotný vrchní materiál je velmi často naimpregnovaný a chemicky zušlechťený, ale zároveň tak, aby byl paropropustný. Avšak tento vrchní materiál má své limity, proto bývá membrána zalaminována mezi vrchní materiál a podšívku. Membrána, která zvyšuje vodní sloupec, je větruodolná a především paropropustná. Může se též slaminovat pouze membrána s vrchním oděvním materiálem, a tím vznikne velmi lehká technická bunda. Je tedy zřejmé, že nezáleží jen na kvalitě samotné membrány, ale i na samotném podšívkovém a vrchním

oděvním materiálu. Též je potřeba používat funkční oblečení (spodní prádlo, mikina atd.), aby byl komfort pokud možno co nejlepší.



Obr. 1: Schéma funkce membrány

Membrány jsou vyráběny z polymerního materiálu, nejčastěji z PTFE, z PES nebo PUR. Tloušťka membrány se pohybuje řádově v jednotkách mikrometrů. V dnešní době se vyskytují na trhu dva druhy membrán[1]:

- a) mikroporézní
- b) hydrofilní

4 Přehled kroků k vývoji nanovlákněné membrány

Na obr. 2 jsou chronologicky a logicky znázorněny kroky, které vedou k úspěšnému vyvinutí laminátu s nanovlákněnou membránou s dostatečnými komfortními vlastnostmi.



Obr. 2: Schéma postupu výroby laminátu s nanovlákněnou vrstvou

Celá práce je rozdělena na tři hlavní části od výroby nanovlákněné vrstvy až po tvorbu laminátu.

4.1 Výroba nanovlákněné vrstvy

Nanovlákněná vrstva byla připravena na laboratorním a posléze na průmyslovém zařízení typu Nanospider, Spin Line a Fiber Engine FS. Nanovlákněná vrstva byla zvlákněna z polymerů PU a PA6. Důvodem zvolených polymerů je snadná opakovatelnost výroby testovaných materiálů.

Aby mohla vzniknout nanovlákněná vrstva, je nezbytné připravit polymerní roztok pro zvláknění. Nejdříve se pracovalo s roztokem PU, který se dle rešeršní části nejvíce používá nejen v oblasti výroby nanovlákněné membrány pro oděvní účely, ale též ho hojně využívají průmysloví výrobci membrán, a to především hydrofilních. Výhoda PU je jeho tažnost, která je velmi žádoucí v oblasti membrán pro oděvní účely. Avšak jeho velkou nevýhodou je, že se mísí s DMF a tato látka je zdraví škodlivá. Při aplikaci PU v průmyslové lince Nanospideru se ukázala velmi nízká produkční rychlost, ale též i vysoká hydrofobita samotného polymeru a na základě právě nízké produkční rychlosti a především vysoké hydrofobity došlo k záměně polymeru za PA6 (bude více vysvětleno v kapitole Hydrofobizace nanovlákněných vrstev), který má oproti PU na průmyslové lince typu Nanospider dvounásobnou produkční rychlost, ale i nižší hydrofobitu, která je nezbytná pro další úpravy nanovlákněné vrstvy. Kromě zmíněného Nanospideru se nanovlákněné vrstvy vyráběly i na průmyslových linkách SpinLine, které využívají tryskové zvlákněvací zařízení na bázi elektrospiningu a zařízení od

firmy Fiberio, které oproti zmíněným strojním zařízením využívá odstředivé zvlákňování. Avšak nejlepších produkčních rychlostí a stejnoměrnosti zvlákněné nanovlákněné vrstvy dosáhla výrobní linka Nanospider od firmy Elmarco. A proto se dále pro potřeby disertační práce pracovalo s nanovlákněnými vrstvami vyrobených na výrobní lince Nanospider.

4.2 Hydrofobizace nanovlákněné vrstvy

Přehled současného stavu problematiky ukazuje, že z hlediska komfortu je hydrostatická odolnost velmi důležitým parametrem. Bohužel samotná hydrostatická odolnost nanovlákněných vrstev vyrobená na výrobním zařízení typu Nanospider není příliš vysoká, dalo by se říci, že dokonce velmi nedostatečná se svými maximálně 16 cm a v případě PU. Naopak membrány např. od společnosti Gore-tex vykazují hydrostatickou odolnost i vyšší jak 18 000 mm. Proto se další kapitola zabývá zvýšením hydrostatické odolnosti pomocí hydrofobizace nanovlákněné vrstvy.

Pro navýšení hydrostatické odolnosti byly použity hydrofobizační prostředky na bázi silikonu a fluorkarbonu a různé způsoby jejich nánosu.

Nánosování se provedlo:

- 1) fulárem
- 2) postřikem
- 3) nízkovakuovou plazmou

4.2.1 Nánosování hydrofobizačního prostředku pomocí fuláru

Jako první způsob zvýšení hydrofobních vlastností nanovlákněné vrstvy byl použit fulár. Důvodem výběru fuláru je jeho ekonomická dostupnost a zároveň i ekonomický provoz.

Cílem experimentu bylo provést hydrofobizaci nanovlákněné membrány nanášením dvou druhů hydrofobních prostředků na bázi silikonu a fluorkarbonu pomocí naklocování vzorků nanovlákněné vrstvy v impregnačních roztocích o různé koncentraci (použity byly vždy tři různé koncentrace) po různou dobu 1 a 2 minuty.

Pro každou kombinaci hydrofobního prostředku, koncentraci roztoku a doby smáčení bylo měřeno celkem pět vlastností impregnované nanovlákněné vrstvy: prodyšnost, paropropustnost, hydrostatická odolnost, Spray test a kontaktní úhel.

Pro experiment byla použita nanovlákněná vrstva vyrobená z PA 6 a PU vyrobené na výrobním zařízení Nanospider. Plošná hmotnost nanovlákněné vrstvy byla 1 a 5 g/m².

Z důvodu nízké mechanické odolnosti nanovlákněné vrstvy se pracovalo společně s podkladovým materiálem. Byly připraveny vzorky o velikosti 50 x 50 cm. Až po úpravě došlo k oddělení upravené nanovlákněné vrstvy od podkladového materiálu.

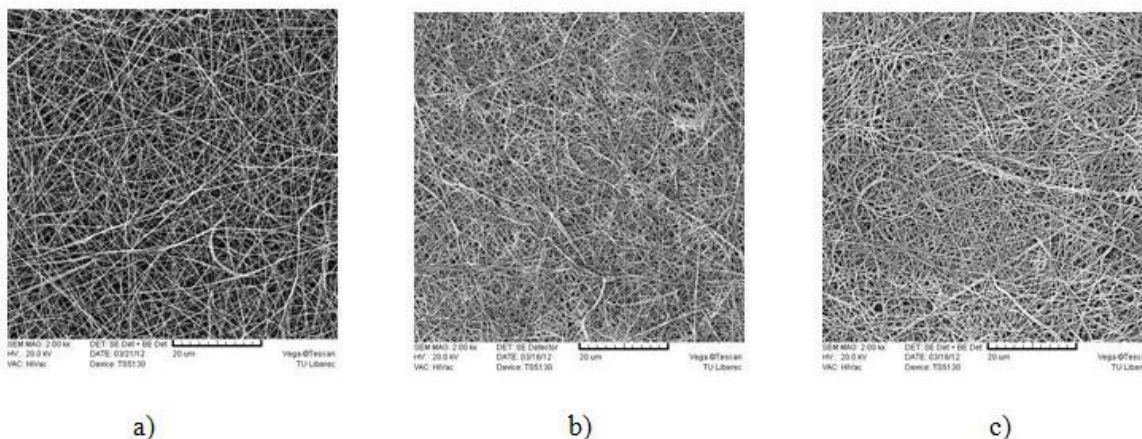
Průběh impregnování

Z kádinky byl vždy do čisté klocovací nádoby přelit roztok o daném složení a koncentraci jednotlivých roztoků. Následně byl celý vzorek (včetně podkladového materiálu) ponořen do roztoku. Zde byl otáčen, aby byl smočen (naklocován) v roztoku rovnoměrně z obou stran. Rozdílně byla volena doba klocování, a to konkrétně 1 minuta a 2 minuty.

Po této aplikaci impregnace bylo provedeno odměčknutí přebytečného roztoku na fuláru za těchto podmínek:

- Tlak mezi válci 4 bary
- Rychlost otáčení válců 1 m/min

Takto upravený vzorek byl umístěn do horkovzdušné komory a při teplotě 80°C usušen. Poté byla ještě provedena kondenzace v horkovzdušné komoře při teplotě 160°C, která trvala 5 minut. Na obr. 3 jsou snímky z rastrovacího mikroskopu a porovnání vzorků před úpravou, úpravou silikonem a fluorkarbonem.



Obr. 3: a) Neupravený vzorek 5 g/m² b) Úprava silikonem b) Úprava fluorkarbonem

V tab. 1 a 2 jsou uvedeny výsledky z měření komfortních vlastností upravené nanovlákněné vrstvy PU a PA6 o plošné hmotnosti 5 g/m².

Tab. 1: Porovnání komfortních vlastností upravené nanovlákněné vrstvy PU o plošné hmotnosti 5 g/m²

Chem. prost.	Koncentrace [g]		Úhel smáčení	Doba smáčení [min]	Prodyšnost [l/m ² /s]	Paropropustnost Ret [Pa.m ² .W ⁻¹]	Vodní sloupec [m]
Bez úpravy PA 5 g/m ²	-	Průměr	-	-	6,11	< 0,1	0,12
		Směr. odchylka	-		0,16		0,2
Silikon	5	Průměr	119	1	2,42	0,98	1,06
		Směr. odchylka	-		0,04	0,030	0,03
	10	Průměr	118		1,77	0,98	1,95
		Směr. odchylka	-		0,019	0,040	0,04
	15	Průměr	121		1,43	1,47	2,47
		Směr. odchylka	-		0,032	0,041	0,02
	5	Průměr	117	2	1,15	1,06	3,50
		Směr. odchylka	-		0,028	0,02	0,04
	10	Průměr	120		0,84	1,17	4,87
		Směr. odchylka	-		0,031	0,06	0,12
	15	Průměr	120		0,58	1,26	5,38
		Směr. odchylka	-		0,023	0,041	0,1
Fluorkarbon	5	Průměr	121	1	2,95	0,46	1,72
		Směr. odchylka	-		0,052	0,036	0,02
	10	Průměr	117		2,82	0,79	5,17
		Směr. odchylka	-		0,061	0,021	0,05
	15	Průměr	120		2,65	1,07	6,03
		Směr. odchylka	-		0,029	0,039	0,02
	5	Průměr	123	2	1,42	0,90	9,25
		Směr. odchylka	-		0,015	0,010	0,41
	10	Průměr	119		1,28	1,04	10,26
		Směr. odchylka	-		0,039	0,049	0,03
	15	Průměr	121		1,22	1,16	12,94
		Směr. odchylka	-		0,447	0,037	0,04

Tab. 2: Porovnání komfortních vlastností upravené nanovlákněné vrstvy PA6 o plošné hmotnosti 5 g/m²

Chem. prost.	Koncentrace [g]		Úhel smáčení	Doba smáčení [min]	Prodyšnost [l/m ² /s]	Paropropustnost Ret [Pa.m ² .W ⁻¹]	Vodní sloupec [m]	
Bez úpravy PA 5 g/m ²	-	Průměr	-	-	6,11	< 0,1	0,12	
		Směr. odchylka	-		0,16		0,2	
Silikon	5	Průměr	119	1	2,42	0,98	1,06	
		Směr. odchylka	-		0,04	0,030	0,03	
	10	Průměr	118		1,77	0,98	1,95	
		Směr. odchylka	-		0,019	0,040	0,04	
	15	Průměr	121		1,43	1,47	2,47	
		Směr. odchylka	-		0,032	0,041	0,02	
	5	Průměr	117	2	1,15	1,06	3,50	
		Směr. odchylka	-		0,028	0,02	0,04	
	10	Průměr	120		0,84	1,17	4,87	
		Směr. odchylka	-		0,031	0,06	0,12	
	15	Průměr	120		0,58	1,26	5,38	
		Směr. odchylka	-		0,023	0,041	0,1	
	Fluorkarbon	5	Průměr	121	1	2,95	0,46	1,72
			Směr. odchylka	-		0,052	0,036	0,02
10		Průměr	117	2,82		0,79	5,17	
		Směr. odchylka	-	0,061		0,021	0,05	
15		Průměr	120	2,65		1,07	6,03	
		Směr. odchylka	-	0,029		0,039	0,02	
5		Průměr	123	2	1,42	0,90	9,25	
		Směr. odchylka	-		0,015	0,010	0,41	
10		Průměr	119		1,28	1,04	10,26	
		Směr. odchylka	-		0,039	0,049	0,03	
15		Průměr	121		1,22	1,16	12,94	
		Směr. odchylka	-		0,447	0,037	0,04	

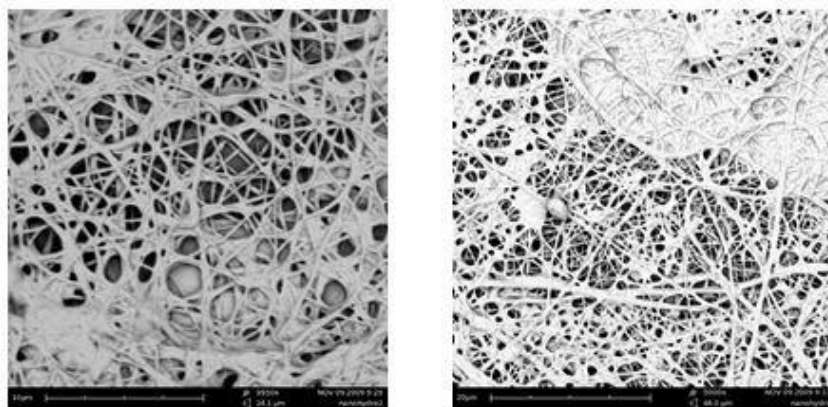
Jak je z výsledků patrné, nanovlákná vrstva vyrobená z PU dosáhla výrazně nižších hodnot hydrostatické odolnosti, než nanovlákná vrstva z PA 6. Důvodem je, že nanovlákná vrstva z PU měla vyšší hydrofobitu, což prokázal jak úhel smáčený, ale také mokrý přivažek, kde samotná struktura nanovlákné vrstvy z PU absorbovala méně hydrofobního prostředku než z PA 6, což mělo pravděpodobně za následek právě nižší hydrostatickou odolnost. Proto pro další experimenty byla použita nanovlákná vrstva pouze z PA6. Paropropustnost samotné nanovlákné vrstvy před úpravou má Ret menší jak $0,1 \text{ Pa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$ (citlivost přístroje pro měření paropropustnosti je dle výrobce od Ret $0,5 \text{ Pa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$, veškerá měření samotné nanovlákné membrány je pod touto hranicí).

