



Vývoj rukavic s nanovlákenou membránou pro sportovní účely

Diplomová práce

Studijní program: N3957 – Průmyslové inženýrství

Studijní obor: 3911T023 – Řízení jakosti

Autor práce: **Yana Zagumenova**

Vedoucí práce: Ing. Roman Knížek





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering ■

The development of nanofiber membrane gloves for sports purposes

Diploma thesis

Study programme: N3957 – Industrial Engineering

Study branch: 3911T023 – Quality Control

Author: **Yana Zagumenova**

Supervisor: Ing. Roman Knížek



Tento list nahradte
originálem zadání.

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

V úvodu bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce panu Ing. Romanu Knížkovi za pochopení a trpělivost při konzultacích, odborných radách a připomínkách při řešení práce.

Dále bych chtěla poděkovat doc. Ing. Vladimíru Bajzíkovi za konzultaci při statistickém vyhodnocování dat.

Poděkování patří i pracovníkům katedry hodnocení textilií a katedry oděvnictví, Ing. Denise Karhánkové a Ing. Michalu Chotěborovi za poskytnutí odborných rad při měření v laboratoři.

ANOTACE

Práce se zabývá aplikací nanovláknenné membrány do sportovních rukavic. Tématem této diplomové práce je vývoj rukavic s nanovláknennou membránou pro sportovní účely. Cílem práce je vývoj laminátu s nanovláknennou membránou pro sportovní rukavice, především pro sjezdové lyžování při teplotě do $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

V teoretické části jsou vysvětleny pojmy týkající se komfortu outdoorového oblečení, popsány druhy membrán a jejich současní významní výrobci. Dále je vysvětlena technologie výroby nanovláknenné membrány a technologická operace laminace. V praktické části diplomové práce byl nalezen vhodný podkladový materiál pro laminace s nanovláknennou membránou a také proměřeny komfortní vlastnosti samotné membrány a vytvořeného laminátu, který byl porovnán s membránou od konkurenční firmy. Získané výsledky jsou statisticky zpracovány, vyhodnoceny a zobrazeny v tabulkách a grafech.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Nanovláknenná membrána, paropropustnost, prodyšnost, hydrostatická odolnost, elektrostatické zvlákňování, technologie Nanospider.

ANNOTATION

This diploma thesis deals with the application of nanofiber membranes in sports gloves. The theme of this thesis is The development of nanofiber membrane gloves for sports purposes. The main aim is to develop a laminate with nanofiber membrane for sports gloves, especially for downhill skiing at temperatures down to $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

The theoretical part is focused on an issue which is related to comfort, outdoor clothing, describes the types of membranes and their current major manufacturers. This part also explains the production technology of nanofiber membrane and such a kind of technological operation as a lamination. In the practical part of the thesis is found suitable base material for lamination with nanofiber membrane and also are measured comfortable properties of the membrane and the laminates, which were compared with the competitors membranes. The results are statistically processed, analyzed and presented in tables and graphs.

KEY WORDS:

Nanofiber membrane, water vapour permeability, breathability, hydrostatic resistance, electrospinning, technology Nanospider.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	9
ÚVOD.....	10
1. SITUACE NA TRHU SPORTOVNÍCH RUKAVIC.....	11
1.1 Membrány pro oděvní účely	11
1.2 Hlavní konkurenti na světovém trhu v oblasti spotrovních rukavic	13
2. NANOVLÁKENÁ MEMBRÁNA	14
2.1 Proces elektrostatického zvlákňování	14
2.1.1 Parametry procesu	15
2.1.2 Vlastnosti polymerního roztoku	16
2.1.3 Technologie Nanospider™	17
2.1.4 Polyamid 6.....	17
2.2 Vlastnosti a charakteristika nanovlákené membrány.....	19
2.3 Porovnání nanovlákené a mikroporézní membrány	19
2.4 Nanosování voděodolné vrstvy.....	20
2.5 Aplikace membrány	21
2.5.1 Laminace	21
2.5.2 Nánosování	23
2.5.3 Hlubotiskový způsob	23
3. ZÁKLADNÍ PRINCIPY TERMOFYZIOLOGICKÉHO KOMFORTU.....	25
3.1 Paropropustnost – propustnost textilií pro vodní páry.....	26
3.2 Prodyšnost – propustnost textilií pro vzduch.....	27
3.3 Hydrostatická odolnost – výška vodního sloupce.....	27
4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	29
4.1 Navržená měření	29
4.2 Měřicí přístroje	30
4.2.1 Permetest	30
4.2.2 Alambeta	32
4.2.3 FX 3300.....	34
4.2.4 SDL Atlas	35
4.2.5 Martindale	36
4.2.6 Testometric	37

4.3 Popis použitých material.....	38
4.4 Výsledky měření a jejich zpracování.....	40
4.4.1 Statistické zpracování naměřených hodnot	40
4.4.2 Zjišťování plošné hmotnosti.....	41
4.4.3 Výsledky pro prodyšnost.....	41
4.4.4 Výsledky pro paropropustnost.....	43
4.4.5 Výsledky hydrostatické odolnosti	44
4.4.6 Výsledky tepelného odporu.....	46
4.4.7 Výsledky oděru.....	47
4.4.8 Výsledky tažnosti	48
4.5 Měření konkurenčních membrán	50
4.5.1 Výsledky pro prodyšnost konkurenčních membrán	51
4.5.2 Výsledky pro paropropustnost konkurenčních membrán.....	52
4.5.3 Výsledky hydrostatické odolnosti konkurenčních membrán	54
4.5.4 Výsledky tepelného odporu konkurenčních membrán	55
4.6 Porovnání komfortních vlastností konkurenčních membrán	55
4.6.1 Vyhodnocení výparného odporu	56
4.6.2 Vyhodnocení prodyšnosti.....	57
4.6.3 Vyhodnocení hydrostatické odolnosti	57
4.7 Shrnutí.....	58
ZÁVĚR.....	59
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	61
SEZNAM TABULEK	64
SEZNAM OBRÁZKŮ	65
SEZNAM PŘÍLOH	65
Příloha 1 – Zjišťování odolnosti laminátů s nanovlákenou membránou v oděru.....	66

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

atd.	a tak dále	
tzn.	to znamená	
např.	například	
ČSN	česká státní norma	
EN	evropská norma	
ISO	mezinárodní organizace pro normalizaci	
cca	přibližně	
PL	polyester	
PTFE	polytetrafluorethylen	
PU	polyuretan	
PA	polyamid	
\bar{x}	aritmetický průměr	
s	směrodatná odchylka	
s^2	rozptyl	
v	variační koeficient	
95% IS	95%-ní interval spolehlivosti	
R	prodyšnost	[l .m ⁻² .s ⁻¹]
p	relativní propustnost pro vodní páry	[%]
R _{ct}	tepelný odpor	[m ² .K.W ⁻¹]
Ret	výparný odpor	[Pa.m ² .W ⁻¹]
h	tloušťka materiálu	[mm]
q _o	plošná hustota tepelného toku procházející měřicí hlavici nezakrytou měřeným vzorkem	[W/m ²]
q _v	plošná hustota tepelného toku procházející měřicí hlavici zakrytou měřeným vzorkem	[W/m ²]
P _m	nasycený parciální tlak vodní páry na povrchu hlavice přístroje Permetest	[Pa]
P _a	parciální tlak vodní páry ve vzduchu uvnitř přístroje přístroje Permetest	[Pa]
r	plošný odpor vedení tepla	[m ² .K.W ⁻¹]
M	plošná hmotnost	[g/m ²]
m	hmotnost zkušební vzorku	[g]
A	plocha zkušební vzorku	[cm ²]
°C	stupeň Celsia je jednotkou teploty	

ÚVOD

V současné době se výrobci sportovních oděvů se zaměřují na neustálé zdokonalování komfortních vlastností jejich produktů, aby co nejvíce uspokojili potřeby zákazníků. Aby se člověk cítil pohodlně a spokojeně, je třeba vytvořit oděv, který mu zajistí při různých klimatických podmínkách a fyzických aktivitách co nejlepší komfort.

V dnešní době již máme obrovské množství možností jak se účelně a pohodlně obléknout do chladného zimního počasí, vykonáváme-li určitou pohybově náročnější činnost, při které se člověk zpotí a je důležité udržovat tělo v suchém a teplém prostředí. Zde jde konkrétně o oděv, či přesněji části oblečení – sportovní rukavice určené pro zimní sporty, jako je lyžování. Rukavice, jejichž účelem je každodenní použití, nejsou vhodné pro outdoorové aktivity. Jsou navrženy a vyrobeny tak, aby mohli udržovat ruce v teple, zatímco sportovní rukavice by měly správně odvádět z povrchu lidského těla vlhkost a také zamezit vzniku vnějších klimatických faktorů (vítr, déšť, sníh).

Název této diplomové práce je Vývoj rukavic s nanovláknennou membránou pro sportovní účely. Sportovní trh je velmi segmentovaný a nelze vyvinout univerzální oděv dobře splňující všechny požadavky. Vždy převyšuje jedna vlastnost nad druhou a je potřeba vědět, která z funkcí oděvu je u daného sportu žádanější. Proto cíl diplomové práce je stanoven následovně: Vývoj laminátu s nanovláknennou membránou pro sportovní rukavice, především pro sjezdové lyžování při teplotě do $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Práce obsahuje dvě části. První část se zabývá teoretickou stránkou daného projektu, budou zde vysvětleny pojmy týkající se komfortu outdoorového oblečení, popsány druhy membrán a technologie jejich výroby, vysvětlena technologická operace laminace. Ve druhé části diplomové práce bude popsán samotný experiment, při kterém bude nalezen vhodný podkladový materiál a způsob laminace nanovláknenné membrány s tímto materiálem, a také proměřeny komfortní vlastnosti samotné membrány a vytvořeného z membrány laminátu, které porovnáme s membránou od konkurenční firmy. Bude testována samotná membrána a podkladové materiály. Budou porovnány s konkurenčními produkty a mezi sebou.

1 SITUACE NA TRHU SPORTOVNÍCH RUKAVIC

Především je potřeba uvést z čeho se skládají sportovní rukavice, obvykle mají několik vrstev:

- ♣ Vnitřní podšívka
- ♣ Tepelně-izolační materiál
- ♣ Membrána
- ♣ Vrchní vrstva

Vnitřní syntetická vrstva sportovní rukavice musí absorbovat pot, zároveň by měla zachovat pohodlné nasazení a snímání rukavice a měla by být vyrobena z prodyšného elastického materiálu na bázi polyesteru.

Nad touto vrstvou se aplikuje syntetická izolační vrstva, která bude mít funkci zachování tělesné teploty. Lyžařské rukavice obvykle používají syntetickou izolaci, která neabsorbuje vlhkost, co má za následek, že páry přechází do těla membrány. Kvalitní rukavice ještě uvnitř obsahují fleecové vložky, které jsou našity na hřbet ruky a tím zajišťují větší izolaci. Rukavice, které jsou určeny pro extrémně chladné klimatické podmínky, jsou vybaveny perím (nejčastěji husí nebo labutí), které slouží jako ohřívače ruky.

Vnější vrstva rukavice je vyrobena z membránové textilie, která je voděodolná, větruvzdorná a stará se o odvod vlhkosti. Celý vnější obal rukavice, včetně dlaňové plochy, je vyroben z odolného materiálu zabraňující opotřebení. Důvodem je výrazné prodloužení životnosti výrobku v extrémních podmínkách. Aby nedocházelo k nechtěnému zapadání sněhu do rukavic, rukavice jsou opatřeny manžetami, které těsně obepnou zápěstí.

Vrstvení a přítomnost membrány - značka kvalitních rukavic. Membrány jsou jednou z nejdůležitějších součástí moderních sportovních rukavic. Záleží na její vlastnosti doba životnosti rukavic, a jak pohodlné budou pro spotřebitele v různých klimatických podmínkách. Současně, rukavice by měly být teplé, měkký a pružné, se schopností manipulovat rukama a udržet ruce v suchu. Dále budou podrobně popsány pojem a druhy membrán.

1.1 Membrány pro oděvní účely

Membrány jsou mimořádně tenké vrstvy polymerního materiálu (cca 10 μm), které jsou navrženy jako vysoce odolné proti průniku kapalné vlhkosti, ale umožňující zároveň prostup vodních par.

Aby membrána fungovala tak, jak má, musí být o něco chladnější, než venkovní klima. Musí být také suchá na vnější straně. Proto dochází k impregnaci vnější textilie, na již je membrána nalaminovaná.

Membrána má v membránovém materiálu za úkol nepropustit vodu zvenčí a zároveň umožnit prostup vodních par směrem od těla. Nejčastěji používaný materiál na výrobu membrány je polytetrafluoretylen (PTFE), dále se používá polyester a polyuretan. [1]

Každý materiál označovaný jako membrána musí plnit tyto základní vlastnosti [2]:

- ▲ paropropustnost pro vodní páry
- ▲ odolnost vůči působení deště a tlaku vody
- ▲ odolnost proti větru.