4.2.2 Zvýšení hydrofobity pomocí postříku

Stejně jako u zvyšování hydrofobity nanovlákné vrstvy pomocí fuláru i zde byly použity stejné dva hydrofobní prostředky, a to na bázi silikonu Lukofix T 40 D a fluorkarbon Nuva FDS při zachování stejné koncentrace 5, 10 a 15 g a stejného postupu přípravy.

Byly připraveny vzorky nanovlákné vrstvy s podkladovou textilií (netkaná textilie – Spunlace) o velikosti 50x50 cm. Nanovlákná vrstva byla jako v předchozím případě z PA6 a PU. Do nádoby na stříkací pistoli (výrobce SATA) se umístil hydrofobizační prostředek a došlo k nánosu hydrofobizačního prostředku na nanovláknou vrstvu. Nanášený hydrofobizační prostředek se nanášel při tlaku 5 barů s průměrem nanášecího bodu na vrstvě polymerních nanovláken 1cm. Nanášení proběhlo kontinuálně příčným pohybem trysky. Následně se vytvořený textilní kompozit vystavil v horkovzdušné komoře po dobu 5 minut teplotě 140°C ve volném stavu.

Díky tomuto postupu došlo k zaplnění mezivlákných pórů vrstvy polymerních nanovláken hydrofobním prostředkem v tuhém stavu. Alespoň některé z mezivlákných pórů se uzavrou a jsou zcela neprostupné pro vodu v kapalném stavu, viz obr. 4, a zůstávají, jak bylo potvrzeno řadou testů, prostupné pro vodní páru, avšak ne tak dobře jako v případě fuláru. V tab. 4 jsou uvedeny výsledné hodnoty z měření vlivu použité úpravy a koncentrace na prodyšnost, paropropustnost a hydrostatickou odolnost.



Obr. 4: Upravená nanovláknenná vrstva pomocí stříkání silikonu na povrch nanovláken

Tab. 4: Vliv použité úpravy a koncentrace na prodyšnost, paropropustnost a hydrostatickou odolnost

Chemický prostředek	Koncentrace [g]	-	Úhel smáčení [°]	Prodyšnost [l/m ² /s]	Paropropustnost Ret [Pa.m ² .W ⁻¹]	Vodní sloupec [m]
Bez úpravy PA6 5 g/m ²	-	Průměr	-	6,11	< 0,1	0,12
		Směr. odchylka	-	0,16		0,2
Silikon	5	Průměr	128	2,41	3,22	6,40
		Směr. odchylka	-	0,101	0,075	0,20
	10	Průměr	130	0,938	3,88	8,93
		Směr. odchylka	-	0,028	0,075	0,047
	15	Průměr	132	0	4,54	13
		Směr. odchylka	-	0	0,08	0,39
Fluorkarbon	5	Průměr	127	1,93	2,94	6,80
		Směr. odchylka	-	0,033	0,102	0,22
	10	Průměr	128	1,04	3,02	9,33
		Směr. odchylka	-	0,053	0,075	0,17
	15	Průměr	131	0,152	3,96	12,81
		Směr. odchylka	-	0,037	0,08	0,20

Z výsledků je patrné, že došlo k výraznému zvýšení hydrostatické odolnosti, především u nanovláknenné vrstvy s plošnou hmotností 5 g/m². Oproti úpravě pomocí fuláru je

hydrostatická odolnost dvakrát větší, avšak na úkor paropropustnosti, která se výrazně zhoršila, proto ani tento způsob není příliš vhodný.

4.2.3 Zvýšení hydrofobity pomocí nízkovakuové plazmy

Poslední způsob nánosu hydrofobního prostředku pro zvýšení hydrostatické odolnosti byla nízkovakuová plazma. Důvodem volby nízkovakuové plazmy před atmosférickou je, že dle rešerše nemá atmosférická plazma takový účinek a ani není zaručena kontinuita upravovaného povrchu. Dalším důvodem je vznik monomolekulární vrstvy na povrchu nanovláken a její propojení kovalentní vazbou, což zvyšuje odolnost při praní, ale především možnost proniknutí hydrofobního prostředku do samotné struktury nanovláken.

Byla použita nízkovakuová plazma typu roll-to-roll od belgického výrobce Europlasma. Při tomto způsobu nanášení se principiálně nanáší tak malé množství hydrofobního prostředku, že v podstatě nemůže dojít k zaplnění, resp. ucpání mezivlákných pórů vrstvy polymerních nanovláken. Plazmatickým nanesením hydrofobního filmu na povrch polymerních nanovláken se zvyšuje hydrostatická odolnost celé vrstvy polymerních nanovláken, která si však současně díky volným mezivlákným prostorům, zachovává svoji původní výbornou paropropustnost. Užité vlastnosti takto upravené vrstvy polymerních nanovláken jsou v důsledku toho podstatně vyšší než u výše vyjmenovaných postupů. Jako hydrofobní prostředek se použil pouze fluorkarbon C6, jelikož výrobce nenabízel možnost použití silikonu. Navíc výrobce blíže nespécifikoval o jaký typ fluorkarbonu se jedná, jelikož se dle výrobce jedná o výrobní tajemství.

Podmínky v nízkovakuové plazmě:

- tlak 100 mili Torrů
- teplota od 18 °C do 150 °C
- rychlost převíjení 5 m/min

Jako podkladový materiál byla použita netkaná textilie typu Spunlace ze 100% PL. Důvodem tohoto podkladu je, že má daleko nižší navlhavost než celulóza, ze kterého je vyroben např. podkladový materiál pečicí papír. Navlhavost materiálu způsobuje problémy při vytvoření vakua, které je nezbytné pro správnou funkci nízkovakuové plazmy, proto náviny určené pro plazmatickou úpravu byly navinuty na plastové dutince. Vzhledem k výsledkům z předchozích experimentů byla upravována pouze nanovlákná vrstva o plošné

hmotnosti 5 g/m². V tab. 5 je uvedeno statistické vyhodnocení měření a v tab. 6 jsou uvedeny výsledné hodnoty.

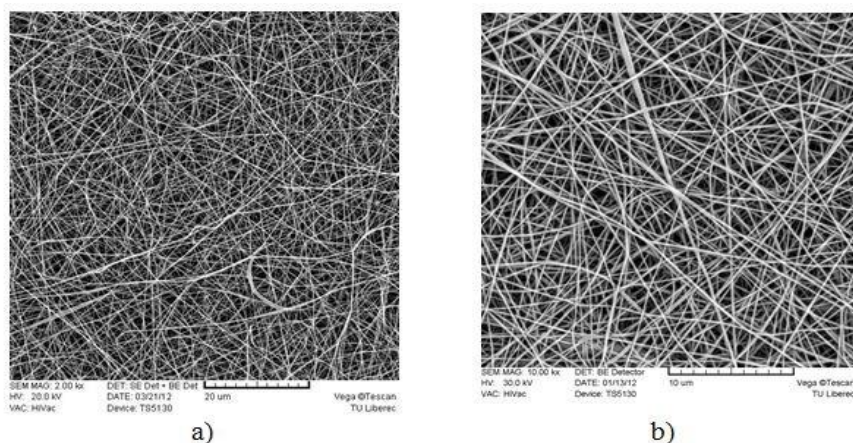
Tab. 5: Statistické vyhodnocení výsledků

	Prodyšnost		Paropropustnost	
	Bez úpravy	S úpravou	Bez úpravy	S úpravou
Rozptyly	0,00023	0,00748	0,002	0,003
p	0,003		0,352	
Platnost hypotézy	H ₁		H ₀	
Průměr	4,116	4,164	0,18	0,16
p	0,289		0,544	
Platnost hypotézy	H ₁		H ₀	

Tab. 6: Výsledné hodnoty měření

Materiál		Úhel smáčení [°]	Prodyšnost [l/m ² /s]	Paropropustnost Ret [Pa.m ² .W ⁻¹]	Vodní sloupec [m]
Bez úpravy PA6 5g/m ²	Průměr	121	4,12	0,18	0,14
	Směr. odchylka	-	0,015	0,045	-
Upravený vzorek	Průměr	124	4,16	0,16	9,10
	Směr. odchylka	-	0,086	0,055	0,10

Jak je z výsledků patrné, byla zachována paropropustnost nanovlákněné vrstvy, včetně prodyšnosti, avšak přitom došlo k výraznému zvýšení hydrostatické odolnosti. Tento typ úpravy můžeme považovat za nejlepší a vhodný pro další vývoj v oblasti nanovlákněných membrán pro oděvní účely. Na obr. 5 je snímek z rastrovacího mikroskopu před a po úpravě, ani při větším zvětšení, není viditelná hydrofobní úprava.



Obr. 5: a) Neupravená nanovláknenná membrána 5 g/m² b) Upravená nanovláknenná membrána

4.3 Laminace

Laminace je v textilu pojem pro spojení dvou a více tkanin, pletenin či netkaných textilií stejného či různého složení i určení (např. podšívka, vrchní materiál). Laminaci membrán si můžeme rozdělit do pěti základních skupin:

- Dvouvrstvý laminát (vrchní látka + membrána)
- Dvou a půlvrstvý laminát (vrchní látka+ membrána + půl vrstva)
- Třívrstvý laminát (vrchní látka + membrána + podšívka)
- Volně vložená membrána (Z-liner)

V rámci disertační práce byly vyrobeny dvou a třívrstvé lamináty.

Obecně lze laminaci rozdělit na dva kroky:

- nánosování adheziva
- podlepování

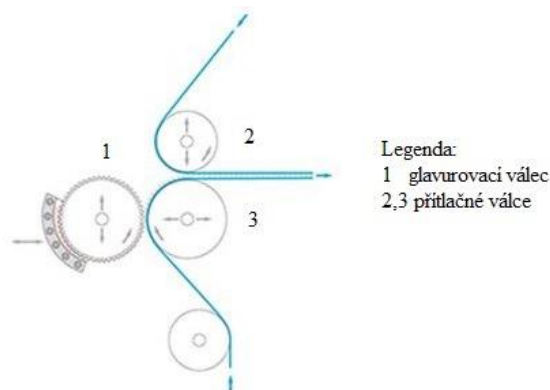
V práci se použil, jak klasický postup, tedy nános adheziva na tkaninu či pleteninu a následně došlo k podlepení dvou a více materiálů. Kromě již zmíněného postupu se použil i postup, kdy v jednom kroku dochází k nánosování a podlepování. Jelikož se s tímto postupem dosáhlo lepších výsledků, je blíže popsán pouze tento způsob.

4.3.1 Kombinace nánosování a podlepování

Jak je patrné, k tomu, aby mohl vzniknout laminát, ať už dvou či třívrstvý, je zapotřebí, jak proces nánosování, tak i proces podlepování a jsou k tomu nutné minimálně dvě

strojní zařízení. Ovšem, v dnešní době existují i metody, které dokáží tento proces skloubit do jednoho výrobního zařízení, což vede nejen ke snížení výrobních nákladů, ale též i ke zvýšení produkčních rychlostí.

Jedná se o kombinaci hlubokotiskového způsobu a kombinaci kontinuálního podlepovacího zařízení. Na obr. 6 je znázorněno schéma popisovaného stroje.