Mezi další vlastnosti patří odolnost vůči mechanickému poškození, odolnost při praní a nízká hmotnost.

V dnešní době se rozlišují dva druhy membrán a to:

- ▲ *Mikroporézní (hydrofobní) membrány*

Např. Gore-Tex: velmi tenký film zpěněného PTFE s obsahem až cca 1,4 miliard nepatrných průduchů na 1 cm². Průduchy jsou mnohem menší, než je nejmenší dešťová kapka (100 μm), ale mnohem větší než je molekula vodní páry (0,0004 μm). Vzduch a vodní pára prochází, voda ne.

Kontaminace membrány znečišťujícími látkami, jako jsou tukové částice, prachové částice, zbytky repelentů, opalovacích přípravků, ale i pracích prostředků, znamená snížení schopnosti membrány propouštět vodní páry.

- ▲ *Neporézní (hydrofilní) membrány*

Velmi tenké filmy chemicky modifikovaného polyesteru nebo polyuretanu, které neobsahují průduchy. Např.: Sympatex, Gelanots. Přesto vodní pára může v relativně značné míře pronikat skrz tuto membránu díky až 40% podílu polyethylenoxidu (PEO).

Amorfni oblasti tvoří jakési „mezimolekulární póry“, které umožňují průnik molekul vodní páry skrz membránu, ale vzhledem k pevnému skupenství membrány brání průniku kapalné vlhkosti.

Uživatelský rozdíl mezi membránami:

- Porézní membrána: Zde je možné indikovat vysokou rychlost odezvy, protože pracuje rychleji a snadněji skrze ní prochází pára, nicméně se mohou zanést póry.

- Neporézní membrána: U neporézní membrány je malá odezva, protože pára prostupuje pomaleji, nicméně je možné zde indikovat nestabilní difusní geometrii, membrána se tak nezanáší. [3]

1.2 Hlavní konkurenti na světovém trhu v oblasti spotrovních rukavic

Současná technická doba si žádá vývoj nových syntetických materiálů, které nám mohou pokrýt poptávku po komfortním a pohodlném oblečení. Na trhu v dnešní době existuje hodně výrobců, kteří nabízejí outdoorové vybavení a produkty s odlišnými parametry, jak v oblasti kvality použitých materiálů, tak i ceny. Dále jsou uvedeny největší výrobci membrán pro sportovní účely:

a) Gore-Tex®

Mikroporézní membrána z polytetrafluoretylenu (PTFE), vyrábí se tažením za kritických podmínek z neprodyšných membrán, což má za následek vznik četných mikrotrhlin nebo mikropórozitu. Tím vznikne membrána nepromokavá, větru vzdorná a zároveň odvádějící vodní páru. Do struktury membrány je začleněná oleofóbní látka, která umožňuje průchod vodní páry, ale zároveň vytváří přirozenou bariéru, která brání průniku znečišťujících látek, např. olejů, kosmetických přípravků, repelentů. [4]

b) Porelle®

Nepromokavé prodyšné membrány od britské společnosti „Pil Membranes“ o různé tloušťce (12-40 μm) navržené pro aktivní sporty. Výrobce udává, že voděodolnost membrány je více než 20 000 mm a váha je od 13 do 36 g/m^2 . Každý typ membrány přináší specifické vlastnosti. Používají se na výrobu rukavic (extrémně voděvzdorná), obuvi (odolná a voděvzdorná), oblečení (lehká a prodyšná), čepic (měkká a tichá), ponožky (odolná a velmi prodyšná). [5,6]

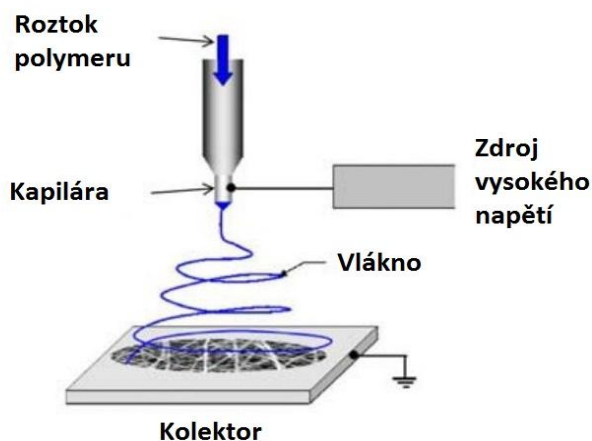
c) SympaTex®

Hydrofilní membrány. Membrána je extrémně paropropustná ($\text{Ret}=0,5 \text{ Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$). Membrána SympaTex společně s nosnou textilií dokáže odolat tlaku vodního sloupce až do 25m i po praní a chemickém čištění. Je 100% větru vzdorná v jakémkoli počasí. Výrobce dále udává, že je membrána nejtěsnější na světě a to: od 5 μm do 0,005 mm. [7]

2 NANOVLÁKENNÁ MEMBRÁNA

2.1 Proces elektrostatického zvlákňování

Výroba nanovláken procesem elektrostatického zvlákňování je umožněna vlivem vzájemného působení polymerního roztoku, či taveniny za pomoci elektrostatických sil. K zvlákňování je využito stejnosměrné elektrostatické pole o vysoké intenzitě k vytvoření nabitého proudu polymerní taveniny, nebo roztoku. Elektroda je v podobě např. úzké kapiláry spojena přímo s polymerním roztokem a kolektor v podobě destičky je postaven plochou stranou proti vrcholu kapiláry. Mezi těmito dvěma kapilárami (tryskou a uzemněným kolektorem) vzniká tzv. Taylorův kužel, ze kterého jsou produkována submikronová vlákna. Následuje vytlačování nabitě kapaliny, vlákna po odpaření rozpouštědla ztuhnou a vytvoří vrstvu vlákna na povrchu kolektoru. Při elektrostatickém zvlákňování může být tryska umístěna horizontálně a kolektor je statický, nebo pohyblivý. Vlákna jsou ukládána v rounu, nebo jsou navíjena jako příze, či monofil. Monofilní vlákna je možno navíjet na otáčející se kotoučový kolektor, nebo na rámy. Technologickým parametrem ovlivňujícím zvlákňování je polarita elektrického pole. Při kladně nabitě trysce a záporně nabitě kolektoru jsou štěpné části vláken a jejich poloměr větší, než při polaritě obrácené. [8, 9, 10]



Obrázek 1 - Proces elektrostatického zvlákňování

Působením elektrostatického pole dochází k protahování kapky tekutiny až do konečného útvaru, čímž dojde ke vzniku nanovláken. Elektrostatickým polem vytažené vlákno může být nekonečné.

2.1.1 Parametry procesu

Proces a tedy i výsledné vlastnosti nanovlákněné vrstvy ovlivňuje několik parametrů, které jsou blíže specifikovány v následujících odstavcích. Prvním parametrem je vhodné rozpouštědlo a nastavení vypařovacího tlaku, který musí být zvolen tak, aby se rozpouštědlo nevypařilo příliš rychle nebo příliš pomalu. Toto může ovlivnit průměr vlákna nebo vlastnosti nanovlákněné vrstvy. Dalšími parametry jsou: viskozita, povrchové napětí polymeru, polymerní roztok, intenzita elektrostatického pole a geometrické nastavení procesu. [11]

Napětí

Míra napětí vyšší, než 6 kV způsobuje přetvoření kapky na pipetě v Taylorův kužel. Velikost napětí ovlivňuje i jeho stabilitu. Vyšší napětí znamená větší kolumbovy síly a silnější elektrické pole, větší protažení roztoku a tedy redukci průměru. Napětí ovlivňuje také to, jak rychle roztok poletí. Nižší napětí znamená delší a pomalejší cestu roztoku, kde vzniká možnost pro prodloužení.

Dávkování

Množství roztoku pro elektrospinning pro dané napětí ovlivňuje průměr vlákna. Tomu se dále musí přizpůsobit intenzita odpařování rozpouštědla.

Teplota

Růst teploty ovlivňuje mobilitu částic, je sníženo povrchové napětí, omezen koráلكový efekt. Roztok dosahuje vyššího prodloužení a tedy jemnosti vláken.

Odtah kolektoru

Ovlivňuje rychlost odpařování nebo např. strukturu vrstvy vláken

Vzdálenost mezi tipem a kolektorem

Při malé vzdálenosti nemusí dojít k dostatečnému odpaření roztoku. Zbylý roztok pak na kolektoru způsobuje spojení vláken. Pokud je vzdálenost příliš velká, může naopak dojít k předčasnému vyschnutí roztoku a tedy poškození nebo nesprávnému uložení vlákna.

Vlhkost

Především ovlivňuje efektivitu odpařování, může způsobit ulpívání kapek na vlákně.

Tlak

Tlakem je ovlivněn proud a přemostění v elektrostatickém poli. Nanovlákná mohou být vyrobena v mnoha variantách: porézní, ploché, stuhové, větvené, spirálovité nebo duté [11]

2.1.2 Vlastnosti polymerního roztoku

Povrchové napětí

„Náboj na polymerním roztoku musí být dostatečně velký tak, aby převýšil povrchové napětí roztoku.“ [7] Díky povrchovému napětí kapalina zachovává co nejmenší tvar, což se se zvyšující teplotou mění (částice začnou kmitat a povrchové napětí roztoku klesá). Když tedy proud roztoku vystřelí z trysky, vyšší povrchové napětí může způsobit rozpad na kapky. Nastává tzv. elektrospaying a na již nanesené vrstvě nanovláken vznikají tzv.korálky. Konduktivita roztoku značí, kolik náboje může roztok přenášet. Když bude zvýšený počet nábojů v roztoku, zvýší se i protažení roztoku, což vede k tvorbě vláken s malým průměrem. Zvyšování konduktivity také způsobuje žádoucí snížení povrchového napětí.

Rozpustnost polymeru

Polymer s vyšší molekulovou hmotností se déle rozpouští kvůli delším molekulovým řetězcům. Rozpouštědlo hůře difunduje. Spletené polymery se nerozpouští, protože kovalentní vazby mezi molekulami jsou mnohem silnější, než sekundární vazby mezi polymerem a roztokem.

Viskozita

Viskozita představuje míru odolnosti materiálu proti proudění a plynutí. Molekulární hmotnost reprezentuje délku polymerního řetězce, který má také vliv na viskozitu. Když bude viskozita příliš vysoká, roztok by mohl zasychat na jehle a zvyšovat průměr vláken. Při nízké viskozitě proběhne spíše elektrospaying a nastane koráلكový efekt. (převládne povrchové napětí).

Odpar

Mají na něj vliv následující parametry: výparný tlak, bod varu, specifické teplo, míra dodávky tepla a povrchové napětí. Pokud se rozpouštědlo nebude dostatečně rychle odpařovat a na kolektoru vznikne tenký film, ovlivní tak výsledné vlastnosti nanovlákené vrstvy.

Příklad - polyamid 6

Ideální podmínky pro zpracování polyamidu 6: molekulová hmotnost $M_w = 17000 \text{ g.mol}^{-1}$, rozpouštědlo: kyselina mravenčí, napětí $U=21 \text{ kV}$, vzdálenost pipety a kolektoru $l=10 \text{ cm}$, podíl vláken s koráلكovým efektem 20 – 24 %. [11]

2.1.3 Technologie Nanospider™

Nanospider™ je unikátní patentovaná technologie. Je velice mnohostranná a tím naplňuje všechny požadavky, které jsou velice náročné. Příkladem takových požadavků je např. snadná přizpůsobitelnost výrovních paramterů nebo flexibilita nastavení, dle výrobců nanovláken.

Technologie Nanospider se zakládá na objevu revolučního charakteru. Jde o to, že je nutné vytvořit následný proud hmoty nejen na vrcholu kapiláry, ale také z tenké vrstvy roztoku polymeru. Ohledně tohoto způsobu se mluví jako o elektrospinningu. Tato technologie, na rozdíl od jiných předchozích pokusů, nepoužívá žádné trysky ani kapiláry pro tvorbu vláken. Jedna možnost, kterou je nutné zmínit, že provedení částečného ponoření v roztoku polymeru. Dochází k otáčení válce kolem své osy a při té příležitosti se na povrchu vytváří roztok polymeru. V horní úvratí rotačního pohybu válce, což je také místo, které je nejméně vzdálené od kolektoru – protielektrody se na základě maximální intenzity elektrického pole začnou vytvářet mnoho ohnisek Taylorových kuželů, která následně vyústí v proces zvlákňování.

Tyto Taylorovy kužele spolu s následnými proudy hmoty se tvoří v husté síti, která pokrývá horní části falců. Tím se dokazuje vysoká výrobní kapacita týkající se zvlákňování hlavy Nanospideru. Proud roztoku polymeru se pak zbytvaví rozpouštědla a těstně před tím, než je dosaženo kolektoru, se stanou pevnými nanovláknými.