Obr. 6: Laminovací a podlepovací stroj [71]

Ze spodní části stroje je přiváděna textilie, která přichází do styku s glazovacími válci 1, který přenáší body pojiva na textilii. Z horní části stroje je přiváděna další textilie. Mezi válci 2 a 3 je přiváděna textilie opatřená aglomery pojiva a dochází ke styku s textilí, která byla přiváděna z horní části stroje bez laminačních bodů. Válec 2 a 3 plní funkci polepovací, tudíž je možné nastavit tlak a teplotu, avšak rychlost musí být jak při nanášení, tak podlepování stejná, jelikož se jedná o kontinuální zařízení. Obecně se rychlost volí podle potřeby podlepování.

Tento způsob výroby, jak již bylo napsáno, má řadu svých výhod, avšak je vhodný pouze pro větší náviny, tedy pro lamináty, které mohou sloužit jako membrána v oblečení. Tyto stroje nejsou příliš vhodné pro oděvní účely např. k výrobě sak, resp. podlepení. Zde je výhodnější tyto procesy oddělit, jelikož výztužná vložka, např. v saku, je jen v určitých partiích, nikoliv v celém oděvu jako je tomu u membránového oblečení [71].

4.3.2 Tvorba dvou a třívrstevných laminátů

K nánosování a k podlepování byla použita také průmyslová linka od německého výrobce Lacom. Tento stroj nanese laminační body a následně dochází k laminaci. Tudíž je tento proces kontinuální a tedy i rychlejší. Na tomto zařízení byly vytvořeny dvou a třívrstevné lamináty.

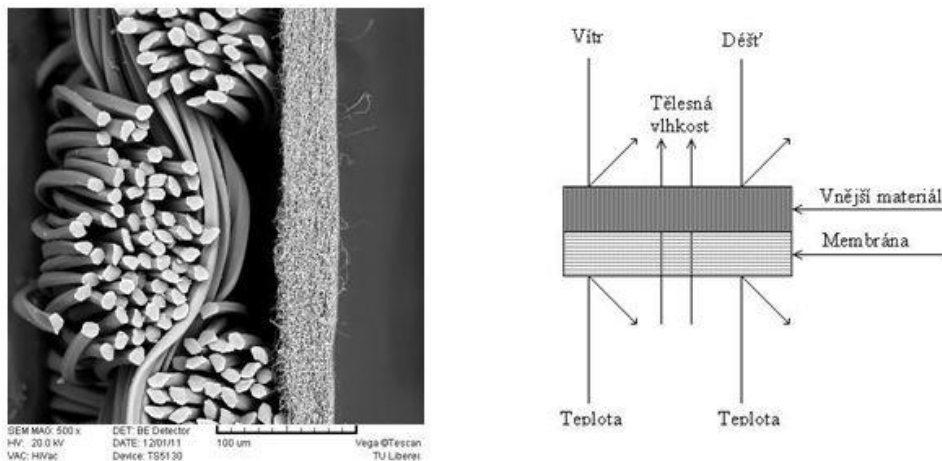
Dvouvrstvý laminát

Laminační body byly vytvořeny na vrchním materiálu. Po nanesení laminačních bodů se materiál posouvá k laminačním válcům. Z horní části stroje je přivedena hydrofobizovaná nanovláknenná membrána, která je na podkladovém materiálu a těsně před laminovacími válci dojde ke styku nanovláknenné membrány s vrchní tkaninou a průtahem laminačním zařízením.

Podmínky laminování:

- teplota 140°C
- tlak 3,5bar
- rychlost 1 m/min

Po vytvoření laminátu byla odstraněna podkladová textilie. Jako adhezivum byl použit PU a teplota glavurovacího válce byla 130 °C. Na obr. 7 je znázorněn dvouvrstvý laminát.



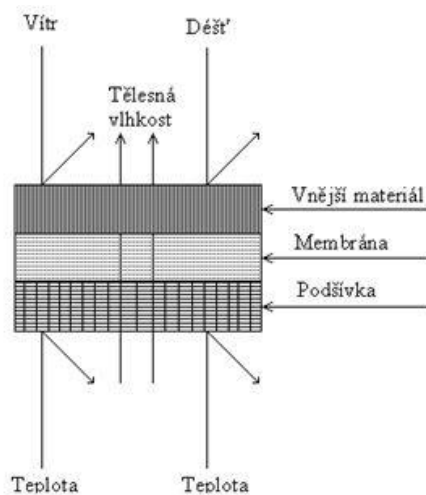
Obr. 7: a) Řez dvou vrstvým laminátem, b) Schéma funkčnosti dvouvrstvého laminátu

Třívrstvý laminát

Postup a podmínky nanesení adheziva a následné laminace je stejný jako při tvorbě dvouvrstvého laminátu, avšak po vytvoření dvouvrstvého laminátu je odstraněna podkladová textilie. Na podšívkový materiál se nanese laminační body a před laminovacími válci je z horní části stroje přiveden dvouvrstvý laminát. Podšívka s laminačními body se dotýká dvouvrstvého laminátu ze strany nanovláknenné vrstvy. Na obr. 8 je znázorněn třívrstvý laminát.



a)



b)

Obr. 8: a) Řez tří - vrstvým laminátem, b) Schéma tří - vrstvého laminátu

4.4 Výsledky laminace nanovláknenné membrány s tkaninou

Vzhledem k předchozím výsledkům se dále pracovalo pouze s nanovláknennou vrstvou hydrofobně upravenou pomocí nízko vakuové plazmy. Takto upravená nanovláknenná vrstva dosahuje obdobných hodnot (výsledků) jako membrány uvedené v (citaci), které byly uvedeny v rešeršní části. Výsledky dvou a třívrstvých laminátů vytvořených ve firmách Interlana a Lacom jsou uvedeny v tab. 7.

Tab. 7: Výsledky dvou a třívrstvých laminátů

PA 6 – 5 g/m ²		Bez laminace	Dvouvrstvý laminát	Třívrstvý laminát	Dvouvrstvý laminát	Třívrstvý laminát
		Interlana			Lacom	
Paropropustnost Ret [Pa.m ² .W ⁻¹]	Průměr	< 0,1	1,33	2,37	1,33	2,33
	Směr. odchylka	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058
Prodyšnost [l/m ² /s]	Průměr	4,064	2,038	1,6	2,04	1,578
	Směr. odchylka	0,079	0,057	0,032	0,055	0,044
Hydrostatická odolnost [m]	Průměr	0,14	17	16,93	17,27	17,13
	Směr. odchylka	0,13	0,1	0,12	0,21	0,32
Počet pracích cyklů do delaminace		0	1	1	3	3

Dle výsledků je patrné, že i slaminovaná nanovláknenná membrána si stále zachovává velmi dobrou hydrostatickou odolnost. Naopak došlo ke zhoršení prodyšnosti, což je u

vrchního oblečení žádoucí (zvyšuje se větru odolnost), a paropropustnosti. Zhoršení paropropustnosti a prodyšnosti je zapříčiněno samotnou laminací, resp. laminačními body (adheze). Avšak hodnota paropropustnosti i po laminaci je stále vysoká.

Laminát vytvořený v Interlaně měl sice nepatrně lepší paropropustnost, avšak prací cykly zaměřené na delaminaci materiálů propadl, resp. po prvním pracím cyklu došlo k delaminaci a k destrukci samotného materiálu. Naopak laminace na zařízení od firmy Lacom vydržela tři prací cykly, aniž by bylo zaznamenáno vizuální poškození laminátu.

4.5 Plánovaný experiment

Vzhledem k pozitivním výsledkům byl připraven plánovaný experiment.

- 1) Výroba nanovlákněné vrstvy na výrobním zařízení Nanospider
- 2) Plasmatická úprava nanovlákněné vrstvy
- 3) Laminace nanovlákněné vrstvy a tvorba dvouvrstvého laminátu

K tomuto plánovanému experimentu byly použity pouze ty postupy, které mají v předchozích experimentech optimální výsledky, a očekávalo se, že povedou k naplnění cíle. Tedy vytvoření laminátu s nanovlákněnou membránou, která bude mít dostatečné komfortní vlastnosti, jako je vysoká paropropustnost a hydrostatická odolnost při zachování nízké prodyšnosti. Nejprve je nutné vytvořit nanovlákněnou vrstvu. Nanovlákněná vrstva byla vyrobena na výrobním zařízení Nanospider, a to typu NS Production Lines 1000 ve firmě Nanovia. Jako zvláknovací elektroda byla použita elektroda ve formě struny, a to v šíři 100 cm. Výchozí polymer byl použit PA6. Nanovlákněná vrstva byla vyrobena v plošných hmotnostech od 1 do 5 g/m² a 10 g/m², viz tab. 8. Jako podkladový materiál pro zvláknění byl použit spunlace z PL.

Tab. 8: Výsledky měření nanovlákněné vrstvy o plošné hmotnosti od 1 g/m² do 5 g/m² a 10 g/m²

Požadovaná plošná hmotnost [g/m ²]	Naměřená plošná hmotnost		Prodyšnost [l/m ² /s]	Paropropustnost Ret [Pa.m ² .W ⁻¹]
	průměr	pravděpodobnost		
1	0,996 (0,034)	0,402	16,02 (0,084)	< 0,1
1,5	1,524 (0,052)	0,179	11,22 (0,13)	< 0,1
2	2,004 (0,032)	0,397	8,84 (0,029)	< 0,1
2,5	2,516 (0,051)	0,262	6,92 (0,07)	< 0,1
3	3,032 (0,069)	0,179	5,92 (0,012)	< 0,1
3,5	3,488 (0,067)	0,355	5,27 (0,015)	< 0,1
4	4,062 (0,09)	0,1	4,96 (0,074)	< 0,1
4,5	4,498 (0,033)	0,45	4,49 (0,019)	< 0,1
5	4,988 (0,062)	0,343	4,11 (0,013)	< 0,1
10	10,024 (0,13)	0,351	1,14 (0,079)	< 0,1

Z tab. 8 je patrný očekávaný efekt, který se nám již z několika předchozích experimentů potvrdil. S rostoucí plošnou hmotností klesá prodyšnost. Do 4 g/m² nemá plošná hmotnost vliv na paropropustnost, avšak nad 4 g/m² paropropustnost mírně vrůstá. Vodní sloupec nebyl měřen, jelikož se nejednalo o neupravenou vrstvu a z předchozích měření víme, že výška vodního sloupce nebyla vyšší jak 16 cm.

Po vyrobení nanovlákněné vrstvy následovala hydrofobizace nanovlákněné vrstvy k docílení dostatečné hydrostatické odolnosti. Hydrofobizace proběhla pomocí plasy typu roll-to-roll od výrobce Europlasma, který dodal i svůj patentovaný hydrofobní prostředek na bázi fluorokarbonu typu C6 bez PFOA a PFOS.

Podmínky úpravy:

- rychlost úpravy 1m/min
- tlak 100 mili Torrů
- teplotě 40°C

Z tab. 9 je patrné, že hydrostatická odolnost se výrazně zvyšuje od plošné hmotnosti nanovlákněné vrstvy od 2 g/m². Do plošné hmotnosti 2 g/m² jsou výsledky hydrostatické odolnosti kolísavé, avšak nestejnomyšlnost nanovlákněné vrstvy nebyla naměřena. Rozdíl v

hydrostatické odolnosti mezi 5 a 10 g/m² prakticky není žádný a nelze je považovat za rozdílný. Pravděpodobně to může být způsobeno tím, že hydrofobní látka, v našem případě fluorkarbon, nedokázal proniknout celou tloušťkou nanovlákněné vrstvy. Paropropustnost a prodyšnost zůstaly stejné jako před hydrofobní úpravou.

Tab. 9: Výsledky úpravy

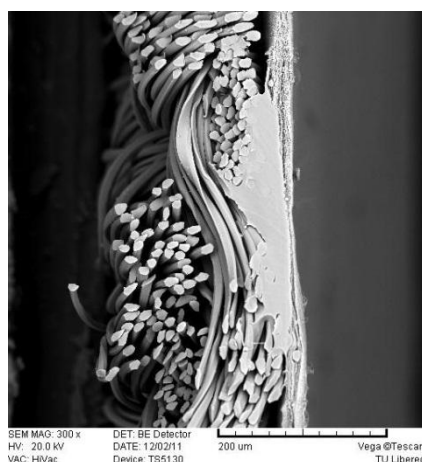
Plošná hmotnost nanovlákněné vrstvy [g/m ²]		Prodyšnost [l/m ² /s]	Paropropustnost Ret [Pa.m ² .W ⁻¹]	Vodní sloupec [m]	Spray test
1	Průměr	16,06	< 0,1	0,83	100 ISO 5
	Směr. odchylka	0,182		0,341	-
1,5	Průměr	11,2	< 0,1	1,6	100 ISO 5
	Směr. odchylka	0,234		0,915	-
2	Průměr	8,84	< 0,1	5,83	100 ISO 5
	Směr. odchylka	0,04		1,331	-
2,5	Průměr	6,97	< 0,1	7,98	100 ISO 5
	Směr. odchylka	0,053		0,493	-
3	Průměr	5,92	< 0,1	7,78	100 ISO 5
	Směr. odchylka	0,033		0,373	-
3,5	Průměr	5,26	< 0,1	8,45	100 ISO 5
	Směr. odchylka	0,023		0,232	-
4	Průměr	4,98	< 0,1	8,27	100 ISO 5
	Směr. odchylka	0,032		0,880	-
4,5	Průměr	4,49	0,033	8,54	100 ISO 5
	Směr. odchylka	0,038	00,058	0,842	-
5	Průměr	4,11	0,067	8,98	100 ISO 5
	Směr. odchylka	0,02	0,058	0,527	-
10	Průměr	1,15	< 0,1	9,08	100 ISO 5
	Směr. odchylka	0,043		0,692	-

Jako poslední krok je laminace nanovlákněné vrstvy tak, aby se mohla nanovlákněná membrána používat pro oděvní účely. Byl vytvořen dvouvrstvý laminát, tedy hydrofobizovaná nanovlákněná membrána se syntetickou tkaninou z PA, pevnost osnovy 370 N, pevnost útku 420 N a martindale (oděr) 15 000 ot. Laminace probíhala na laminovacím zařízení Lacome. V tab. 10 jsou zaznamenány výsledky dvouvrstvého laminátu s hydrofobizovanou nanovlákněnou membránou.

Tab. 10: Výsledky měření dvou-vrstvého laminátu s hydrofobizovanou nanovlákněnou membránou

Plošná hmotnost nanovlákněné vrstvy [g/m ²]		Prodyšnost [l/m ² /s]	Paropropustnost Ret [Pa.m ² .W ⁻¹]	Vodní sloupec [m]
1	Průměr	11,84	1,33	1,1
	Směr. odchylka	0,472	0,058	0,46
1,5	Průměr	10,16	1,33	1,76
	Směr. odchylka	0,207	0,058	0,45
2	Průměr	7,58	1,37	8,97
	Směr. odchylka	0,158	0,058	0,95
2,5	Průměr	5,92	1,33	9,97
	Směr. odchylka	0,084	0,058	0,90
3	Průměr	4,28	1,37	11,63
	Směr. odchylka	0,084	0,058	1,10
3,5	Průměr	3,78	1,33	13,53
	Směr. odchylka	0,084	0,058	0,71
4	Průměr	3,1	1,37	15,53
	Směr. odchylka	0,122	0,058	0,40
4,5	Průměr	1,96	1,37	16,77
	Směr. odchylka	1,085	0,058	0,23
5	Průměr	2,02	1,47	17,17
	Směr. odchylka	0,084	0,058	0,21
10	Průměr	0,87	0	17,8
	Směr. odchylka	0,022	0	0,26

Z tab. 10 je patrné, že po laminaci nanovlákněné membrány došlo k nárůstu vodního sloupce a samozřejmě ke snížení prodyšnosti a paropropustnosti, která byla zapříčiněna jak samotnou tkaninou, tak i laminací, resp. laminačními body (adheze). Výška vodního sloupce byla navýšena tím, že se zvýšila pevnost nanovlákněné membrány, resp. celého laminátu oproti měření hydrostatické odolnosti samotné membrány pouze s přiloženou mřížkou. Zvýšení pevnosti nanovlákněné membrány je způsobeno právě laminací, kdy dojde k proniknutí adheziva, v našem případě na bázi PU, skrz celou nanovlákněnou vrstvu, viz obr. 9, a tím dojde již ke zmíněné pevnosti nanovlákněné membrány, resp. celého laminátu.



Obr. 9: Proniknutí adheziva PU, skrz celou nanovlákněnou vrstvu

Pro ověření této teorie se použila tkanina PA/CO 50%/50%, která měla pevnost osnova 1312 N, pevnost útku 515 N a martindale (oděr) 35 000 ot. Byl vytvořen laminát s nanovlákněnou membránou o plošné hmotnosti 3 a 5 g/m². Postup výroby, úpravy a laminace nanovlákněné membrány byl stejný jako v předchozím příkladu. Výsledky jsou zaznamenány v tab. 11.

Tab. 11: Výsledky měření nanovlákněné membrány s tkaninou PA/CO 50%/50%

Plošná hmotnost nanovlákněné vrstvy [g/m ²]		Prodyšnost [l/m ² /s]	Paropropustnost Ret [Pa.m ² .W ⁻¹]	Vodní sloupec [m]
3	Průměr	3,15	4,03	17,44
	Směr. odchylka	0,059	0,058	0,50
5	Průměr	2,18	4,07	23,06
	Směr. odchylka	0,087	0,058	0,14

Z tabulky je patrné, že s tkaninou, která má vyšší pevnost a nižší tažnost je možné dosáhnout vyššího vodního sloupce, což potvrzuje teorii z výsledků z tab. 11.

5 Přehled dosažených výsledků

Cílem této disertační práce bylo vyvinutí nanovlákněné membrány pro oděvní účely, která bude maximálně paropropustná, 100% větruodolná a s dostatečně vysokým vodním sloupcem. Jak již bylo uvedeno v rešeršní části této práce, existují práce zabývající se touto problematikou, avšak především na laboratorní úrovni, čemuž odpovídají i samotné výsledky, resp. výstupy, kterými jsou především pouze nanovlákněné membrány, nikoliv lamináty. Navíc samotné měření je zaměřeno zase spíše jen na paropropustnost, prodyšnost a hydrofobitu nanovlákněné vrstvy a ne na samotnou hydrostatickou odolnost. Navíc prezentované výsledky nejsou konkurenceschopné membránám, které jsou k dostání na běžném trhu. Membránám, které jsou běžně dostupné na trhu, resp. průmyslově vyráběné, je v této práci věnována samostatná kapitola, protože je velmi důležité výsledky výzkumu a vývoje porovnávat i s komerčními výrobky, které jsou běžně dostupné na trhu.

Tato práce byla od samého začátku zaměřena na vývoj nejen nanovlákněné membrány, ale i laminátu obsahujícího právě nanovlákněnou membránu, tedy na finální produkt, ze kterého je možné vytvořit reálný výrobek. Samotná nanovlákněná membrána nemůže sama o sobě být použita v oděvu, pokud se tedy nejedná o laminát typu Z-liner, který se používá výhradně a pouze pro rukavice. Nanovlákněná membrána, ale i membrány pro oblečení jsou velmi jemné a snadno se mohou poškodit, proto je nutná jejich laminace.

Experimentální část této práce začíná výrobou nanovlákněné vrstvy. Samotná výroba byla provedena na průmyslových strojích, a to na stroji Nanospider od společnosti Elmarco (ČR), dále Spur Line od firmy Spur (ČR) a na lince Fiberio, od společnosti Fiberio (USA). První dvě jmenované linky pracují na principu elektrospinnu, naopak linka od společnosti Fiberio na principu odstředivého zvláknění. Jako polymer pro zvláknění nanovlákněné vrstvy byl vybrán PU a PA6. Po analýze nanovlákněných vrstev bylo možné konstatovat, že nanovlákněná vrstva vyrobená na zvlákněvacím zařízení Nanospider dosahovala nejvyšší homogenity, a proto pro další vývoj se pokračovalo již pouze na Nanospideru. Nanovlákněná vrstva vyrobená na lince Spin Line vykazovala velkou nehomogenitu jak v podélném, tak i v příčném směru, což potvrdilo i samotné měření. Nanovlákněná vrstva na lince Fiberio sice nevykazovala nehomogenitu, avšak pro její velkou objemnost byla horší paropropustnost, která je velmi důležitým kritériem membrán pro oděvní účely.

Nanovlákněná vrstva vyrobená na zvlákněvacím zařízení Nanospider dosahovala dobrých hodnot v paropropustnosti, bohužel hydrostatická odolnost nebyla zcela dostačující. Výška vodního sloupce byla řádově v jednotkách cm, proto dalším krokem bylo zvýšení

hydrofobity nanovláknenné vrstvy. Jako první způsob navýšení hydrofobních vlastností nanovláknenné vrstvy byl použit fulár. Pro zvýšení hydrofobity byly vybrány hydrofobní prostředky na bázi fluorcarbonu a silikonu. Sice došlo ke zvýšení výšky vodního sloupce, avšak ne dostatečně, a navíc došlo ke zhoršení paropropustnosti nanovláknenné vrstvy.

Ovšem, při tomto postupu se prokázalo, že měření kontaktního úhlu smáčení není vůbec vhodný pro nanovláknenné membrány s požadavkem na vysokou hydrostatickou odolnost. Důkazem je, že nanovláknenná vrstva o plošné hmotnosti 1 g/m² měla stejný kontaktní úhel smáčení jako nanovláknenná vrstva o plošné hmotnosti 5 g/m², ale výška vodní sloupce se lišila i o více jak 1 200 cm. Navíc došlo i k velkým rozdílům mezi nanovláknennou vrstvou vyrobenou z polymerů PU a PA6. Polymer PU měl vyšší hydrofobitu dle měření kontaktního úhlu, jelikož nebyla nanovláknenná vrstva z PU schopna absorbovat tolik hydrofobního prostředku jako PA 6, který paradoxně vykazoval menší hydrofobní vlastnosti. Totéž prokázal experiment s mokrým přivažkem. Proto se dále pracovalo již pouze s nanovláknennou vrstvou z PA 6.

Dalším typem úpravy bylo použití postřiku nanovláknenné vrstvy. Tento postup byl na základě výsledků patentován. Jedná se o nanášení hydrofobního prostředku pomocí stříkací pistole s cílem proniknutí hydrofobního prostředku do samotné struktury nanovláken. Sice se podařilo dosáhnout velmi dobrých hodnot vodního sloupce až 1 300 cm, ale došlo k výraznému zhoršení paropropustnosti, což bylo dáno velkým zakrytím pórů v nanovláknenné vrstvě.

Poslední metodou ke zvýšení hydrofobních vlastností nanovláknenné vrstvy byla použita nízkovakuová plasma typu roll-to-roll, resp. nanášení fluorcarbonového hydrofobního prostředku pomocí plasmy. I tato metoda byla následně patentována. Výsledkem byl nejenom dostatečně vysoký vodní sloupec nanovláknenné vrstvy, který dosahoval až k 900 cm a po následné laminaci dokonce až k 1 700 cm, ale především při této úpravě nedošlo ke zhoršení paropropustnosti. Tato poslední me-toda vedla k pozitivnímu výsledku.

Dalším a zároveň posledním krokem byla laminace nanovláknenné vrstvy. K laminaci byly použity dvě rozdílné technologie i adheziva. První metoda proběhla na strojním zařízení Karatsch, kde jako adhezivum byl použit kopolyamid. Nejdříve došlo k nánosu adheziva a po té na laminovacím zařízení došlo k samotné laminaci a k vytvoření dvou a třívrstvých laminátů. Druhá metoda proběhla na zařízení od fir-my Lacom, kde jako adhezivum byl použit PU. Toto výrobní zařízení je schopno jak nanášet laminační body, tak i laminovat v jednom pracovním kroku, právě proto bylo možné použít adhezivum na bázi PU.

Následně bylo provedeno měření dvou a tří vrstevých laminátů, které se v komfortních vlastnostech téměř nelišily, avšak po prvním praní došlo k delaminaci laminátu vyrobeného na zařízení od firmy Karatsch. Laminát vyrobený na výrobním zařízení Lacomé vydržel více jak 3 prací cykly.

Podařilo se vyvinout zcela novou nanovláknennou membránu z PA 6, která je vhodná pro oděvní účely. Dále z této membrány vytvořit dvou a třívrstvé lamináty, které mají velmi dobré komfortní vlastnosti, tedy extrémní paropropustnost, nízkou prodyšnost a vysokou hydrostatickou odolnost. Navíc se podařilo prokázat, že pro nanovláknenné membrány pro oděvní účely není vhodné používat metodu měření kontaktního úhlu smáčení. Důvodem je, jak již bylo napsáno a experimentálně prokázáno, že je nutná dokonalá hydrofobita celé nanovláknenné vrstvy a nejen její po-vrch. Kontaktní úhel smáčení je metoda měřící pouze hydrofobitu povrchu a nebere v úvahu případně působící tlaky tak, jako je tomu při měření hydrostatické odolnosti.

V disertační práci se docílilo velmi dobrých a zajímavých výsledků, avšak určitě by bylo vhodné se v budoucnu zaměřit na:

- prostup hydrofobního prostředí do samotné nanovláknenné vrstvy, jelikož i u vyšších plošných hmotností nebyl zaznamenán výrazný nárůst hydrostatické odolnosti.
- odolnost laminátu při praní, kde jako optimum je bráno okolo deseti pracích cyklů.
- tažnost nanovláknenné membrány.

I přes zmíněné nedostatky a případné další návrhy na měření či výzkum v této oblasti se započalo s průmyslovou výrobou této nanovláknenné membrány v České republice ve společnosti Nanomembrane s.r.o.