Zvláštností elektrických vláken Nanospider je na rozdíl od tradiční technologie, nedostatek měření předání prvků. Galvanoplastika povrch je opatřena speciálními cívkami, které jej průběžně promyjí pomocí kovotlačitelského roztoku nebo taveniny.

To umožňuje, že elektrické pole spontánně upraví trysky do ideálního rozložení. Zmizí riziko ucpání nebo sušení spřádací prvky, zjednodušuje proces regulace elektrostatického zvlákňování. Tyto výhody umožňují použití technologie Nanospider™ v bezobslužných kontinuálních linkách nanovlákných materiálů s vysokým výkonem. [10]

2.1.4 Polyamid 6

Základní vlastnosti polyamidu 6 jsou uvedeny v následujících tabulkách 1 a 2.

Tabulka 1 - Základní parametry polyamidu 6 [5]

	Tt	Sorpce	Pevn. s	Pevn. m	Tažnost s.	Hustota
Jednotky	°C	%	cN/dtex	cN/dtex	%	kg/m ³
PA 6	220	3-4.5	3.6-7.5	80-90% fs	23-25	1140

Tabulka 2 - Kladné a záporné vlastnosti polyamidu 6 [8]

Kladné vlastnosti	Záporné vlastnosti
Odolnost vůči mechanickému namáhání	Nízká odolnost v krutu
Vysoká pružnost	Malá odolnost vůči zvýšeným teplotám
Nejvyšší odolnost v oděru	Malá odolnost vůči slunečnímu záření
Malá bobtnavost (rychle schne)	Vznik statického náboje
Nízká měrná hmotnost	Nízká navlhavost
Termoplasticita	

Obecně mikroporézní membrána vkládána do laminátu pro oděvní účely by měla mít následující vlastnosti. Z hlediska hydrostatické odolnosti by měla být pevná a tažná. Při působení hydrostatického tlaku jsou namáhány póry, které se na základě reologických jevů vlivem tlakové síly deformují. Dochází tak k tečení a následně relaxaci materiálu. Tažnější materiál je náchylnější k tečení, póry se deformují a hydrostatická odolnost klesá. Těmto podmínkám odpovídá polyuretan, který je nejčastějším polymerem pro výrobu mikroporézní membrány.

Pro paropropustnost a odvod vlhkosti je důležitá navlhavost polymeru. Vlhkost má porézní strukturou prostupovat do dalších vrstev. Pokud by polymer vázal vodu, struktura by bobtnala a prostup vlhkosti by byl zastaven či omezen. Polymer by naopak měl mít vyšší smáčivost, aby byla kapalina po povrchu pórů či vláken odvedena.

Požadavky na nanovláknennou membránu jsou stejné, nicméně základní rozdíl je v tom, že mikroporézní membrána je celek pojený sekundárními silami polymerů a nanovláknenná membrána je vrstva z jednotlivých nanovláken soudržících pouze třecí silou. Vlastnosti zvoleného polymeru se tak projevují v jiných interakcích.

Při volbě polymeru pro nanovláknennou membránu je tedy zohledněna vhodnost polymeru pro zvláknování (teplota tání, tažnost a možnost dloužení pro uspořádání vnitřní struktury), hustota (kvůli výsledné hmotnosti), teplota měknutí (žehlení, praní) a odolnost vůči mechanickému namáhání. Pokud bychom udělali mikroporézní membránu z polyamidu 6, bude mít jiné mechanické vlastnosti, než nanovláknenná membrána z vláken ze stejného polyamidu 6.

Výsledná mechanická odolnost vlákenné struktury tak závisí na plošné hmotnosti, délce vláken a jejich jemnosti.

2.2 Vlastnosti a charakteristika nanovláknenné membrány

Ve své diplomové práci budu používat nanovláknennou membránu od společnosti NANOMEMBRANE, která je vyrobená z polyamidu 6. Neexistují žádné výrobce na světě, které by používali nanovláknennou membránu ve výrobě sportovních rukavic. Z vlastností nanovláken (velkého měrného povrchu a vysoké poróznosti) vychází nanovláknenná membrána, která má oproti mikrovláknenným membránám více pórů.

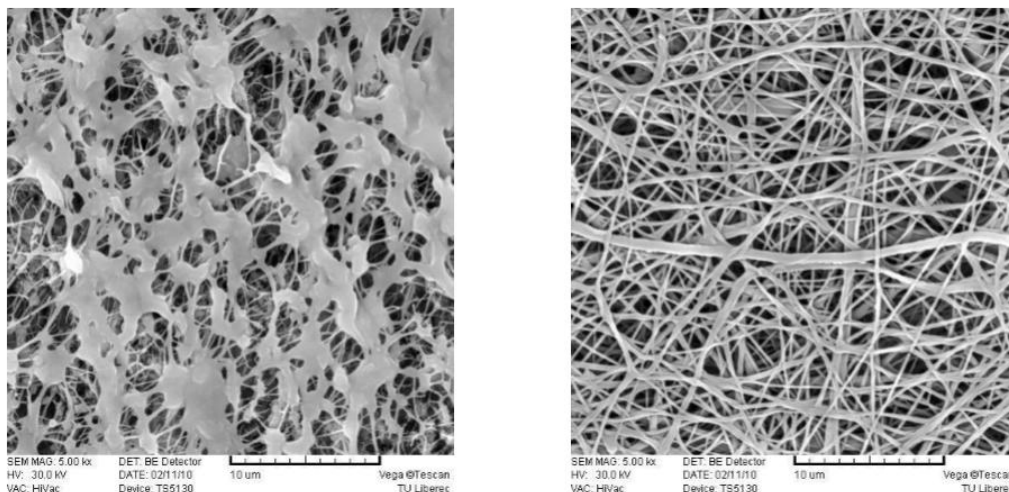
Společnosti NANOMEMBRANE je navíc jedinou firmou na světě, která pro výrobu svých nanomembrán používá polyamid 6. Výhoda polyamidu 6 oproti jiným materiálům (PU, PTFE a další):

- tepelná stálost při vysokých i při extrémně nízkých teplotách,
- údržba při praní a mechanickém namáhání,
- membrána opatřena speciálním karbonovým filmem, který zabraňuje ucpávání unikátních nanopórů tukem, který je obsažen v potu.

Nanovláknenná membrána od firmy NANOMEMBRANE vyrobená způsobem elektrostatického zvlákňování.

2.3 Porovnání nanovláknenné a mikroporézní membrány

Základní rozdíl mezi běžnou mikroporézní a nanovláknennou membránou spočívá ve velikosti a intenzitě pórů. Póry jsou u nanomembrány menší (ekvivalentní průměr = 0,453 mm) avšak jejich intenzita na danou plochu je daleko vyšší (88 mil/cm²). Je třeba uvážit i horizontální porozitu. Membrána z nanovláken tedy dokáže odvést až dvakrát více odpařeného potu. K intenzitě odpařování přispívá také fakt, že v průměru menší vlákna vykazují ve stejném objemu materiálu vyšší specifický povrch. Odvod vlhkosti po velké ploše je tedy efektivnější. Mikroporézní membrána Gore-Tex má v porovnání hustotu pórů 66 mil/cm² a velikost ekvivalentního průměru = 0,556 mm. [13]



Obrázek 2 a 3 - Mikroporézní a nanovláknenná membrána

2.4 Nanosování voděodolné vrstvy

Nanovláknenná membrána Nanomebrane upravená pomocí nízkotlakové plazmové technologie od belgické společnosti Europlasma.

Europlasma je globální technologický lídr v inovativních řešení nanovrstvení, založených na nízkotlakové plazmové technologii, pro které vyvíjí patentované procesy, navrhuje a staví na klíč vakuové plazmové vybavení a dodává chemikálie pro zpacování. Nedávno Europlasma také zahájila nové řešení PlasmaGuard[®] pro vodoodpudivost sportovních potřeb.

Technologie

Plasma může být považována za čtvrtý stav hmoty. Přidáním energie, hmota může být transformována z pevného do kapalného, plynu, do plazmy. V plazmovém stavu molekuly rozkládají do neutrálních a nabitých částic, které budou interagovat s povrchem materiálu. Technologie Europlasma se vytváří stabilní a účinné plazmy elektromagnetickým vypouštěním procesního plynu při nízkém tlaku (a nízké teplotě).

Pomocí nízkotlakové plazmové technologie, ultra-tenká vrstva se nanese rovnoměrně na složité trojrozměrné povrchy, a to může proniknout do jádra složitých tvarových materiálů nebo výrobků, jako jsou elektronické zařízení, filtrační membrány nebo technické textilie. Unikátní způsob, ve kterém jsou nanoseny vrstvy, umožňuje dosáhnout vynikajícího funkčního výkonu. Zároveň tyto vrstvy jsou tak tenké, že nejsou viditelné a nemění další vlastnosti svých výrobků.

Klíčové technické výhody upravených textilií:

- Umožňuje k zpracování hotové textilní výrobky (obuv, oděvy, ...), stejně jak i stočené do roli textilií;

- Unikátní shoda s nejnovější generací technických membrán (netkané textilie, Nanovláknenné membrány, ...);
- Povrchová úprava křehkého materiálu beze změny vzhledu a dojmu (syntetických a přírodních materiálů);
- Suchý a čistý proces výroby.

Nanosování voděodolné vrstvy probíhá na přístroji CD Roll X/Y Nanofics model CD 1600/800. Rychlost nanosování 0,1 – 10 m/min.



Obrázek 4 - Přístroj pro nanosování voděodolné vrstvy [14]

2.5 Aplikace membrány

Do výsledného produktu lze membránu aplikovat dvěma základními způsoby: volným vložením nebo laminací. Samostatné zpracování membrán je velmi obtížné, z tohoto důvodu se laminuje na textilní nosič, kterým může být tkanina, pletenina, nebo netkaná textilie. Laminací se rozumí spojení dvou, či více látek stejného, nebo různého určení i složení za pomoci pojiva, tlaku a tepla. Laminací má být dosaženo lepších funkčních vlastností materiálu, při zachování vlastností textilního materiálu. Laminování je závislé na funkčních požadavcích pro daný výrobek, na postupu výroby a v neposlední řadě na ceně. [15, 16]

2.5.1 Laminace

"Cílem laminace je vytvořit multivrstvou konstrukci s vlastnostmi, které jednotlivé vrstvy samotné nemohou dosáhnout. Substrátem mohou být polymerní filmy, membrány, pěny a vlákna samotná." [24] Důležitá je adheze mezi vrstvami, podpořena tepelným, chemickým nebo

mechanickým pojením. "Adheze je vzájemná přitažlivost dvou materiálů určena kohezními silami a interakcemi mezi jednotlivými vrstvami." [17]

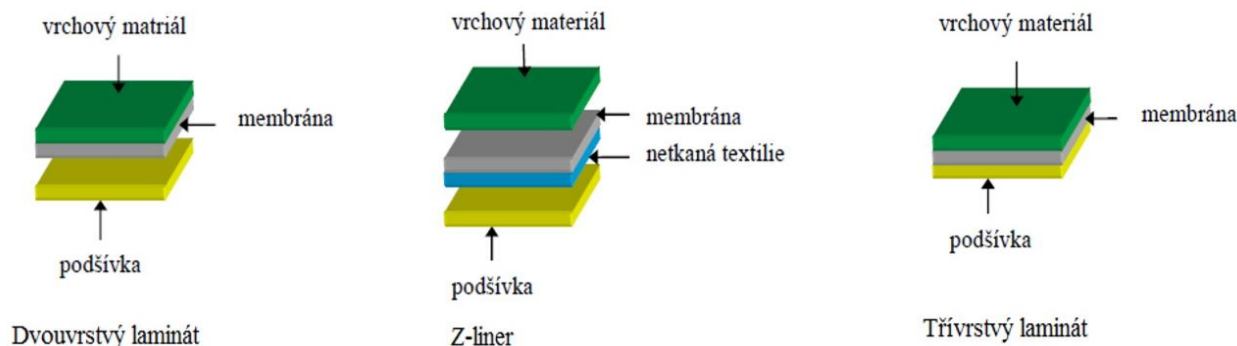
Membrány mohou být laminovány těmito základními způsoby [15, 16, 18]:

–Třívrstvý laminát. Třívrstvá laminace je nejběžnější, kdy je tvořen z vrchového materiálu, membrány a podšívky jeden slaminovaný kompaktní celek. Laminování se provádí na vrchový materiál a podšívku. Slaminováním vrchové látky, membrány a podšívky se vytvoří kompaktní celek, který je mechanicky nejvíce odolný. U tohoto typu se často používají pevnější a méně poddajné materiály. Tam, kde potřebujeme vysokou odolnost, nízkou hmotnost a zároveň skladnost jsou tyto lamináty velice žádané, jedná se o využití v horolezectví, turistice atd. Jsou vhodné i do extrémních podmínek.