6 Zhodnocení výsledků a nových poznatků

V této práci se došlo k těmto závěrům:

- Vyvinula se nanovlákněná membrána pro oděvní účely (sport, outdoor, civilní sektor). Oproti ostatním publikacím se došlo k podstatně lepším výsledkům.
- Na základě této práce byla realizována průmyslová výroba nanovlákněné membrány, včetně její laminace.
- Byla realizována výroba nanovlákněných vrstev na několika různých výrobních zařízeních, včetně různých podkladových materiálů pro nanovlákněné vrstvy a včetně proměření všech důležitých vlastností jako je prodyšnost, paropropustnost, plošná hmotnost, hydrostatická odolnost atd.
- Byly realizovány a porovnány tři různé způsoby realizace a dvě z nich patentovány. Jednalo se o hydrofobizaci pomocí postřiku, fúlení a plazmy.
- Hydrofobizované nanovlákněné membrány byly laminovány s vrchovými a případně podšívkovými materiály. Byly vytvořeny dvou a třívrstvé lamináty.
- Poprvé byly porovnány vlastnosti nanovlákněných vrstev z hlediska několika vlastností (prodyšnost, paropropustnost, hydrostatická odolnost, úhel smáčení) a bylo zjištěno, že nanovlákněné membrány dosahují výrazně lepších hodnot oproti ostatním membránám, ať už hydrofilních či hydrofobních.
- Bylo zjištěno, že hydrofobita měřená úhlem smáčení, není v korelaci s hydrostatickou odolností.

7 Seznam použité literatury

- [1] Knížek, R., Oděvy pro sportovní a outdoorové aktivity. Technická univerzita v Liberci. Liberec, 2013. 1. ISBN 978-80-7494-012-5.
- [2] Hes, L., Sluka, P., Úvod do komfortu textilií, Technická univerzita v Liberci, Liberec 2005.
- [3] Šesták, J., Rieger, F., Přenosové jevy I. Skriptum ČVUT Praha, 1980.
- [4] Macháček, P., Hotmar, V., Víte, co si oblékáte? Svět outdooru: outdoor, turistika, hory, voda [online]. 2007 [cit. 2012-02-15]. Dostupné z: <http://www.svetoutdoru.cz/>
- [5] GORE-TEX: Technologie a Textilie. In: [online]. 2014, 2014 [cit. 2014-10-3]. Dostupné z: <http://www.gore-tex.com/>
- [6] EVent: eVent Technology. In: BUK, Jan. [online]. 2013 [cit. 2014-09-20]. Dostupné z: <http://eventfabrics.com/>
- [7] Porelle: Porelle Membrane Divisions. PORELLE. [online]. 2014 [cit. 2014-09-04]. Dostupné z: <http://www.pilmembranes.com/en/porelle/>
- [8] SympaTex: THE SYMPATEX MEMBRANE. SYMPATEX. [online]. [cit. 2014-10-23]. Dostupné z: <http://www.sympatex.com/en/membrane/225/properties>
- [9] Dermizax. DERMIZAX. [online]. [cit. 2014-10-02]. Dostupné z: <http://www.highpoint.cz/materialy2/dermizax.html>
- [10] BlocVeht: O materiálu. BLOCVENT. [online]. [cit. 2014-09-12]. Dostupné z: <http://www.highpoint.cz/blocvent.html>
- [11] Gelanots XP. GELANOTS. [online]. [cit. 2014-08-20]. Dostupné z: <http://www.pinguincz.cz/cs/gelanots.htm>
- [12] Finetex. FINETEX. [online]. [cit. 2014-09-04]. Dostupné z: <http://www.finetex.net/>
- [13] Polartec Fabrics. POLARTEC. [online]. [cit. 2014-09-04]. Dostupné z: <http://polartec.com/>

- [14] DuPont: PRODUCT FINDER. DUPONT. [online]. 2014 [cit. 2014-09-04]. Dostupné z: <http://www.dupont.com/>
- [15] Donaldson: Přehled produktů. DONALDSON. [online]. 2002-2014, 2014 [cit. 2014-09-04]. Dostupné z: <http://www.donaldson.com/index.html>
- [16] Hyung. G., Metal-Dielectric-CNT Nanowires for Femtomolar Chemical Detextion, *Advanced Materials*, 2013
- [17] Obendorf, S. K., Omproving Personal Protection Through Novel Materials. *AATCC Review*. 2010, Sv. 10, 4, stránky 42 – 50.
- [18] Ahn, H. W., Park, Ch. H., Chung, S. E., Waterproof and breathable properties of nanoweb applied clothing. *Textile Research Journal*. 2011, Sv. 81, 14, stránky 1438 – 1447.
- [19] Mufang, L., Hight performance filtration nanofibibrous membranes based on hydrophilic poly(vinylalkohol-co-ethylene) copolymer, ISSN 0011-9164, 2013.
- [20] Gibson, P., Transport properties of porous membranes based on electrospun nanofibers, *Material Science, AMSSB-RSS-MS, USA*, 2001.
- [21] Yoon, H., Park, J. H., Kim, G. H., A Superhydrophobic Surface Fabricated by an Electrostatic Process. *Macromolecular Rapid Communications*. Sv. 31, 16, stránky 1435 – 1439.
- [22] Bagherzadeh, R., Latifi, M., Najjar S. S., Tehran, M. A., Gorji, M. a Kong, L., Transport properties of multi-layer fabric based on electrospun nanofiber mats as a breathable barrier textile materiál. *Textile Research Journal*. 2012, Sv. 82, stránky 70 – 76.
- [23] M. Gorji, M., Jeddi, A. A. A., Gharehaghaji, A. A., Fabrication and characterization of polyurethane electrospun nanofiber membranes for protective clothing applications. 2012, Sv. 125, 5, stránky 4135 - 4141.
- [24] Lee, S., a Obendor, S. K., Transport Properties of Layered Fabric Systems Based on Electrospun Nanofibers. *Fibers and Polymers*. 2007, Sv. 8, 5, stránky 501 – 506.

- [25] Lee, S., Kimura, D., Yokoyama, A., Lee, K. H., Park, J. C. a Kim, I. C., The Effects of Laundering on the Mechanical Properties of Mass-produced Nanofiber Web for Use in Wear. *Textile Research Journal*. 2009, Sv. 79, stránky 1085 – 1090.
- [26] Kang, Y. K., Park, Ch. H., Kim, J., Kang, T. J., Application of electrospun polyurethane web to breathable water-proof fabrics. *Fibers and Polymers*. 2007, Sv. 8, 5, Stánky 564 – 570.
- [27] US 2008/0220676 A1 - LIQUID WATER RESISTANT AND WATER VAPOR PERMEABLE GARMENTS. United States: Patent Application Publication. 2008.
- [28] US 2011/0092122 A1. - WIND RESISTANT AND WATER VAPOR PERMEABLE GARMENTS. United States: Patent Application Publication. 2008.
- [29] Formhals, A., United States: Patent Application Publication. US patent 1. 975, 504. 1934.
- [30] Formhals, A., United States: Patent Application Publication. US patent 2. 160,962. 1939.
- [31] Formhals, A., United States: Patent Application Publication. US patent 2. 187,306. 1940.
- [32] Formhals, A., United States: Patent Application Publication. US patent 2. 323, 025. 1943.
- [33] Formhals, A.: United States: Patent Application Publication. US patent 2. 349,950. 1944.
- [34] Vonnegut, B., Neubauer, R., Detection and Measurement of Aerosol Particles, *Analytical Chemistry*. 1952, Sv. 24, 6, stránky 1000 - 1005.
- [35] Jirsák, O., Kalinová, K. Netkané textilie, Technická univerzita v Liberci, Liberec. 2003.
- [36] Růžičková, J., Elektrostatické zvlákňování nanovláken, Technická univerzita v Liberci, Liberec 2004.

- [37] Lukášová, I., Taylor, [online] prezentace, [cit. 2004-04-12] dostupné na World Wide Web: http://www.ft.vslib.cz/depart/knt/nove/obsah=studium/stranky_predmetu/mit
- [38] Lev, J., Can nonofibers replace current microfiltration materials? Nanocon, Brno, 2013
- [39] Buk, J., Nanomateriály v praxi, výzkum, vývoj a výroba nanovláknenných materiálů: Odstředivé zvláknování [online]. 2012 [cit. 2014-09-20]. Dostupné z: http://www.ft.tul.cz/studenti/seminar_doktorandu/seminare_2011-2012/buk_2012.pdf
- [40] Dombrow, B. A., Polyuretany, SNTL, Praha 1961.
- [41] Mleziva, J., Polymery - struktura, vlastnosti a použití, Sobotales, Praha 1993.
- [42] Marsano, E., Francis, L., Giunco, F., Polyamide 6 nanofibrous nonwovens via electrospinning. Journal of Applied Polymer Science. 2010, Sv. 117, 3, stránky 1754 – 1765.
- [43] Shi, L., Zhuang, X., Tao, X., Cheng, B., Kang, W., Solution Blowing Nylon 6 Nanofiber Mats for Air Filtration. Fibers and Polymers. 2013, Sv. 14, 9, stránky 1485-1490.
- [44] Guibo, Y., Qing, Z., Yahong, Z., Yin Y., Yumin, Y., The electrospun polyamide 6 nanofiber membranes used as high efficiency filter materials: Filtration potential, thermal treatment, and their continuous production. Journal of Applied Polymer Science. 2012, SV. 128, 2, stránky 1061 – 1069.
- [45] Mannarino, M. M., Rutledge, G. C., Mechanical and tribological properties of electrospun PA 6(3)T fiber mats. Polymer. 2012, Sv. 53, 14, stránky 3017 – 3025.
- [46] Tan, K., Obendorf, S. K., Fabrication and evaluation of electrospun nanofibrous antimicrobial nylon 6 membranes. Journal of Membrane Science. 2007, Sv. 305, stránky 287 – 298.
- [47] Kryštůfek J. a kol., Technologie zušlechťování, ISBN 80-7083-560-5, Liberec 2002.
- [48] Kiss, E., Handbook of Fiber Science and Technology, vol. II, Chemical Processing of Fibers and Fabrics. Functional Finishes. Part B. Levin M and Sellon S. B. New York, Marcel Dekker. 1984, stránky 159 – 172.
- [49] Chvala, A., Anger, V., Handbuch der Textilhilfsmittel. Weinheim, 1977.

- [50] Sahin, O. P., Stain removal characteristics of fabrics and stain-resistance/repase finishing. *Textile Dyer & Printer*. 1987. Sv 20, 25, Stránky 24 – 27.
- [51] Duschek, G., Emissionsarme und APEO-FRIE Fluorcarbon_Austrüstung. *Melliand Textilberichte*. 2001. Sv. 82, 7/8, stránky 135 – 213.
- [52] Schindler, W. D., Hauser, P. J., *Chemical finishing of textiles*. The textile Institute. CRC Press LLC, 2004. ISBN 1 85573 905 4.
- [53] Biederman, H., *Plasma polymer Films*, London, 2004, Imperial College Press.
- [54] Coulson, S. R., Woodward, I. S., Badyal, J. P. S., Brewer, S. A., Willis, C. R., Plasmachemical functionalization od solid surfaces with low surface energy perfluorcarbon chaos, *Langmuir*, 2000, 16, 6287-6293.
- [55] Shishoo, R., *Plasma technologies for textiles*, The Textile Institute, Cambridge England, 2007.
- [56] Schutze, A., The atmospheric-pressure plasma jet: a review and comparison to other plasma sources. *Plasma Science, IEEE Transactions*. 2002, Sv. 26, 6, stránky 1685 – 1694.
- [57] Ma, M., Hill, R. M., Superhydrophobic surfaces. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 2006, Sv. 11. 4, Stránky 193 – 202.
- [58] Han, D., Steckl, A. J., Superhydrophobic and Oleophobic Fibers by Coaxial Electrospinning. *Langmuir*. 2009, Sv. 25, 16, stránky 9454 – 9462.
- [59] Yoon, H., Park, J. H., Kim, G. H., A Superhydrophobic Surface Fabricated by an Electrostatic Process. *Macromoleculer Rapid Communications*. Sv. 31, 16, stránky 1435 – 1439.
- [60] Liao, Y., Wang, R., Tian, M., Qiu, Ch., Fane, A. G., Fabrication of polyvinylidene fluoride (PVDF) nanofiber membranes by electro-spinning for direct contact membrane distillation. *Journal of Membrane Science*. 2013, Sv. 425-426, Stránky 30 -39.
- [61] Ma, M., Hill, r. M., Lowery, J. L., Fridrich, S. V., rutledge, G. C., *Electrospun Poly(Styrene-block-dimethylsiloxane) Block Copolymer Fibers Exhibiting Superhydrophobicit*. American Chemical Society. 2005, Sv. 21,12, stránky 5549 – 5554.

- [62] Jonoobi, M., Harun, J., Hathew, A. P., Hussein, M. Z. B., Oksman, K., Preparation of cellulose nanofibers with hydrophobic surface characteristics. *Cellulose*. 2010, Sv. 17, 2, stránky 299 – 307.
- [63] Gautam, A. K., Lai, Ch., Fong, H., Menkhaus, T. J., Electrospun polyimide nanofiber membranes for high flux and low fouling microfiltration applications. *Journal of Membrane Science*. 2014. Sv. 466, stránky 142 – 150.
- [64] Hsieh, Ch. T., Fan, W. S., Superhydrophobic behavior of fluorinated carbon nanofiber arrays. *Applied Physics Letters*. 2006. Sv. 88, stránky 42 – 50.
- [65] Lee, M., Ko, Y. G., Lee, J. B., Park, W. H., Cho, D., Kwon, O. H., Hydrophobization of silk fibroin nanofibrous membranes by fluorocarbon plasma treatment to modulate cell adhesion and proliferation behavior. *Macromolecular Research*. 2014. Sv. 22, 7. stránky 746 – 752.
- [66] Thordvaldsson, A., Edvinsson, P., Glantz, A., Rodrigues, K., Wilkenstrom, P., Gatelm, P. Superhydrophobic behaviour of plasma modified electrospun cellulose nanofiber-coated microfibers. *Cellulose*. 2012, Sv. 19, 5, stránky 1743 – 1748.
- [67] Thordvaldsson, A., Edvinsson, P., Glantz, A., Rodrigues, K., Wilkenstrom, P., Gatelm, P., Superhydrophobic behaviour of plasma modified electrospun cellulose nanofiber-coated microfibers. *Cellulose*. 2012, Sv. 19, 5, stránky 1743 – 1748.
- [68] Vestamelt [online]. Německo: Vestamelt, [cit. 2005 –03 –23]. Dostupné na WWW: <http://www.vestamelt.com>□.
- [69] Nanofiber Equipment. Elmarko. [online]. 2004- 2013 [cit. 2014-10-12]. Dostupné z: <http://www.elmarco.com/nanofiber-equipment/nanofiber-equipment/>.
- [70] Jirsak, O., Petrik S., Recent advances in nanofibre technology: needleless electrospinning. *Journal of Nanotechnology*. 2012, Sv. 9, 8/9, stránky 836 – 845.
- [71] Technologie konfekčního tvarování: technologie podlepování. In: [online]. 2010 [cit. 2014-10-3]. Dostupné z: http://www.kod.tul.cz/ucebni_materialy/tvarovani/podlepovani/podlepovani.htm.

- [72] Lacom: Lamination of PP spunbond fabrics: Technology & Machinery. In: Allgemeiner Vliesstoff-Report Nanowovens&Technical Textiles [online]. 16.4.2014, 2014 [cit. 2014-09-04]. Dostupné z: <http://www.verpackungsrundschau.de/home/news/technology+machinery/lacom+lamination+of+pp+spunbond+fabrics+.119327.htm>.
- [73] Liu, L., Huang, Z. M., He, C. L., Han, X. J., Mechanical performance of laminated composites incorporated with nanofibrous membranes. *Materials Science and Engineering: A*. 2006, Sv. 435 – 436, stránky 309 – 317.
- [74] Meloun, M., Militký, J., *Statistické zpracování experimentálních dat*. 1.vyd., Praha:Plus, 1994, ISBN 80-85297-56-6.
- [75] Cyhelský, L., Kahounová, J., Hindls, R., *Elementární statistická analýza*. 1. Vyd. Praha:Management Press, 1996, ISBN 80-85943-18-2.
- [76] Hendl, J., *Analýza a metaanalýza dat*. 3. Vyd., Praha:Portál, 2009, ISBN 9787-80-7367-482-3.
- [77] Ducháček, V., *Polymery, výroba, vlastnosti, zpracování, použití*, VŠCHT Praha. 2006, stran 280, ISBN 80-7080-617-6.
- [78] Militký, J., *Textilní vlákna*, Technická univerzita v Liberci, Liberec 2002.
- [79] Boram, Y. S., *Designing Waterproof Breathable Materials Based on Electrospun Nanofibers and Assesing the Performance Characteristics*, Nanomedicine, Seoul 120-749, Korea 2011, stránky 57-64.
- [80] Faccini, M., Vaquero, C., Amantia, D., *Development of Protective Clouthing against Nanoparticle Based on Electrospun Nanofibers.*, *Journal of Nanomaterials* 2012, číslo článku: 892894.
- [81] Chen, Y., Han, DH., Ouyang, W., Chen SL., Hou, HQ., Zhao, Y., Fong, H., *Fabrication and evaluation of polyamide 6 composites with electrospun polyimide nanofibers as skeletal framework*, *Composites part b-engineering*, 2012, SV. 43, 5 stránky 2382-2388.
- [82] Munzarová, M., *Barrier fabric containing nanofiber layer*, *Fibers for Progress* 2014.

[83] Laminated fabric produced by electrospun nanofibers, Modern Concepts in Nanotechnology Research. 2013, stránky 105 – 115.

8 Práce autora se vztahem ke studované problematice

8.1 Publikace v odborných časopisech

1. Knížek, R., Fridrichová, L., Miková, P., Bajzík, V., Polyurethane Coating on a Supporting Layer of Polymeric Nanofibers, Book of proceedings 12th Autex World Textile Conference, 2012, ISBN 9789537105488, published 2013.
2. Fridrichová, L., Zelová, K., Knížek, R., Influence of Structure of Material on Properties of Bending Rigidity and Creasing in Different Directions, Advanced Science Letters, Sv. 19, 2, stránky 384-387(4), 2013, ISSN: 19366612, published 2013.
3. Knizek, R., Wiener, J., Jirsak, O., Fridrichova, L., Bajzik, V., Hydrophobic Nano-fiber Layers, Advanced Science Letters, stránky 605-608, Sv 19, 2, 2013. ISSN 1936-7317, published 2013.
4. Knizek, R., Karhankova, D., Bajzik, V., Protective Clouthing Using Nanofibers, Advanced Materials Research, Sv. 909, stránky 24-26, 2014. ISBN 978-3-03835-059-0, ISSN 1022-6680, published 2014.
5. Heinisch, T., Bajzik, V., Knizek, R., Gregusova, Z., Effect of the process of lamination microporous nanofiber membrane on the evaporative resistance of the two-layer laminate, Advanced Materials Research, Sv. 677, stránky 103-108, 2013, ISSN: 10226680, published 2014.

8.2 Příspěvek ve sborníku z konference

1. Knizek, R., Wiener, J., Jirsak, O., Microporous nanofibre membranes, Aachen Dresden international Textile conference, November 24-25, Aachen, 2011. ISSN 1867-6405.
2. Knizek, R., Miková, P., Wiener, J., Polyurethane Coating on a Layer of Nano-fibers, 19th international conference STRUTEX, stránky 161-162, December 2012, ISBN 978-80-7372-913-4.
3. Knizek, R., Karhankova, D., Protective working dress using nanofibers, Aachen-Dresden International Textile Conference, Aachen 2013. ISSN 1867-6405.
4. Knizek, R., Karhankova, D., Creation and development of universal outer clothing for the city and sports with an emphasis on maintaining comfort properties, Scientific conference

for Smart and functional textiles, Well-Being, Thermal comfort in clothing, Design, Thermal Manikins and Modelling Ambience14 Conference, Finsko, September 2014.

5. Knizek, R., Karhankova, D., Bajzik, V., Protection of Nanofiber Membranes with the help of Applying Dyes, stránky 216-219, Book of proceedings of the 7th International Textile, Clothing & Design Conference–Magic World of Textiles, ITC&DC – 7th International Textile, Clothing & Design Conference, Dubrovnik, 2014. ISSN 1847-7275. ISBN 978-953-7105-54-9.

6. Knizek, R., Karhankova, D., Fridrichova, L., Lamination Of Nanofiber Layer, CADME 2015: 17th International Conference on Advanced Design and Manufacturing Engineering, October, 11-12, Bali, Indonesia, 2015.

7. Knizek, R., Karhankova, D., Creation of Product Cards for Membrane Clothing Producers, Aachen-Dresden international Textile conference, Aachen, November 26-27, 2015. ISSN 1867-6405.

8.3 Odborná literatura

1. Knížek, R., Oděvy pro sportovní a outdoorové aktivity. Technická univerzita v Liberci. Liberec, 2013. 1. ISBN 978-80-7494-012-5.

8.4 Patenty a užité vzory

1. Knížek, R., Jirsák, O., Wiener, J., Chaloupka, Z., Vrstva polymerních nanovláken se zvýšenou hydrostatickou odolností a vícevrstvý textilní kompozit obsahující alespoň jednu takovou vrstvu, Česká republika, UV 24446, 2012-26069, Dostupné také: <http://spisy.upv.cz/UtilityModels/FullDocuments/FDUM0024/uv024446.pdf>

2. Knížek, R., Jirsák, O., Wiener, J., Sanetrník, F., Plošná vrstva polymerních nanovláken se zvýšenou hydrostatickou odolností a větruodolností, Česká republika, UV 24729, 2012-26942, Dostupné také: <http://spisy.upv.cz/UtilityModels/FullDocuments/FDUM0024/uv024729.pdf>

3. Knížek, R., Chaloupka, Z., Textilní kompozit zejména pro outdoorové aplikace, Česká republika, UV 25682, 2012-27162, Dostupné také: <http://spisy.upv.cz/UtilityModels/FullDocuments/FDUM0025/uv025682.pdf>

4. Knížek, R., Karhánková, D., Bajzík, V., Wiener, J., Knížková, M., Textilní kompozit, Česká republika, UV 27368, 2014-29687, Dostupné také: <http://spisy.upv.cz/UtilityModels/FullDocuments/FDUM0027/uv027368.pdf>
5. Knížek, R., Karhánková, D., Bajzík, V., Knížek, O., Sanetrník, F., Jirsák, O., Knížková, M., Zařízení pro výrobu nanovláken elektrostatickým zvlákňováním roztoku nebo taveniny polymeru, Česká republika, UV 27438, 2014-29686, Dostupné také: <http://spisy.upv.cz/UtilityModels/FullDocuments/FDUM0027/uv027438.pdf>
6. Knížek, R., Karhánková, D., Jednorázový ochranný oděv, Česká republika, UV 26314, 2013-28452, Dostupné také: <http://spisy.upv.cz/UtilityModels/FullDocuments/FDUM0026/uv026314.pdf>
7. Knížek, R., Jirsák, O., Wiener, J., Hes, L., Košková, M., Sanetrník, F., Způsob zvýšení hydrofobních vlastností plošné vrstvy polymerních nanovláken, vrstva polymerních nanovláken se zvýšenými hydrofobními vlastnostmi, a vrstvený textilní kompozit, který obsahuje takovou vrstvu, Česká republika, P 2011-306, Dostupné také: http://spisy.upv.cz/Applications/2011/PPVCZ2011_0306A3.pdf
8. Knížek, R., Jirsák, O., Wiener, J., Chaloupka, Z., Způsob zvýšení hydrostatické odolnosti vrstvy polymerních nanovláken, vrstva polymerních nanovláken se zvýšenou hydrostatickou odolností, a vícevrstvý textilní kompozit obsahující alespoň jednu takovou vrstvu, Česká republika, P 2012-325, Dostupné také: <http://spisy.upv.cz/Patents/FullDocuments/305/305675.pdf>
9. Knížek, R., Chaloupka, Z., Textilní kompozit zejména pro outdoorové aplikace, Česká republika, P 2012-895, Dostupné také: http://spisy.upv.cz/Applications/2012/PPVCZ2012_0895A3.pdf
10. Knížek, R., Karhánková, D., Bajzík, V., Knížek, O., Sanetrník, F., Jirsák, O., Knížková, M., Způsob pro výrobu nanovláken elektrostatickým zvlákňováním roztoku nebo taveniny polymeru, a zařízení k jeho provádění, Česká republika, P 2014-418, Dostupné také: <http://spisy.upv.cz/Patents/FullDocuments/305/305901.pdf>

Curriculum Vitae

Osobní údaje

JMÉNO A PŘÍJMENÍ	Ing. Roman Knížek
ADRESA	Svornosti 911/52, 463 11 Liberec
MOB.	+420 731 626 617
E-MAIL	roman.knizek@tul.cz

NÁRODNOST	česká
DATUM NAROZENÍ	25.3.1984
POHLAVÍ	mužské

Pracovní zkušenosti

DATUM	2010 - 2012
POZICE	středoškolský pedagog
ZAMĚSTNAVATEL	Střední škola gastronomie a služeb, Liberec

DATUM	2011 - současnost
POZICE	odborný asistent
ZAMĚSTNAVATEL	Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní

DATUM	2011 - 2013
POZICE	jednatel společnosti
ZAMĚSTNAVATEL	Viola Nanotechnology s.r.o.

DATUM	2012 - 2014
POZICE	jednatel společnosti
ZAMĚSTNAVATEL	Nanoprotex s.r.o.

DATUM	2015 - současnost
POZICE	ředitel pro výzkum a vývoj
ZAMĚSTNAVATEL	NANOMEMBRANE s.r.o.