–Dvou a půl vrstvý laminát. Vrchový materiál je nalaminován s membránou a vnější strana je chráněna vrstvou polymerních vláken nebo tiskem. Jedná se o nejnovější provedení laminátu. Moderní a kvalitnější materiály nám zajišťují příjemný, poddajný, současně odolný, ale především skladnější laminát, který zároveň lépe odvádí pot od těla. Materiály svou skladností a nízkou hmotností jsou vhodné jako záložní bundy, či oblečení pro turistiku a do města.

–Dvouvrstvý laminát. Dvouvrstvý laminát je tvořen vrchovým materiálem a membránou. Membrána je laminována na vrchový materiál, volná podšívka chrání membránu před poškozením a současně zamezuje kontaktu s pokožkou. Laminace zlepšuje odolnost před mechanickým poškozením membrány, ale současně snižuje paropropustnost. Vzniklý laminát bývá příjemný, poddajný a komfortní. Jeho využití je především na oblečení do města, na lyže, či na turistiku.

–Z-liner. Konstrukce volně vložené vrstvy. U tohoto typu konstrukce je nalaminována membrána na lehký textilní materiál, kterým může být netkaná textilie, či pletenina. Tím vznikne samostatná vrstva, která se poté pouze vloží mezi vrchový materiál a podšívku. Výhodou tohoto typu konstrukce je dobrá splývavost a měkký omak. [15, 16]



Obrázek 5 - Druhy laminátů [19]

Membrána je velmi tenká fólie, jak již bylo uvedeno výše, jejíž tloušťka se pohybuje okolo 0,2 mm, proto jí nelze zpracovávat samostatně. Vždy se musí laminovat na textilní nosič, kterým může být tkanina, pletenina nebo netkaná textilie. Pomocí pojiva, tlaku a tepla se membrána připojuje k základní textili, z čehož vznikne tzv. laminát jako výsledek tohoto procesu.

2.5.2 Nánosování

Pro vznik laminátu je třeba nanést a upevnit na textilní materiál pojivo. Tomuto procesu se říká nánosování a může být prováděno více postupy. Pro nánosování musí být sladěna struktura a hmotnost nosné textilie s množstvím a velikostí bodů pojiva. Pojivová vrstva, kterou nanášíme, může být spojitá, nebo nespojitá. Pro vytvoření laminátu s nízkou tuhostí, měkkým omakem a dobrou propustností pro vodní páry a vzduch se většinou používá technologie nespojitě vrstvy nánosování.

Nespojitě vrstvy docílíme [20]:

- ♣ nánosování posypem – rozmístění pojiva je nepravidelné;
- ♣ nánosování tiskem - rozmístění pojiva je pravidelné;
- ♣ nánosování tiskem a posypem – bikomponentní bod;
- ♣ nánosování z taveniny (Hot Melt).

2.5.3 Hlubotiskový způsob

Pro tento způsob nánosování se používají dvouválcové, nebo tříválcové kalandry. Nánosovací válec má na povrchu gravuru, která odpovídá požadovanému vzoru nánosu. Ostatní válce jsou hladké a jsou přizpůsobeny pro vytápění kapalným médiem. Násypka přilehlá k nanášecímu válci obsahuje polymerní práškové pojivo a plní gravuru na nánosovacím válci, jehož přesné množství je zajištěno funkcí stěrky.

Množství prášku dané objemem gravury aglomeruje (efekt sněhové koule) za pomoci temperovaného válce (30-60 °C) a vytváří soudržný útvar, který je přenesen na ohřátou nosnou textili (o 50-70 °C vyšší, než teplota tání polymerního pojiva), poté následuje natavení. Textilie dále postupuje do natavovacího pole, kde se části pojiva roztaví a spojí do bodů pevně natavených na textili. Následuje ochlazování a navíjení textilie. Pro zlepšení omaku se může před ochlazením ještě zařadit kalandrování nánosu, při kterém se zploští body nánosu na stanovenou výšku.

Mezi výhody nánosování hlubotiskovým způsobem patří stejnoměrné nanášení pojiva a kontrolovaný způsob nánosu na textilií. Další výhodou je i měkký omak, materiály však nesmí být citlivé na teplotu (srážení, natavování, žloutnutí). [20]

3 ZÁKLADNÍ PRINCIPY TERMOFYZIOLOGICKÉHO KOMFORTU

„Komfort je stav organismu, kdy jsou fyziologické funkce organismu v optimu a kdy okolí včetně oděvu nevytváří žádné nepříjemné vjemy vnímané našimi smysly.“ Jedná se o pocit pohody, kdy nepocitujeme chlad ani nadměrné teplo. [2]

„Je tedy nutné konstruovat oděvy tak, aby jejich schopnost přenosu tepla, kapalné i plynné vlhkosti a někdy i vzduchu zajišťovaly při nošení optimální hodnoty“. [2]
Termofyziologický komfort nastává za optimálních podmínek [2]:

- teplota pokožky 33 – 35°C,
- relativní vlhkost vzduchu 50±10%,
- rychlost proudění vzduchu 25±10 cm.s⁻¹,
- obsah CO₂ 0,07%,
- nepřítomnost vody na pokožce.

Optimální hodnoty komfortu oděvů výrazně ovlivňuje druh použitých materiálů.

Textilie pro outdoorové oblečení jsou textilie s kombinací několika funkčních vlastností. Obvykle se požaduje vysoký komfort nošení a současně ochrana proti nepříznivým vnějším vlivům. [16]

Ochranné sportovní oblečení nesmí omezovat pohyb těla, musí být co nejlehčí, odolné, snadno udržovatelné a rychleschnoucí. Také konstrukce textilie, estetika a design jsou velmi důležité pro kvalitní, komfortní a vysoce výkonný oděv. Pohodlí těchto oděvů je důležité, a dokonce v některých případech je životně důležité pro přežití. Ochranné sportovní oblečení musí být odolné proti větru a hlavně dešti. Lidské tělo musí být totiž udržováno v úzkém rozmezí teplot, aby nedošlo ke ztrátě pohodlí nebo dokonce k smrti. [21]

Z vnější strany je většinou požadovaná hydrofobita a z vnitřní strany vysoká propustnost pro vodní páry. Tyto vlastnosti jsou dále kombinovány s jinými vlastnostmi (termoizolační vlastnosti, vysoká pevnost, odolnost v oděru, udržovatelnost, splývavost, příjemný omak a zároveň příjemná cena). [16]

Ochrana proti dešti nebo vodě je důležitá, protože hlavně voda může uvést tělo mimo tělesnou teplotu mnohem rychleji než vzduch. [21]

Současní výrobci outdoorových oděvů se starají o tom, aby jejich produkt spňoval požadavky uživatele pro daný sport. Proto provádějí různá měření ke zjištění těchto vlastností. Budeme se zabývat vybranými vlastnostmi, které budou zkoumány v experimentální části této práce.

3.1 Paropropustnost – propustnost textilií pro vodní páry

Vlastnost materiálu převádět výpary do okolního prostředí (dýchat) se nazývá paropropustnost. Propustnost vodních par je charakterizována jako prostup vodní páry na základě rozdílných parciálních tlaků, které jsou na obou stranách textilie. Prostup pro vodní páry také závisí na sorpčních a transportních vlastnostech jednotlivých oděvních materiálů, na pórovitosti textilie, dostavě tkaniny (pleteniny), povrchové úpravě a konstrukčním řešení oděvu. [2, 16]

Propustnost textilií pro vodní páry se nejvíce hodnotí pomocí výparného odporu Ret [$Pa \cdot m^2/W$] podle ISO 11092. Čím je hodnota Ret nižší tím je propustnost textilie pro vodní páry vyšší. Užívaná jednotka $g/m^2 \cdot 24$ hod označuje propustnost vodních par a je měřena podle ISO 2528. Nevýhodou této jednotky je, že z ní není hned patrné, při jaké vlhkosti vnějšího vzduchu k příslušné propustnosti dochází. [2]

Tabulka 3 - Klasifikace propustnosti textilií pro vodní páry v obou jednotkách je dle stávajících norem ISO následující [20]:

Ret < 6	Velmi dobrá	(nad 20 000 $g/m^2 \cdot 24h$)
Ret 6-13	Dobrá	(9 000 – 20 000 $g/m^2 \cdot 24h$)
Ret 13-20	Uspokojivá	(5 000 – 9 000 $g/m^2 \cdot 24h$)
Ret > 20	Neuspokojivá	(pod 5 000 $g/m^2 \cdot 24h$)

Ty nejlepší membránové materiály při hodnotách 20 000 $mm H_2O$ vodního sloupce dosahují hodnot 20 000 $g/m^2 \cdot 24h$ i více, tedy mají Ret menší než 6. Ale to neznamená, že materiál vždy dokáže převést veškerou vlhkost do vnějšího prostředí. Zda materiál, ze kterého je oděv, vyroben odbourá téměř všechnu vlhkost, záleží především na počasí, intenzitě zátěže a způsobu oblékání. Schopnost materiálu nebo spíše spokojenost uživatele s jeho schopností převádět vodní páry je ovlivněna řadou faktorů. Závisí například na produkci tělesných par v klidu a při pohybu. I v klidovém stavu probíhá neviditelné pocení. Znamená to, že pro převod vlhkosti vyprodukované tělem v klidu je potřeba materiál s parametrem 1200 - 1500 $g/m^2 \cdot 24$ hod. K objemu vyprodukovaných par při pocení v klidovém stavu se pak přičítají tělesné páry vzniklé při zátěži. [22]

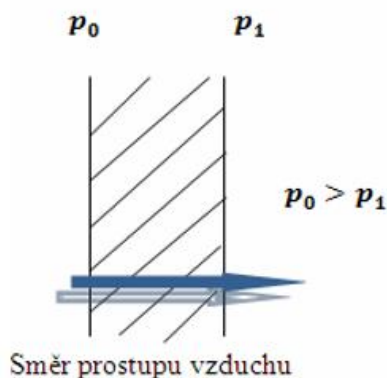
Tabulka 4 - Přibližné hodnoty produkce zělesných výparů podle intenzity zátěže [22]:

Chůze (dle podmínek a fyziologie)	5 000 – 10 000 g/m ² .24h
Běh	20 000 – 28 000 g/m ² .24h
Extrémní fyzická aktivita	nad 35 000 g/m ² .24h

Tuto vlastnost budeme měřit na přístroji Permetest.

3.2 Prodyšnost – propustnost textilií pro vzduch

Paropropustnost textilií pro vzduch neboli prodyšnost se vyjadřuje jako rychlost proudění vzduchu danou plochou textilie za určitý čas. Větruodolnosti se docílí nejčastěji použitím membrán. Při vysoké fyzické zátěži lze značnou část tepla odvést z oděvního systému ventilací, pokud je vnější vzduch chladnější a oděv dostatečně propustný pro vzduch. U některých sportovních oděvů například dresů je vysoká prodyšnost oděvu žádoucí, avšak u zimního oblečení, které je vystaveno chladícímu účinku vzduchu, je naopak vysoká prodyšnost nežádoucí. Tuto vlastnost je možné měřit na přístroji FX 3300. [2, 23]

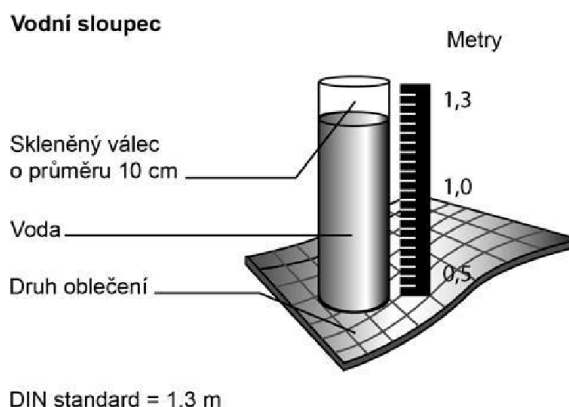


Obrázek 6 - Prostup vzduchu [16]

3.3 Hydrostatická odolnost – výška vodního sloupce

Schopnost materiálu odolávat vodě je možné vyjádřit hydrostatickou odolností (výška vodního sloupce), kterou materiál má do okamžiku, než začne vodu bezprostředně propouštět. Udává se většinou v milimetrech vodního sloupce. Znamená to, že čím vyšší sloupec vody materiál udrží do doby, než začne vodu propouštět, tím více je schopen odolat promoknutí. Aby bylo možné oděv charakterizovat jako nepromokavý, je nutné dle normy ISO 811, aby udržel alespoň 1300 mm vysoký vodní sloupec. [24, 25]

Proces měření hydrostatické odolnosti je založen na postupně se zvyšujícím tlaku destilované vody vyústěné pod testovanou textilií o ploše 1 dm². Měření se zastaví ve chvíli, kdy se na povrchu testované textilie objeví první 3 kapky vody, nebo když dojde k destrukci testovaného materiálu [2]. Pro snadnější výklad, si lze měření hydrostatické odolnosti, představit jako skleněný válec o průměru 10 cm, který je naplněn vodou a přiložen na tkaninu obrázek č. 3. Je zde zachovány principy prvních tří kapek na povrchu materiálu. Naměřená hodnota je uváděna na výrobcích. [26]



Obrázek 7 - Zjednodušené měření hydrostatické odolnosti [26]

Táto vlastnosť sa bude naměřena na přístroji SDL Atlas.