Vzdělání a stáže

DATUM DOSAŽENÉ VZDĚLÁNÍ HLAVNÍ OBOR ORGANIZACE	2004 – 2008 bakalářské Textilní materiály a zkušebnictví Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní
DATUM DOSAŽENÉ VZDĚLÁNÍ HLAVNÍ OBOR ORGANIZACE	2008 - 2010 magisterské Textilní technologie Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní
DATUM DOSAŽENÉ VZDĚLÁNÍ HLAVNÍ OBOR ORGANIZACE	2010 - současnost studium Ph.D. - trvá Textilní inženýrství Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní
DATUM DÉLKA STÁŽE ORGANIZACE	2012 1 měsíc Georgia Institute of Technology, USA
DATUM DÉLKA STÁŽE ORGANIZACE	2013 1 měsíc Georgia Institute of Technology, USA
Zkušenosti a dovednosti	
HLAVNÍ JAZYK DALŠÍ JAZYKY	čeština angličtina
ODBORNÉ ZKUŠENOSTI A DOVEDNOSTI	Specializace na komfort textilií, vývoj a aplikace nanovlákných vrstev do oděvních výrobků, včetně ovládání měřicí techniky s tím spojené (hydrostatická odolnost, paropropustnost, prodyšnost, obrazová analýza, oděr atd.), spolupráce s výrobními podniky.

Stručná charakteristika dosavadní odborné, výzkumné a vědecké činnosti

Doktorské studium

Studium	Studium v prezenční formě doktorského studijního programu Textilní inženýrství, v oboru Textilní technika na Fakultě textilní Technické univerzity v Liberci.
Seznam zkoušek	Přenos tepla v porézních strukturách, 3.2.2011. Specializace v oboru, 9.3.2011. Sorpční procesy 27.3.2012. Vybrané partie z řešení diferenciálních rovnic, 16.5.2014.
SDZ	Státní doktorská zkouška vykonána dne 3.12.2014 s celkovým hodnocením prospěl.

Pedagogická činnost

Výuka	Komfort textilií, 2011 do současnosti
Vedení DP a BP	Pavčina Šteklová, Vliv waterrepellent přípravků na outdoorové materiály, 2011. Karolína Krupková, Hydrofobizace nanovlákněné vrstvy pomocí fuláru, 2012. Bc. Zlata Svádová, Jednorázový ochranný oděv z polymerních nanovláken, 2012. Bc. Květa Urbancová Vývoj neporézní membrány na polymerní vrstvu nanovláken, 2012. Petra Miková, Tvorba zátěru na polymerní vrstvu nanovláken, 2012. Bc. Radka Pittnerová, Aplikace nanovlákněné membrány NANOPROTEX do oblečení pro vojenské účely, 2013 Bc. Kateřina Plšková, Tvorba dvouvrstvého laminátu s funkční pleteninou, 2013. Bc. Miroslava Polanková, Návrh konstrukce vrstvené textilie pro zimní oděvy, 2013.

Bc. Jitka Lečbychová , Tvorba 3-vrstvého laminátu s nanovláknennou membránou pod 100g/m², 2013.

Bc. Hana Šmídová, Laminace hydrofobizované nanovláknenné vrstvy s cílem vysoké adheze a paropropustnosti, 2013.

Bc. Anna Papežová, Ochrana nanovláknenné membrány pomocí nánosu barviva, 2013.

Bc. Petra Miková, Vytvoření laminátu s nanovláknennou membránou pro outdoorovou obuv, 2015.

Klára Puschová, Komfortní vlastnosti bavlněných tkanin určených pro outdoorové aktivity, 2015.

Ostatní projekty

Rámcová smlouva o spolupráci mezi TUL a firmou Svitap J.H.J. spol. s r.o., výzkum, vývoj a inovace oblasti aplikace nanovláknenné membrány do bezbariérových oděvů (Roman Knížek), 2014 až současnost.

Zápis o vykonání státní doktorské zkoušky

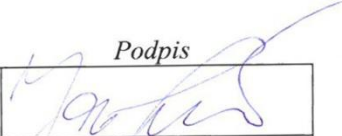
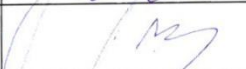

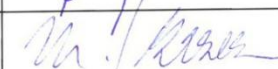
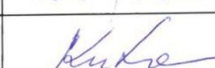
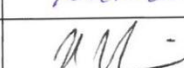
ZÁPIS O VYKONÁNÍ STÁTNÍ DOKTORSKÉ ZKOUŠKY (SDZ)

Jméno a příjmení doktoranda: **Ing. Roman Knížek**
Datum narození: **25. 3. 1984**
Doktorský studijní program: **Textilní inženýrství**
Studijní obor: **Textilní technika**
Termín konání SDZ: **3. 12. 2014**

prospěl

~~neprospěl~~

Komise pro SDZ:

		<i>Podpis</i>
Předseda:	prof. Ing. Jaroslav Šesták, DrSc., dr.h.c.	
Místopředseda:	prof. Ing. Jiří Militký, CSc.	
Členové:	doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.	
	doc. RNDr. Miroslav Brzezina, CSc.	
	doc. Ing. Antonín Kuta, CSc.	
	prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.	

V Liberci dne 3. 12. 2014

O průběhu SDZ je veden protokol.

Vyjádření školitele doktoranda

Vyjádření školitele k doktorské dizertační práci ing. Romana Knížka

Předložená doktorská dizertační práce navazuje na výsledky výzkumu a vývoje přípravy nanovlákných vrstev dosažené na textilní fakultě TUL. Autor se zaměřil na studium možností využití nanovlákných vrstev pro přípravu polopropustných membrán pro oděvní účely.

Ve své značně rozsáhlé práci prostudoval vlivy nezávislých proměnných (způsob výroby nanovlákné vrstvy, způsob hydrofobizace nanovlákné vrstvy, způsoby a parametry laminace vrstvy) na nejdůležitější vlastnosti membrán (hydrostatická odolnost, propustnost pro vodní páru, prodyšnost). Výsledkem práce je

- použitelná funkční membrána s vlastnostmi překonávajícími existující výrobky
- soubor teoretických a praktických poznatků potřebných pro realizaci výroby této membrány.

Vysoce oceňuji inovativní přístup autora, vysokou míru samostatnosti jeho práce, enormní úsilí a komplexní přístup k řešené problematice.

Výsledky práce byly přiměřeně publikovány a patentovány a jsou základem pro průmyslovou realizaci oděvních membrán pro oděvní účely. Výsledky již byly potvrzeny a oceněny mezinárodní odbornou veřejností.

Práce svým rozsahem a významem překračuje obvyklou úroveň doktorských dizertací a vzhledem k tomu ji doporučuji k obhajobě.

Prof. RNDr. Oldřich Jirsák, CSc

školitel



V Liberci, 11. 1. 2016

Oponentské posudky disertační práce

Oponentský posudek k disertační práci

Autor disertační práce : Ing. Roman K N Í Ž E K
Obor doktorského studia : 3106V008 - Textilní technika
Studijní program : P3106 – Textilní inženýrství
Školitel : prof. RNDr. Oldřich Jirsák, CSc.

Název disertační práce :

Teoretická a experimentální analýza struktury a vlastností polopropustných membrán pro oděvní účely

Tato disertační práce měla za cíl prostudovat a popsat vývoj nanovláknenné membrány pro sportovní a outdoorové oblečení za účelem zvýšení komfortních vlastností těchto oděvů. Výstupem pak byla nejen podrobná teoretická rešerše, ale především nově vyvinutá nanovláknenná membrána s předem jasně definovanými vlastnostmi a z ní vyrobené dvou a třívrstvé lamináty pro oděvní účely. Konkrétní cíle a úkoly jsou přesně specifikovány v kapitole 1.

Disertační práce obsahuje teoretickou část v kapitolách 2-5, silnou praktickou část obsahující výsledky měření v kapitolách 6-8, závěr a zhodnocení výsledků a nových poznatků v kapitolách 9-10. Práce je srozumitelně členěna a dá se v ní dobře orientovat.

V kapitole 3 je v přehledu popsán náhled na komfort textilií a definována jednotlivá hodnotící kritéria pro jejich posuzování jako *propustnost textilií pro vodní páry* - porovnány i ukazatele MVTR a Ret, popsán přenos tepla a vlhkosti včetně rozsáhlého aparátu výpočtů jednotlivých typů přenosu, *propustnost textilií pro vzduch* a *hydrostatická odolnost textilií*. Pro tyto tři charakteristiky jsou také stanoveny optimální hodnoty pro nově vyvíjené textilie. Samostatná podkapitola je věnována vrstvenému oblékání s popisem materiálů vhodných pro transportní, izolační a ochrannou vrstvu a rozdělením na jednotlivá roční období. Popis funkcí jednotlivých vrstev je naprosto přesný, přesto panuje nejasnost pojmů především u obchodníků s outdoorovým oblečením, kteří jsou v práci citováni (thermo; micro; funkční prádlo).

V kapitole 4 je popsán přehled průmyslově vyráběných nanovláknenných membrán a byla provedena i patentová rešerše této oblasti. Nejčastěji jsou používány hydrofobní (mikroporezní) a hydrofilní (neporézní) membrány. Z provedené rešerše vyplynula nutnost

zabývat se vývojem nanovlákněné membrány včetně jejího spojení s dalším textilním materiálem (tkanina, pletenina) při dosažení odpovídající hydrostatické odolnosti.

Přehled kroků potřebných k vývoji nanovlákněné membrány je zobrazen v kapitole pět. Jsou popsány doposud známé typy výroby nanovlákněných vrstev (elektrostatické zvláknění – Nanospider i Spin Line a odstředivé zvláknění - Forcespinning). Dále jsou popsány jednotlivé polymery vhodné a nejčastěji používané pro výrobu membrán – polyuretan a polyamid a i zde byl podrobně popsán současný stav poznání. Podkapitola 5.3 se věnuje hydrofobizaci nanovlákněné vrstvy za účelem zvýšení její hydrostatické odolnosti. Jako nejvhodnější byly vybrány úpravy na bázi silikonu a fluorkarbonu. Podrobně je popsána plazmatická úprava nízkovakuovou plazmou, která byla následně realizována v experimentální části – viz 5.4.

Doktorand v této kapitole také popisuje jednotlivé typy laminátů-dvouvrstvý, dvou a půl vrstvý, třívrstvý, Z-Liner a věnuje se i procesům potřebným pro vznik laminátů, to jest nánosování a podlepování – opět s detailním popisem těchto operací včetně parametrů a dostupného technologického zařízení. I zde byla provedena rešerše aktuálního stavu laminace nanovlákněných vrstev.

V experimentální části postupoval autor podle schématu popsaného v kapitole pět. Je zde oddělena výroba vzorků na TU v Liberci a následně poloprovozní výroba v průmyslových podmínkách. Jsou definovány i měřicí přístroje pro stanovení parametrů (paropropustnost, prodyšnost, hydrostatická odolnost, hydrofobita, úhel smáčení a odolnost v praní) a způsoby statického vyhodnocení dat (μ , test shody středních hodnot, jedno a dvoufaktorová analýza rozptylu). Nanovlákněná vrstva byla vyrobena z PU a PAD na všech třech dostupných technologiích popsaných v teoretické části. Byla vyřazena technologie Spin Line (nerovnoměrná vrstva) i odstředivé zvláknění (vysoká objemnost vrstvy). Dle mého názoru doktorand dobře stanovil rozsah vyráběných membrán v rozmezí 1-5 gr/m² za účelem vhodné funkčnosti a optimálních nákladů. Následně byla provedena hydrofobizace nanovlákněné vrstvy na fuláru, postřikem a nízkovakuovou plazmou. Byla testována také různá koncentrace a doba smáčení použitých impregnačních roztoků na bázi silikonu a fluorkarbonu. I zde je velmi dobrý popis podmínek provádění experimentu z hlediska nastavení jednotlivých parametrů. Nejlepších výsledků bylo dosaženo plazmatickou úpravou na membráně z PA6 hydrofobizované fluorkarbonem. Závěrečnou operací byla laminace ve firmách Interlana a Lacom a vytvoření a testování dvouvrstvého a třívrstvého laminátu při kombinaci nánosování a podlepování.

Výsledkem této velmi rozsáhlé a pečlivě provedené experimentální činnosti byl návrh konkrétních materiálů a použitých technologií pro získání finálního produktu. Oceňuji především to, že autor odzkoušel všechny dostupné způsoby technologií a použitých materiálů, které navzájem porovnal a vybral nejlepší variantu, kterou realizoval v plánovaném experimentu v poloprovozních průmyslových podmínkách.

Za naprosto nový lze tedy považovat vyvinutý dvou a třívrstvý laminát vyrobený na Nanospideru z PA6, plazmaticky upravený flurokarbonem, který dosahuje stanovených vlastností a lze jej použít pro oděvní účely v oblasti sport a outdoor.

Za inovativní také považuji studium a popis v jednotlivých fázích experimentu včetně vyvození jasných a praktických závěrů. Z práce je vidět, že autor si tuto problematiku plně osvojil a že v tomto oboru aktivně a cílevědomě pracuje. Auto také svojí prací aktivně přispěl k rozvoji tohoto oboru.

Bohatá je také publikační činnost autora uvedená v příloze, zahrnující publikace v odborných časopisech, knihách a sborníky z konferencí. Velmi významná je také oblast ochrany duševního vlastnictví, kde je Ing. Knížek autorem jedenácti patentů a užitných vzorů!

K formální a jazykové úpravě mám následující drobné připomínky :

- *Strana 31 – 2x se vyskytuje věta „U sportovních oděvů (např. dresů).....“ ;*
- *Strana 60 převijícími a odvíjícími se válci*;
- *Strana 69..... poslední odstavec - autor uvádí v textu podlepování, jde však o nánosování, jak vyplývá z kontextu;*
- *Strana 110..... „.....se nejednalo o neupravenou vrstvu – **správně mělo být jednalo se o neupravenou vrstvu, atd.**;*

Tyto a ostatní malé chyby lze označit za drobné překlepy a nemají žádný vliv na vysokou odbornou úroveň celé práce. V práci je také odpovídající množství tabulek s výsledky a fotodokumentace. Pouze bych doporučil u vyhodnocování a porovnávání jednotlivých parametrů a technologií použít sloupcové grafy pro větší přehlednost dosažených výsledků.

Na doktoranda mám následující otázky:

- Jaká bude cenová konkurenceschopnost nově vyvinutého dvou a třívrstvého laminátu ve srovnání s komerčně dodávanými materiály bez nanovláken (odborný odhad) ?

- Jakým způsobem lze zvýšit odolnost laminátu při praní aby bylo dosaženo požadovaného počtu cyklů údržby (10 a více) ?

Disertační práci jako celek považuji za vysoce inovativní a přínosnou po teoretické i praktické stránce. Cíle stanovené v zadání disertační práce byly zcela splněny. Výstupy z disertační práce pozitivně ovlivní teoretickou oblast (oceňuji četné publikace v odborných knihách, časopisech a na konferencích) tak i výrobní a experimentální praxi (navržené průmyslové užité vzory a patenty).

Závěr :

Doporučuji disertační práci k obhajobě.

V Ústí nad Orlicí 17. dubna 2016



Ing. Jiří Procházka

Oponentní posudek
disertační práce Romana Knížka
Teoretická a experimentální analýza struktury a vlastností polopropustných
membrán pro oděvní účely.

Předložená disertační práce popisuje technickoinženýrské řešení a vývoj oděvní textilie, obsahující nanovláknennou membránu. Zvolené téma je zřejmě aktuální a významné pro rozvoj oboru. Vzhledem k tomu, že nejsem odborník na textilní materiály pro oděvnictví, posuzoval jsem práci především z obecných hledisek a obecných požadavků na disertační práci.

Hned v úvodu posudku konstatuji, že práce je uspořádána velmi chaoticky a nepřehledně. Není zachováno obvyklé členění disertačních prací na 1. Úvod, 2. Přehled dosavadních poznatků, 3. Cíl práce, 4. Experimentální část, 5. Výsledky a diskusi a 6. Závěr. Informace o dosavadních poznacích i popisy experimentálních postupů jsou roztroušeny po celé práci vždy k jednotlivým částem technického řešení, což velmi ztěžuje orientaci čtenáře a zamlžuje, co disertant dělal sám a co se rutinně dělá někde v provozu či na jiných pracovištích, co je známé a co je nové. Práce je napsána dosti nedbale a obsahuje velké množství překlepů, špatných formulací a chyb, u některých se dále zastavím.

1. Seznam symbolů je neúplný, neboť v textu je uvedeno množství dalších symbolů a zkratk, z nichž řada není vysvětlena ani v místě, kde se vyskytují. Již tento Seznam, umístěný na úplném začátku práce, obsahuje překlepy např. procházející – procházející, Reynoldsova čísla – Reynoldsovo číslo, polyuretan – polyurethan, polyvinylidenefluoride – polyvinylidenfluorid, polydimethylsiloxane – polydimethylsiloxan, termoplastický polyuretan – polyurethan. Disertační práce je práce vědecká, a proto by v chemických názvech mělo být důsledně užíváno „th“, např. methyl, ethanol, polyurethan. Na některých místech práce je to tak používáno, jinde nikoliv.
2. Cíl práce by měl být uveden až po přehledu poznatků, z něhož má vycházet. Cíl práce na str. 15 je formulován velmi vágně – „vyvinutí laminované textilie s nanovláknennou membránou a s vhodnými komfortními vlastnostmi“. Jak je míněn obrat že „prakticky neexistuje téměř žádný výrobce na světě“?
3. Kapitola „2. Přehled současného stavu problematiky“ v rozsahu dvou stran je naprosto nedostatečná, mohla by snad rozšířit „Úvod“, je napsána spíše jako příspěvek do populárně naučného časopisu. Je pravdou, že současný stav problematiky je dále uváděn na několika místech pod různými názvy vždy k jednotlivým řešeným problémům, avšak tento způsob je pro disertační práci nevhodný.
4. Podobným stylem je psána i kapitola „3. Komfort textilií“, kde se autor několikrát odkazuje sám na sebe (citace [1]). Tato kapitola je zaplněna množstvím informací, které s vlastním řešením souvisejí jen částečně, nebo vůbec. Zřejmě byly opisovány prakticky celé kapitoly příslušných literárních zdrojů. Např. část o ustáleném vedení tepla v tyči na str. 22 je celá okopírována i se symboly a vzorci z Wikipedie, odkaz není uveden. Podobně není zřejmý důvod detailního popisu proudění tekutin a kritérií

podobnosti tepelné konvekce, když ve vlastní experimentální práci se tento přístup neobjevuje. Na str. 29 má být zřejmě Fickova zákona, nikoliv Fricova. Podkapitola „3.4 Vrstvené oblékání“ opět připomíná příspěvek do populárně naučného časopisu.

5. Dalším příkladem pochybného přístupu disertanta k sepisování disertační práce je podkapitola 5.2.1 Polyuretany (správně polyurethany). Tato kapitola je doslovně (avšak s mnoha chybami) opsána z monografie Polymery, přičemž zde uvedené citace [19] a [20] se týkají úplně jiné problematiky. Je zde opsáno prakticky vše o polyurethanech, hlavně o pěnách a elastomerech, které se disertace vůbec netýkají. Relativní reaktivita *prim* a *sec* OH je 1:0,3 nikoliv 1:0,03. Co znamenají čísla u názvů polyisokyanátů (3.3/1), (3.3/2), (3.3/3)? Při opisování se zřejmě přehlédl o řádek, takže nedokončená věta „... přichází na trh jako směs s obsahem 2,4 izomer.“ by měla končit „...s obsahem 2,4 izomeru 80% (b.t. 13,5 °C) nebo 65% (b.t. 5 °C); zbytek je 2,6 izomer.“ Doslovně je opsána i část o polyolech, avšak opět se špatným literárním odkazem [20], který se podle názvu článku týká transportních vlastností porézních membrán.
6. Na str. 52 je nesprávně „laktánů“ místo „laktamů“, úsměvná je věta „Jako základní surovina pro výrobu vláken z polyamidu 6 se používá fenol, který se mění na cyklohexanol, následuje cyklohexanon, cyklohexanonoxim a pak Beckmannův přesmyk na kaprolaktam“. V podstatě to je pravda, avšak jako výchozí v tomto řetězci by mohl být i kumen nebo benzen BTX frakce z katalytického reformování nebo samotná ropa. Formulace „Polymerací vzniká směs kaprolaktamu s vodou a ohříváním na 220°C v inertní atmosféře. Surový hydrolytický polyamid obsahuje vždy volný 6-kaprolaktam, který se musí zbavit vypíráním granulí vodou...“ je nesrozumitelná a jazykově nesprávná. Na následující straně 53 bije do očí slovo „hydrolytického polyamidu 6“ místo „hydrolytického“, „do zvláknovacích trysk“ místo „trysek“. Rovněž věta „Kromě již zmíněného PU se při výrobě nanovláknenných membrán použil PA 6.“ nezní příliš česky.
7. Vlastní experimentální práce zřejmě začíná kapitolou 6., která je však nečekaně nazvána „Analýza výroby nanovláknenné membrány“, a která je opět rozmělněna popisem zkušebních metod a nesystematickým popisem různých operací na laboratorním zařízení a na zařízeních firem Nanovia, SPUR a Kertak. Není v silách oponenta se podrobně zabývat všemi nedokonalostmi práce, proto uvádím jen některé. Např. v kapitole „6.2. Výroba nanovláknenné vrstvy“ na str. 81 má být zřejmě „Larithane 1086“ místo „14806“, na str. 82 v podkapitole „6.2.2 Polymerní roztok PA6“ je popis přípravy roztoku polyamidu nejasný, navíc je uvedeno, že byl rozpouštěn polyamid 9T, nikoliv PA6. Směs 56 % kyseliny octové a 34 % kyseliny mravenčí není 100 %, Jaké byly skutečné koncentrace použitých kyselin? Polyamid 9T je chybně a nedostatečně specifikován, jedná se ve skutečnosti o aromaticko-alifatický polyamid na bázi kyseliny tereftalové a 1,9-nonandiaminu.
8. V disertační práci by u všech použitých surovin a materiálů měl být uveden dodavatel a přesná specifikace materiálu podle technické dokumentace od dodavatele (složení, molekulová hmotnost, bod tání krystalické fáze, teplota skelného přechodu amorfní fáze apod.). Všechny potřebné údaje ke všem použitým surovinám, materiálům a chemikáliím by měly být soustředěny v kapitole „Experimentální část“. V této kapitole by měly být rovněž soustředěny informace o všech použitých postupech, strojích a zařízeních, zkušebních přístrojích, tkaninách a zkušebních metodách.

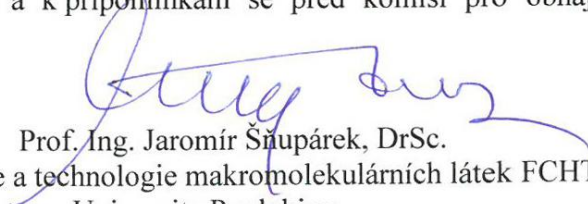
Z jakého materiálu byla vyrobena textilie Spunlace od fy DuPont? 100% PL? Zkratka PL není vysvětlena. Z obrázku 34. nic nevyplývá, je to plst?

9. Jak je to s těmi hypotézami? Na str. 85 je jak pro H_0 , tak pro H_1 uvedeno $\mu_{Sj} = \mu_{Sl}$.
10. Je třeba pozitivně hodnotit množství vzorků nanovlákněných vrstev, které disertant statisticky vyhodnotil a porovnal. Výsledky dalších operací, tj. hydrofobizace a laminování jsou uvedeny v mnoha tabulkách a přílohách, ze kterých však není zcela zřejmé, které materiály byly podrobeny příslušným operacím.
11. Opět chybí specifikace co je Lukofix T 40 D, co je katalyzátor C 48, co je Nuva FDS. Legenda k tabulkám 10 – 15 je 4x zkopírována s chybami – v každé legendě je 3x „čsa“ místo „čas“. Čas je v m (metrech)?
12. Marně jsem hledal specifikaci použitých podkladových a podšívkových tkanin, až na str. 111 jsem našel zmínku o syntetické tkanině z PA a na poslední stránce popisu experimentů (str. 113) je neobratně sděleno že „Pro ověření této teorie se použila tkanina PA/CO 50%/50%.“ O jakou teorii jde? Byla tato tkanina použita i v jiných pokusech? Je totiž jiná než ta, která je uvedena na str. 111. Pro specifikaci podšívky stačí říci, že je to podšívka? Jsou to utajované informace?
13. Kapitola „9. Diskuse výsledků“ není žádnou diskusí, nýbrž pouhou rekapitulací provedených prací a dosažených výsledků, a to jen s velmi obecným závěrem, že „V disertační práci se docílilo velmi dobrých a zajímavých výsledků...“. Určitou snahu o diskusi nalezených dat lze nalézt na několika místech v předcházejících kapitolách.
14. „Seznam použité literatury“ není zpracován jednotně, časté jsou neúplné citace časopisů, špatně přiřazená čísla v textu, chyba je i ve jménu školitele ([35] Jirsík). Proč v seznamu publikací autora v odborných časopisech jsou v položce 5. citováni autoři formou Tereza, H., Vladimír, B., Roman, K., atd.? V seznamu užitečných vzorů a patentových přihlášek zase nejsou uvedeni žádní autoři (je jediným autorem disertant?).

Závěr

Přes silné výhrady, které mám k iritujícímu způsobu zpracování disertační práce po stránce formální i věcné, po nahlédnutí do Studijního a zkušebního řádu TUL konstatuji, že práce svým způsobem obsahuje všechny požadované náležitosti podle čl. 21 odst. 3 a) až i). Práce také zřejmě přispívá k rozvoji oboru, má charakter vývojové práce a dokumentuje relativně přímočarý vývoj laminované tkaniny s polopropustnou membránou, přičemž dosažené kvalitativní parametry textilie jsou příznivé a naplňují tak cíl práce. Disertant prokázal znalosti a technickou erudici v oboru, je spoluautorem několika publikací v odborných časopisech, užitečných vzorů a patentových přihlášek, proto doporučuji, aby bylo umožněno Ing. Romanu Knížkovi práci obhajovat a k připomínkám se před komisí pro obhajobu vyjádřit.

2016-03-31


Prof. Ing. Jaromír Šňupárek, DrSc.
Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek FCHT
Univerzita Pardubice