Obecně považujeme za nepromokavý oděv s vodním sloupcem od 1300 mm, ale v praxi u oblečení se spíše pohybuje hodnota výšky vodního sloupce v rozmezí 10 m až 20 m. Použití v reálných podmínkách je textilie mnohem více namáhána na vyšší tlaky. V tabulce jsou uvedeny zhruba doporučené hodnoty nepromokavosti při některých činnostech.

Tabulka 5 - Ekvivalentní výšky vodního sloupce k různým činnostem [27]

Výška vodního sloupce	Spolehlivě ochrání průniku vody při:
5 m	Sezení v mokré trávě, na mokré lavičce
12 m	Klečení na kolenou v mokré trávě nebo sněhu
15 m	Tlaku popruhů těžkého batohu
30 m	Páru suchého lyžáře v plné rychlosti do mokrého sněhu

Pro každou fyzickou aktivitu, bychom měli mít větší rezervu.

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1 Navržená měření

Vybrané textilii necháme slaminovat s nanovláknennou membránou a lamináty podrobíme podobným zkouškám, jak samotné textilie. V první řadě bude změřena plošná hmotnost, poté paropropustnost, prodyšnost a vodní sloupec. Dále tloušťka laminátu a oděr. Samotné textilii vyzkouším na tažnost. Praní ani jiné stálosti nanovláknenné membrány nebudou součástí práce, protože samotná membrána byla z těchto hledisek testována při svém vývoji a navržena tak, aby uvedeným parametrům vyhovovala. V závislosti na výsledných hodnotách je možné změnit parametry membrány, změnit textilie a na základě nových zkušeností vytvořit jiný laminát lépe splňující požadavky.

Paropropustnost

Měří se na tzv. skin modelech, které simulují pocení lidského těla. Jedním z nich je PERMETEST, na kterém byla paropropustnost v této práci měřena „Základem přístroje je vyhřívaná a zvlhčovaná porézní deska označovaná jako „model kůže“ sloužící k simulaci procesu přenosu tepla a hmoty, ke kterým dochází mezi lidskou pokožkou a okolím“. [2] Norma pro měření paropropustnosti ČSN EN ISO 11092.

Prodyšnost

Odolnost vůči propustnosti pro vzduch byla měřena na přístroji dle normy FX 3300 ČSN EN ISO 9237 při tlakovém spádu 100 Pa s výstupem $l \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$.

Hydrostatická odolnost

Měření hydrostatické odolnosti v této práci podléhají normě ČSN EN 20811. Přesný název normy zní: „Textilie. Stanovení odolnosti proti pronikání vody. Zkouška tlakem vody.“

Pevnost, tažnost, prodloužení

Zkoušky probíhají na stroji Testometric za podmínek měření dle ČSN EN ISO 13934-1 (80 0812). S upínací délkou 20 cm.

Oděr

Přístroj Martindale odírá textilii po nastavené křivce po normované vlněné tkanině dle normy ČSN EN ISO 12947-2. Zkouška končí protržením vazného bodu nebo dosažením 50 000 otáček.

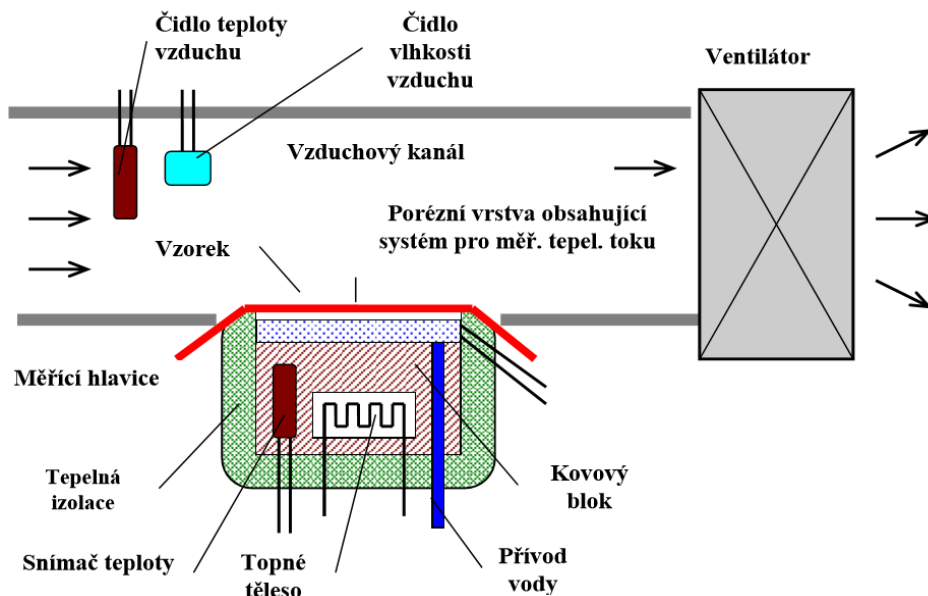
4.2 Měřicí přístroje

4.2.1 Permetest

Přístroj je možné charakterizovat jako výše uvedený „skin model“ a měření probíhá na základě příslušné normy ISO 11092. Jeho součástí je speciálně upravený model lidské pokožky (membrána), který je porézní a je zvlhčován, což simuluje pocení. Na takto vytvořený povrch je přes separační folii přiložen vzorek, který je z vnější strany ofukován. Vyhodnocuje se *relativní paropropustnost materiálu* p [%] a *výparný odpor*, neboli odolnost vodním parám **Ret** [$\text{m}^2 \cdot \text{Pa} / \text{W}$], někdy nazývaná také prodyšností. Snižující se Ret značí menší odpor, kdy materiál více „dýchá“. Čím ale je vyšší hodnota u paropropustnosti v [$\text{g} / \text{plocha} / \text{čas}$], tím je i lepší odvod vodních par textilií. Nejčastěji se používá jednotka pro paropropustnost [g / m^2 za 24 hod], což značí kolik vlhkosti v g propustí 1m^2 za 1 den. Směr prostupu vodních par není určen membránou jako takovou, ale rozdílem teplot a parciálních tlaků vnějšího a vnitřního prostředí. [2, 16]



Obrázek 8 – Přístroj Permetest



Obrázek 9 – Schéma přístroje Permetest [16]

Při měření paropropustnosti a výparného odporu je měřicí hlavice, na kterou je přikládán vzorek, udržována pomocí topné spirály na teplotě okolního vzduchu 20 – 23°C. Okolní vzduch je nasáván do přístroje, což zajišťuje izotermické podmínky při měření, a tudíž je možné provádět měření v jakýchkoliv běžných klimatických podmínkách. Nejdříve je měřen tepelný tok bez vzorku (q_o), a poté se vzorkem (q_v). Při měření se vlhkost v porézní vrstvě přeměňuje na páru, která poté prochází přes separační folii a vzorkem. Tepelný tok je měřen snímačem a je přímo úměrný paropropustnosti textilie a nepřímo úměrný jejímu výparnému odporu. [2, 16]

Pokud měříme tepelný odpor textilie, má suchá měřicí hlavice přístroje teplotu 10 – 20°C, kdy je tato teplota vyšší, než je teplota okolního vzduchu. Tepelný odpor R_{ct} představuje odpor proti prostupu tepla vzorkem při teplotě t_m jedné strany vzorku a přenosu tepla konvekcí na druhou vnější (mezí) stranu do vzduchu o teplotě t_a . Metoda není příliš přesná, protože se odečítá tepelný odpor pro hladký povrch a nebere se tak ohled na přirozenou drsnost textilií. [2, 16]

Přehled symbolů používaných při měření [2, 12, 24]:

- q_o [W/m^2] – plošná hustota tepelného toku (= tepelný tok) procházející měřicí hlavice nezakrytou měřeným vzorkem
- q_v [W/m^2] – plošná hustota tepelného toku (= tepelný tok) procházející měřicí hlavice zakrytou měřeným vzorkem
- P_m [Pa] – nasycený parciální tlak vodní páry na povrchu hlavice
- P_a [Pa] – parciální tlak vodní páry ve vzduchu uvnitř přístroje

- p [%] - relativní paropropustnost vodních par u materiálu
- R_{ct} [$m^2.K/W$] – tepelný odpor měřeného vzorku
- R_{et} [$m^2.Pa/W$] - výparný odpor měřeného vzorku
- ϕ [%] – relativní vlhkost vzduchu
- t_m [$^{\circ}C$] – teplota povrchu měřící hlavice
- t_a [$^{\circ}C$] – teplota vzduchu ofukující vnější vrstvu měřeného vzorku uvnitř přístroje

Stanovení tepelného odporu [2]:

$$R_{ct} = (t_m - t_a) \cdot (q_v^{-1} - q_o^{-1})$$

Stanovení výparného odporu [2]:

$$R_{et} = (P_m - P_a) \cdot (q_v^{-1} - q_o^{-1})$$

Klasifikace propustnosti pro vodní páry [16]:

Tabulka 6 - Klasifikace propustnosti pro vodní páry [16]

Propustnost vodních par [$g/m^2.24h$]		
Ret < 6	Velmi dobrá	(nad 20 000 $g/m^2.24h$)
Ret 6-13	Dobrá	(9 000 – 20 000 $g/m^2.24h$)
Ret 13-20	Uspokojivá	(5 000 – 9 000 $g/m^2.24h$)
Ret > 20	Neuspokojivá	(pod 5 000 $g/m^2.24h$)

Relativní paropropustnost [2]:

$$p = 100 \cdot (q_v/q_o)$$

100% paropropustnost představuje tepelný tok q_o , který je odvozený z odparu volné vodní hladiny o průměru, jaký má měřený vzorek.

4.2.2 Alambeta

Přístroj ALAMBETA simuluje a zároveň vyhodnocuje krátkodobý, tepelně kontaktní vjem mezi vlhkou pokožkou a suchou textilií. Jedná se o nedestruktivní metodu, kdy je měřena hlavně tepelná jímavost textilie. Měření tepelných vlastností na přístroji spočívá v průchodu tepelného toku q (t) vlhčeným vzorkem simulující lidskou pokožku a měřeným vzorkem od

neustáleného stavu k ustálenému (t_1 - teplota měřící hlavice, t_2 - teplota měřeného vzorku). Měření probíhá pod definovaným přitlakem hlavice, která je vždy o 10 K teplejší než okolí, což nejčastěji odpovídá lidské pokožce. Při kontaktu hlavice a měřeného vzorku dochází k povrchové sorpci a k odvodu vlhkosti od zvlhčeného vzorku (model pokožky). Textilie, které mají vyšší kapilární odvod a sorpci, odvedou od modelu pokožky více vlhkosti a vykazují sušší omak.

Přístroj ALAMBETA je počítačem řízený poloautomat, který vypočítá všechny statistické parametry měření a obsahuje autodiagnostický program, který zabraňuje chybným operacím přístroje. Minimální počet jednotlivých měření je 3 a maximální 20. Z jednotlivých měření přístroj vypočítává aritmetický průměr a variační koeficient při 95% hladině spolehlivosti. [2, 16, 29]

Měřené hodnoty [2, 29]:

- λ [W/m.K] - měrná tepelná vodivost – Množství tepla, které proteče jednotkou délky za jednotku času a tím vytvoří rozdíl teplot 1 K. Hodnotu zobrazenou na přístroji je nutné dělit 10^3 . S vyšší teplotou měrná tepelná vodivost klesá.

- b [W.s^{1/2}/m²K] - tepelná jímavost – Jediná veličina, která popisuje tepelný omak. Jedná se o množství tepla, které proteče jednotkou plochy za jednotku času za rozdílu teplot 1 K, díky akumulaci tepla v jednotkovém objemu. Chladné materiály mají vyšší hodnotu b a tudíž i větší absorpční schopnost.

- r [m².K/W] - plošný odpor vedení tepla – Jedná se o poměr tloušťky materiálu a měrné tepelné vodivosti. S klesající tepelnou vodivostí se zvyšuje odpor vedení tepla. Tuto veličinu je nutné rovněž dělit 10^3 .

$$r = \frac{h}{\lambda}$$

- h [mm] - tloušťka materiálu

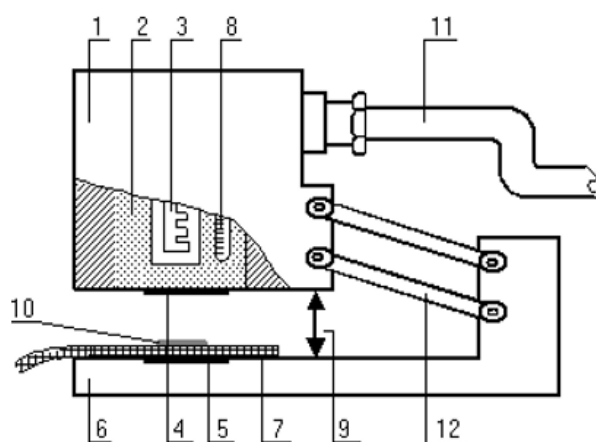
- $a \cdot 10^{-6}$ [m².s⁻¹] - tepelná vodivost (koeficient) – Charakterizuje schopnost materiálu vyrovnávat teplotu. S rostoucí hodnotou zvládá materiál lépe vyrovnávat teplotu.

- p [1] - poměr maximálního a tepelného toku.

$$p = \frac{q_{MAX}}{q_S}$$

- q [W.m⁻²] - tepelný tok - Jedná se o množství tepla, které se šíří z hlavice přístroje s teplotou t_1 do textilie o teplotě t_2 za jednotku času.

$$q = b \frac{t_2 - t_1}{\sqrt{\pi \cdot \tau}}$$



- 1 – tepelně izolační kryt
- 2 – kovový blok
- 3 – topné těleso
- 4 – snímač tepelného toku
- 5 – snímač tepelného toku
- 6 – základna přístroje
- 7 – vzorek textilie
- 8 – teploměr
- 12 – paralelní vedení

Obrázek 10 - Schéma měřícího přístroje Alambeta [30]

4.2.3 FX 3300

Jedná se o zkoušku určení míry odolnosti textilie vůči působení vzduchu z vnější strany. Tento přístroj slouží k měření paropropustnosti textilií pro vzduch neboli prodyšnosti a je výrobkem švýcarské firmy TEXTTEST AG. Princip spočívá ve vytvoření tlakového rozdílu mezi oběma povrchy testované textilie a měření takto vyvolaného průtoku vzduchu. Měřená textilie se vkládá do přístroje vcelku a tak není třeba vystříhnout vzorek o speciálních rozměrech. [2]

Prodyšnost může být někdy žádoucí, např. sportovní oděvy, nebo také nežádoucí, např. zimní oblečení [2,31]. Čím nižší prodyšnost materiál vykazuje, tím lépe odolává skutečnému účinku větru. Prodyšnost vzduchu u textilií je charakterizována jako jejich schopnost propouštět vzduch za daných podmínek. V laboratořích je prodyšnost standardně hodnocena podle ČSN EN ISO 9237, která definuje prodyšnost jako rychlost proudícího vzduchu přes vzorek textilie za specifikovaných podmínek pro měrnou plochu, tlakový spád a dobu. Norma doporučuje nastavit následující podmínky měření [2,31]:

- 1) Měřená plocha – 20 cm²
- 2) Tlakový spád 100 Pa

4.2.4 SDL Atlas

Jedná se o metodu, která se ale přesto stala velmi důležitým parametrem u kvality sportovních oděvů.

Výška vodního sloupce bude měřena pomocí přístroje Hydrostatic head tester od firmy SDL Atlas. Přístroj ukazuje výšku vodního sloupce v cm H₂O, který se spolu s časem měření a nastaveným přírůstkem tlaku ukazuje na displeji. Přístroj funguje na principu namáhání tlakem vody ze spodu na upnutý vzorek. Měřený vzorek se položí na kruhovou podložku a následně se po přitlačení upevní hlavicí. Je důležité, aby přesahoval kruhovou podložku po upevnění. Testovací plocha je 1 dm². Před vlastním měřením je nutné nastavit přírůstek tlaku vody a pak je možné vlastní měření spustit. Voda je vytlačována stlačeným vzduchem a působí tlakem na povrch textilie. Měření se provádí dle normy ISO 811 - Stanovení odolnosti proti pronikání vody - Zkouška tlakem vody. Měření probíhá do doby, než se na povrchu daného vzorku objeví tři kapky vody. V tomto okamžiku je měření ukončeno, zaznamená se čas a dosažená výška vodního sloupce.



Obrázek 11 (a, b, c) – Přístroj SDL Atlas

Měření dle SN EN 20811 (80 0818)

Tato norma [28] slouží ke stanovení odolnosti textilií proti pronikání vody při působení tlaku vody. Norma předepisuje postup, kdy upnutý vzorek má z jedné strany volný povrch a z druhé strany je namáhán působením tlaku vody. Důležitým okamžikem je zkontrolovat

Vývoj rukavic s nanovlákenou membránou pro sportovní účely

proniknutí kapek vody, kterým je měření ukončeno a výsledek je aktuální hodnota výšky vodního sloupce. Pro správné určení musí vzorek a přístroj splňovat následující podmínky:

1. Vzorek by měl být upnut tak, aby byl vodorovný a nevydoulal se.
2. Na celou plochu měřeného vzorku musí působit tlak vody ze spodní nebo z vrchní části.
3. Příruby musí být obloženy vhodným typem gumy, aby voda neprosakovala a u okraje nedocházelo k pronikání vody.

Norma předepisuje pro měření užití destilované vody pokojové teploty. Použití vody s vyšší teplotou, případně s větším obsahem dalších příměsí, by mělo za následek naměřenou nižší hodnotu vodního sloupce.

4.2.5 Martindale

Na přístroji Martindale je možné hodnotit jak sklon textilií ke žmolkování tak odolnost textilií v oděru. Přístroj má velmi snadnou obsluhu a je řízen digitálním nastavitelným počítadlem, které zaznamenává otáčky jedné z vnějších pohonných jednotek, která opisuje Lissajousův obrazec. Přístroj je možné nastavit na ukončení činnosti v přesně stanovených otáčkách a při výpadku proudu, začne pracovat tam, kde proces skončil, bez ztráty dat. Je proto možné provádět měření bez nutnosti neustálé kontroly. Na základní desce jsou umístěny odírací plochy, kterých může být 4. [29, 30]



Obrázek 12 – Přístroj Martindale

Testování na sklon textilií ke žmolkování a na odolnost textilií v oděru je velmi důležité z důvodu opotřebení materiálů při nošení, jednak se textilie při pohybu třou samy o sebe a dále hrozí porušení textilie při zatížení popruhy baťohů apod. [33, 34]

Martindale – Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru

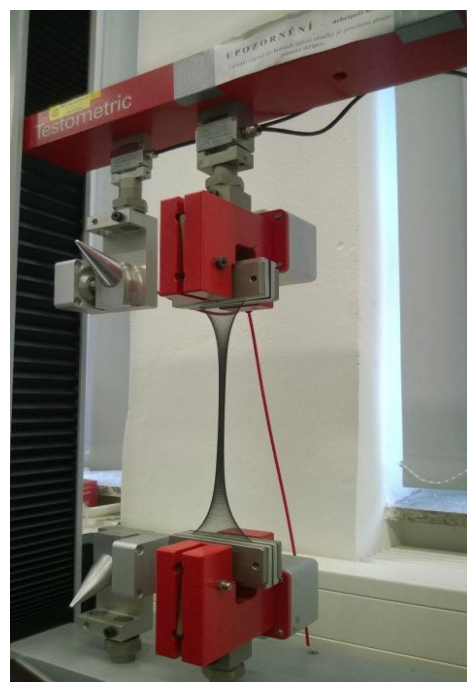
Kruhový zkušební vzorek o průměru 38 mm podložený pěnovým materiálem a připevněný k hlavici držáku se při stanoveném zatížení pohybuje po kruhové normované třecí ploše o průměru 140 mm, tvořenou vlněnou odírací textilií. Zkušební vzorek je zatížen závažím o hmotnosti 795 g, což vyvolává přítlak 12 kPa, a pohybuje se kolmo k odírací ploše. Po každých 50 000 otáčkách je nutné upnout novou normovanou odírací textilií. Hodnotí se poškození vzorku (počtem otáček do poškození), úbytku hmotnosti, změn vzhledu a protržení (počtem otáček do předem stanovené změny povrchu) dle zvolené metody [33, 35].

Měření probíhá na základě normy ČSN EN ISO 12947-2, která definuje poškození vzorku [35]:

- U tkanin jsou zcela přerušeny dvě samostatné nitě.
- U pletenin je přerušena jedna nit' a vytvoří se díra.
- U vlasových textilií je zcela odřen vlas.
- U netkaných textilií se vytvoří v důsledku oděru první díra o průměru minimálně 0,5 mm.

4.2.6 Testometric

Odolnost v tahu se u tkanin měří na přístroji Testometric za podmínek měření dle ČSN EN ISO 13934-1 (80 0812). Zjišťuje se ve směru osnovy a útku, u pletenin ve směru sloupků a řádků. Vytvoří se vzorky o rozměrech 30 x 6 cm, které jsou následně upárány z obou stran na rozměry 30 x 5 cm. Upínací délka stroje je 20 cm. Textilie se upevní do čelistí, které jsou od sebe odtahovány až do přetrhu.



Obrázek 13 – Přístroj Testometric

4.3 Popis použitých materiálů

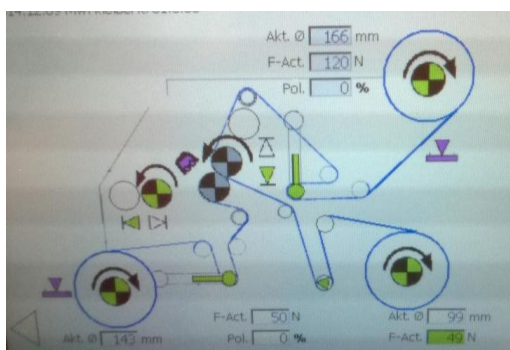
Při tvorbě zkoumaných vzorků byly použity stejné podmínky procesu laminace, stejná nanomembrána a lepidlo. Bližší informace o použitých materiálech jsou k vidění v přehledných tabulkách níže.

Tabulka 7 - Základní charakteristiky použitých materiálů

Nanomembrána	
Chemické složení	100% PA 6
Plošná hmotnost	2,5 g/m ²
Druh membrány	Hydrofobní
Výrobce	Nanomembrane
Použitá vlákna	Nanovlákna
Hydrostatická odolnost	63,6 cm H ₂ O
Paropropustnost	Ret = 0,9 Pa.m ² /W
Prodyšnost	8 l/m ² /s
Zitap (používaná v laminátu č. 1)	
Barva	Bílá, černá
Chemické složení	100% PL
Druh	Pletenina osnovní
Vazba (Struktura)	Sukno
Plošná hmotnost	24,3 g/m ²
Tloušťka	0,14 mm
Plošná hmotnost laminátu	71 g/m ²
Tloušťka laminátu	0,28 mm
Zitapka (používaná v laminátu č. 2)	
Barva	Černá
Chemické složení	100% PL
Druh	Pletenina osnovní
Vazba (Struktura)	Sukno
Plošná hmotnost	16,9 g/m ²
Tloušťka	0,14 mm

Plošná hmotnost laminátu	56,2 g/m ²
Tloušťka laminátu	0,28 mm
Lepidlo	
Chemické složení	100% PU

Laminace materiálů na přístroji Lacome probíhala hlubotiskovým způsobem, který je podrobně popsán v teoretické části této diplomové práce. Teplota 120 °C, rychlost 2 m/min, tlak 3,1 kg/cm², hustota laminačních bodů je 17 bodů/mesh, množství lepidla 10 g/m². Teplota ohřáté nosné textilie je o 50-70°C vyšší, než je teplota tání polymerního pojiva.



Obrázek 14 - Schéma laminacího přístroje



Obrázek 15 (a) - Přístroj pro laminace membrány



Obrázek 16 - Nanšení lepidla na válec. Proces laminace



Obrázek 15 (b) - Přístroj pro laminace membrány

4.4 Výsledky měření a jejich zpracování

Tato část práce se bude zabývat hodnocením komfortních vlastností materiálů a výběrem jednoho z nich. Konkrétně budou vyhodnoceny zkoušky na paropropustnost, prodyšnost a hydrostatickou odolnost. V tabulce 7 je uvedeno materiálové složení a plošná hmotnost hodnocených tkanin. Vybraný materiál bude laminován s nanovlákenou membránou, která má za úkol zajistit optimální komfortní vlastnosti, a to paropropustnost, prodyšnost a hydrostatickou odolnost tak, aby materiál mohl být použit pro výrobu sportovních rukavic.

4.4.1 Statistické zpracování naměřených hodnot

U některých naměřených hodnot v experimentální části bylo zapotřebí statistického vyhodnocení. Toto zpracování bylo provedeno pomocí programu Microsoft Office Excel. Nejprve byla zpracována základní statistika pomocí níže zobrazených vzorců:

Aritmetický průměr \bar{x} :

Aritmetický průměr (rovnice 1) je statistická hodnota, která je vyjádřena jako součet naměřených hodnot dělená počtem všech jednotek souboru dat.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4/1)$$

Rozptyl s^2 :

Rozptyl (rovnice 2) je střední kvadratická odchylka náhodné veličiny od její střední hodnoty.

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (4/2)$$

Směrodatná odchylka s :

Směrodatná odchylka (rovnice 3) je druhou odmocninou z rozptylu. Jedná se o kvadratický průměr odchylek hodnot znaku od jejich aritmetického průměru. Vypovídá, jak daleko jsou hodnoty ve zkoumaném souboru vzdálena od průměru, resp. hodnoty náhodné veličiny vzdálené od střední hodnoty. Čím je tato hodnota menší, tím přesnější měření.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{s^2} \quad (4/3)$$

Variační koeficient v :

Variační koeficient (rovnice 4) je dán podílem směrodatné odchylky a průměrné hodnoty. Tato hodnota se vypočítává, jestliže nenabývá nezáporné hodnoty.

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 10^2 \quad (4/4)$$

95% interval spolehlivosti $L_{d,h}$:

95% interval spolehlivosti (rovnice 5) udává rozmezí, ve kterém s 95%-ní jistotou bude požadovaný parametr nalezen.

$$L_{d,h} = \bar{x} \mp t^{(n-1)} * \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (4/5)$$

4.4.2 Zjišťování plošné hmotnosti

Plošná hmotnost je definována normou: ČSN EN 12127: „Plošná hmotnost – hmotnost známé plochy plošné textilie, vztažená k této ploše, vyjádřená v gramech na čtvereční metr“.

Zkoumané textilie musí být před zkouškou uvedeny do stavu bez napětí, volně položeny na plochu po dobu minimálně 24 hodin a klimatizovány dle normy ČSN EN 20811. Podmínky klimatizační komory: $t = 20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi = 65\% \pm 2\%$.

Samotný vzorek byl vystřižen o minimální ploše 100 cm^2 , plošná textilie se nesmí deformovat. V rámci ověření správnosti bylo provedeno 5 měření každého typu materiálu. Poté jsem zvažila vzorky na digitálních vahách a stanovila plošnou hmotnost.

Plošná hmotnost byla vyjádřena pomocí vzorce:

$$M = \frac{m \times 10000}{A} \text{ [g/m}^2\text{]} \quad (4/6)$$

M- plošná hmotnost [g/m^2]

m- hmotnost zkušební vzorku [g]

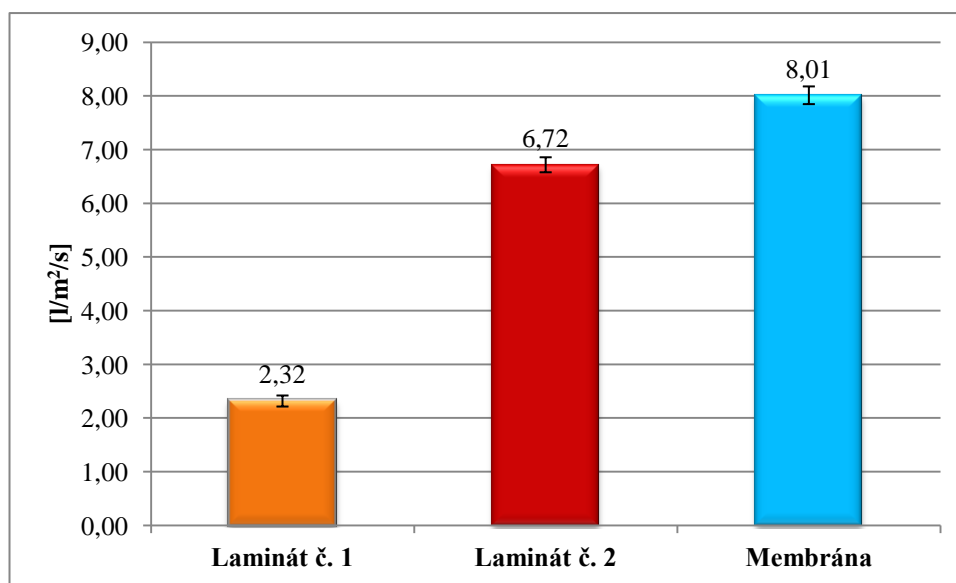
A – plocha zkušební vzorku [cm^2]

4.4.3 Výsledky pro prodyšnost

Následující tabulka obsahuje výsledky měření prodyšnosti laminovaných vzorků v porovnání se samostatnou membránou:

Tabulka 8 – Měření prodyšnosti

Prodyšnost FX 3300		[l/m ² /s]		
		Laminát č. 1	Laminát č. 2	Membrána
		2,24	6,92	8,48
		2,15	6,82	7,94
		2,38	6,52	7,89
		2,42	6,7	8,4
		2,4	6,64	7,92
Aritm. průměr		2,32	6,72	8,01
Sm.odchylka		0,12	0,16	0,27
Rozptyl		0,01	0,02	0,07
IS dol.m.		2,21	6,58	7,84
IS hor.m.		2,42	6,86	8,17
Var.koef.	%	4,54	2,07	3,18



Obrázek 17 – Graf prodyšnosti materiálů

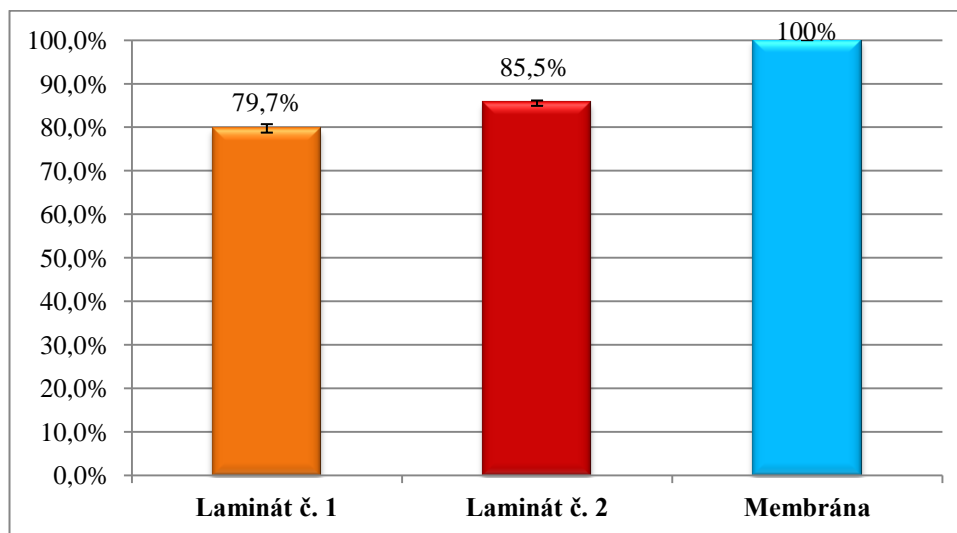
Graf znázorňuje průměrné prodyšnosti laminovaných vzorků a samotné nanomembrány. Laminování snižuje prodyšnost nanomembrány o 71% u prvního vzorku a o 16% u druhého vzorku. Víme, že u zimního oblečení prodyšnost není žádoucí, protože čím nižší prodyšnost materiál vykazuje, tím lépe odolává skutečnému účinku větru. Takže první laminát splňuje požadované podmínky lépe, než druhý.

4.4.4 Výsledky pro paropropustnost

V tabulce jsou zobrazeny výsledky měření vzorků na paropropustnost a její střední hodnota.

Tabulka 9 – Měření paropropustnosti

Paropropustnost (Permetest)			
	[%]		
	Laminát č. 1	Laminát č. 2	Membrána
	79,2	85,7	100
	80,1	86,6	100
	80,6	84,8	100
	78	85	100
	80,6	85,4	100
Aritm. průměr	79,7 %	85,5 %	100 %



Obrázek 18 – Graf paropropustnosti materiálů

Z tabulky je vidět, že laminovaný materiál je velmi paropropustný a dosahuje vysokých hodnot: 79,7% a 85,5%. Graf ukazuje, že laminování nanomembrány zhoršilo paropropustné vlastnosti u prvního vzorku o 20% a u druhého vzorku o 15%. Paropropustnost laminátů ale zůstala stále velmi vysoká.

Níže jsou zobrazené výsledky měření výparného odporu laminátů a samotné nanomembrány.

Tabulka 10 – Měření výparného odporu

Výparný odpor (Permetest)				
[Ret=Pa.m²/W]				
		Laminát č. 1	Laminát č. 2	Membrána
		1,8	1,1	0,9
		1,7	1	0,9
		1,7	1,1	0,9
		1,8	1,1	0,9
		1,7	1,1	0,9
Aritm. průměr		1,74	1,08	0,90
Sm.odchylka		0,05	0,04	0
Rozptyl		0,00	0,00	0
IS dol.m.		1,69	1,04	0,90
IS hor.m.		1,79	1,12	0,90
Var.koef.	%	2,82	3,70	0

Tabulka 11 – Klasifikace paropropustnosti pro vodní páry dle stávající normy ISO 11092

Ret < 6	Velmi dobrá
Ret 6-13	Dobrá
Ret 13-20	Uspokojivá
Ret > 20	Neuspokojivá

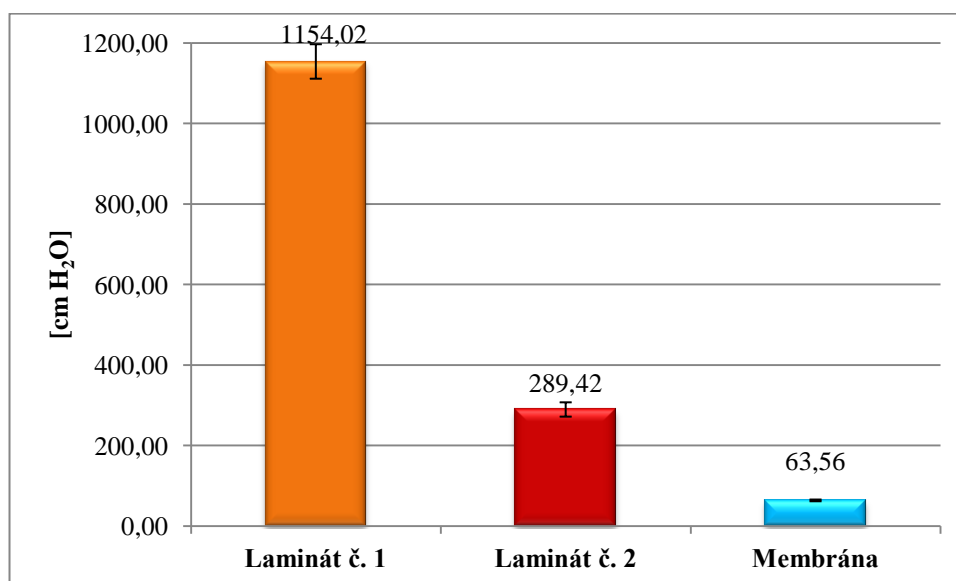
Čím je menší index Ret, tím je lepší paropropustnost materiálu a tím se rychleji odvádí vlhkost z pokožky. Všechny měření ukazují Ret < 6, což znamená velmi dobrou paropropustnost materiálu. U samotné nanomembrány je Ret=0, což je nejlepší index pro sportovní oděvy.

4.4.5 Výsledky hydrostatické odolnosti

Následující tabulka znázorňuje výsledky měření hydrostatické odolnosti a dále jsou porovnány mezi sebou na grafu.

Tabulka 12 – Hydrostatická odolnost

Vodní sloupec				
		[cm H₂O]		
		Laminát č. 1	Laminát č. 2	Membrána
		1105,8	321,3	59,8
		1150,1	292,7	63,4
		1108,2	287	64,5
		1215,5	266,6	68,9
		1190,5	279,5	61,2
Aritm. průměr		1154,02	289,42	63,56
Sm.odchylka		48,86	20,32	2,46
Rozptyl		2387,65	413,03	12,28
IS dol.m.		1111,19	271,61	61,41
IS hor.m.		1196,85	307,23	65,71
Var.koef.	%	3,79	6,28	4,93



Obrázek 19 – Graf hydrostatické odolnosti

Z grafu je vidět, že laminování obou vzorků výrazně zvětšilo voděodolnost materiálů. Ale u prvního vzorku je voděodolnost 4x větší, než u druhého vzorku. Doporučená hodnota nepromokavosti je od 1300 mm, což laminované materiály splňují, ale první vzorek má mnohem lepší voděodolnost, než vzorek druhý, což je lepší pro zimní outdoorové aktivity.

4.4.6 Výsledky tepelného odporu

Plošný odpor vedení tepla také charakterizuje tepelný omak. Je ovlivněn tloušťkou materiálu a měrnou tepelnou vodivostí. Tento parametr zjednodušeně udává, jak velký odpor klade měřený materiál proti průchodu tepla. Čím nižší je tepelná vodivost, tím vyšší je tepelný odpor. Materiály, které mají nízkou tepelnou vodivost a vysoký tepelný odpor lze charakterizovat jako kvalitní tepelný izolant.

U outdoorových materiálů je snaha eliminovat tloušťku i výparný odpor materiálů. Tloušťka materiálu ovlivňuje nejen jeho vlastnosti, ale také pohybovou schopnost uživatele. Tlusté materiály jsou málo přizpůsobivé pohybu, proto je vyžadována minimální tloušťka materiálu ovšem se zachováním požadovaných vlastností daného materiálu.

Tabulka 13 - Tepelný odpor a tloušťka vzorků

Alambeta		1 CLO = 0,155 m ² .K/W					
		Laminát č. 1			Laminát č. 2		
		r [m².K/W]	r [CLO]	h [mm]	r [m².K/W]	r [CLO]	h [mm]
		0,0102	0,07	0,29	0,0096	0,06	0,3
		0,0104	0,07	0,27	0,0091	0,06	0,27
		0,0106	0,07	0,28	0,0094	0,06	0,28
		0,0109	0,07	0,27	0,0092	0,06	0,27
		0,0106	0,07	0,3	0,0093	0,06	0,27
		0,0104	0,07	0,27	0,0094	0,06	0,28
		0,0109	0,07	0,27	0,0095	0,06	0,28
		0,0104	0,07	0,28	0,0091	0,06	0,26
		0,0105	0,07	0,26	0,0096	0,06	0,29
		0,0107	0,07	0,27	0,0089	0,06	0,28
Aritm. průměr		0,0106	0,07	0,28	0,0093	0,06	0,28
Sm.odch		0,0002	0,00	0,01	0,0002	0,00	0,01
Rozptyl		0,0000	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,00
IS dol.m.		0,0104	0,07	0,27	0,0092	0,06	0,27
IS hor.m.		0,0107	0,07	0,28	0,0095	0,06	0,29
Var.koef	%	2,04	2,04	4,03	2,38	2,38	3,87

Tepelný odpor obou vzorků je skoro stejný a rovná se 0,07 a 0,06 CLO při tloušťce laminátů 0,28 mm, tudíž první laminát má větší tepelný odpor při menší tloušťce.

4.4.7 Výsledky oděru

Zkouška probíhala podle normy ČSN EN ISO 12947-2 “Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru metodou Martindale. Zjišťování poškození vzorku” na přístroji Martindale. Rychlost přístroje byla 60 otáček/min a jmenovitý přítlak 12 KPa.

Tabulka 14 - Zkouška na oděr

Počet otáček	Laminát č. 1	Laminát č. 2
125	Beze změny.	Malé dírky v membráně.
250	Beze změny.	Membrána se protřela .
500	Beze změny.	Poškozená membrána.
1000	Začaly se objevovat malé dírky v membráně. Bílý materiál mírně zvlákňoval (chlupatý).	Poškozená membrána. Černý materiál zvlákňoval (chlupatý). Zůstává na podkladové tkanině.
2500	Projevily se díry 1x1 mm; 2x2 mm. Nad 3000 otáček bílý materiál začal zůstat na podkladové podložce.	Velké díry (foto). Černý materiál zničen, zůstal se na podložce.
5000	Zničená.	Zničená.

Výsledek zkoušky je znázorněn na obrázcích v příloze č. 1.

Provedená zkouška ukázala, že první vzorek laminátu je mnohem odolnější k oděru, než vzorek druhý. Malé dírky se začaly projevovat u prvního vzorku až po 1000-cích otáčkách u druhého vzorku již po 125-ti otáčkách.

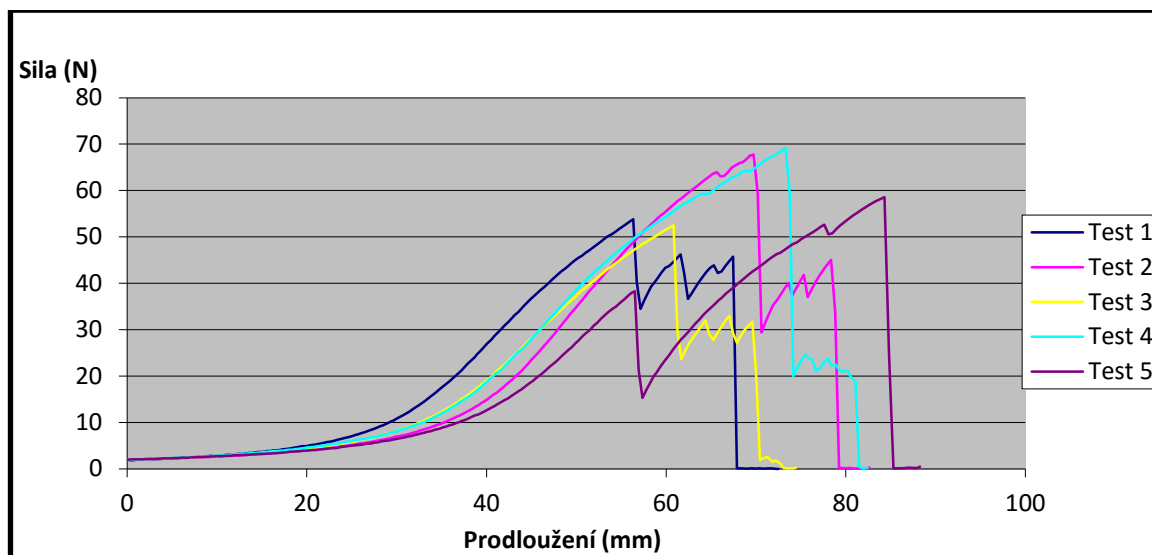
4.4.8 Výsledky tažnosti

Zkouška probíhala podle normy ČSN EN ISO 13934-1 (80 0812) „Textilie – Tahové vlastnosti plošných textilií – Zjišťování maximální síly a tažnosti při maximální síle pomocí metody STRIP“ na přístroji Testometric.

Pevnost materiálu u každého druhu vzorku se vždy měřila pětkrát. V tabulce 15 a 16 jsou zaznamenány průměrné hodnoty z naměřených dat a následně statisticky vyhodnoceny.

Tabulka 15 - Měření tažnosti prvního materiálu

Zkouška č.	Nejvyšší pevnost (N)	Prodloužení při nejv. pevnosti (mm)	Tažnost při nejvyšší pevnosti (%)
1	54,150	56,610	23,156
2	68,080	69,657	28,108
3	52,710	60,993	23,237
4	69,750	73,725	30,491
5	58,980	84,631	33,180
Min	52,710	56,610	23,156
Stred	60,734	69,123	27,634
Max	69,750	84,631	33,180
S.O.	7,843	11,007	4,431
VK	12,914	15,924	16,035
D.H.D	50,996	55,456	22,133
H.H.D.	70,472	82,791	33,136

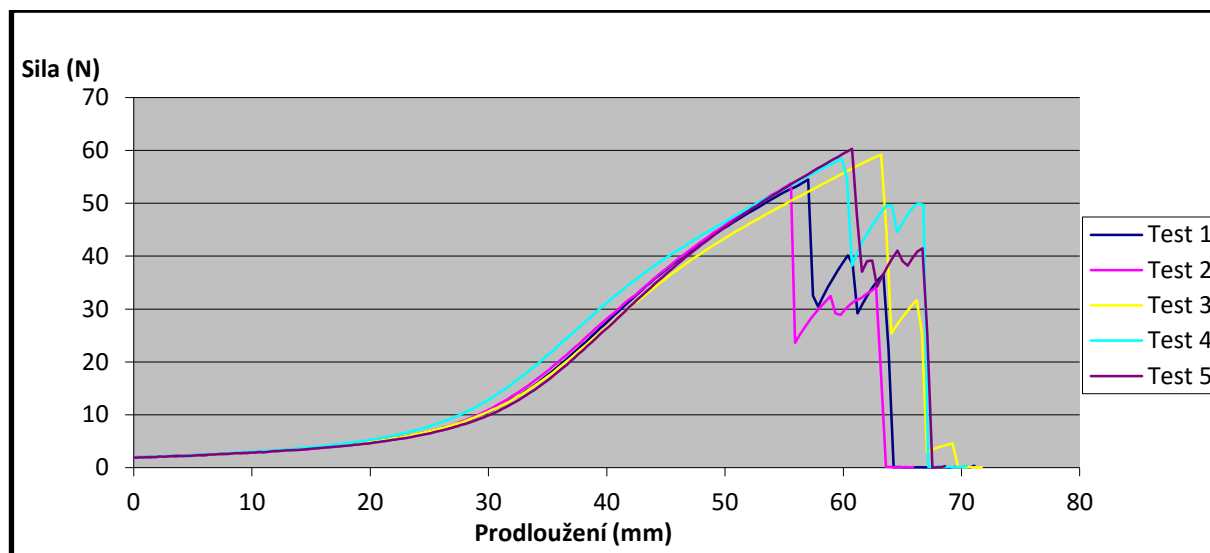


Obrázek 20 – Graf pevnosti a tažnosti prvního materiálu

Dále jsou znázorněny výsledky tažnosti druhého materiálu:

Tabulka 16 - Měření tažnosti druhého materiálu

Zkouška č.	Nejvyšší pevnost (N)	Prodloužení při nejv. pevnosti (mm)	Tažnost při nejvyšší pevnosti (%)
1	54,680	57,127	22,126
2	53,880	55,708	21,985
3	59,620	63,626	24,166
4	59,090	60,386	24,126
5	60,750	60,988	24,385
Min	53,880	55,708	21,985
Stred	57,604	59,567	23,358
Max	60,750	63,626	24,385
S.O.	3,106	3,163	1,194
VK	5,392	5,310	5,110
D.H.D	53,748	55,640	21,876
H.H.D.	61,460	63,494	24,840



Obrázek 21 – Graf pevnosti a tažnosti druhého materiálu

Z grafů (obrázky 20 a 21) jsou viditelné průměrné naměřené hodnoty. První materiál má lepší výsledky tažnosti a pevnosti, než druhý materiál a také větší prodloužení prvního vzorku o 10 mm. Pro sportovní rukavice je potřeba vybrat více ohebný materiál.

4.5 Měření konkurenčních membrán

V dané části diplomové práce budou uvedeny výsledky měření komfortních vlastností membrán od konkurenčních firem a porovnány s nanovláknennou membránou. Zkoumané vzorky jsou uvedeny v tabulce 17.

Tabulka 17 – Popis zkoumaných konkurenčních membrán

Porelle 540	
Chemické složení	100% PU
Plošná hmotnost	48 g/m ²
Druh membrány	Hydrofilní
Výrobce	Porelle®
Hydrostatická odolnost	96,5 cm H ₂ O
Paropropustnost	Ret = 21,8 Pa.m ² /W
Prodyšnost	1,4 l/m ² /s
Porelle PTFE	
Chemické složení	100% PTFE

Vývoj rukavic s nanovláknennou membránou pro sportovní účely

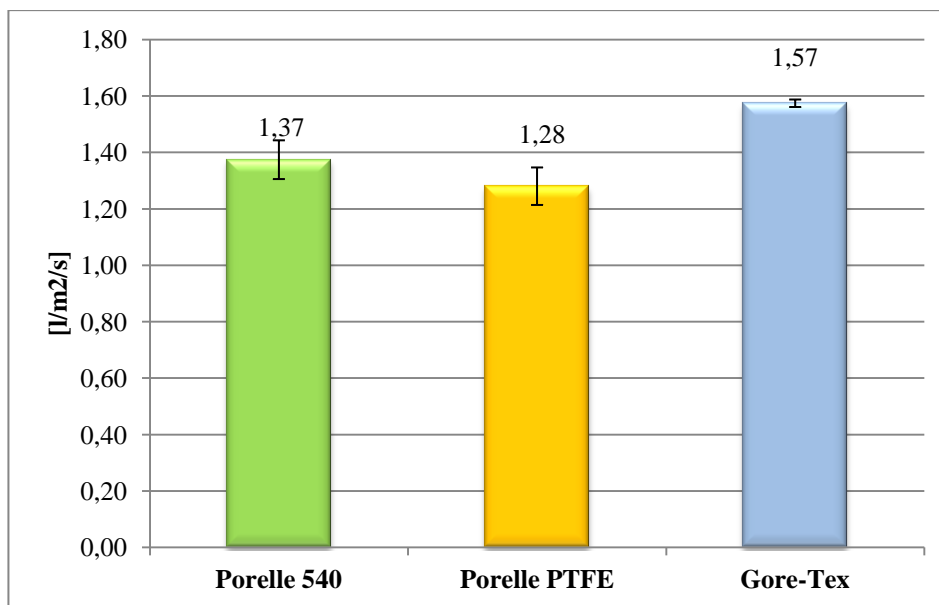
Plošná hmotnost	100 g/m ²
Druh membrány	Hydrofobní mikroporezní (Biokomponentní – PTFE membrána s PU vrstvou)
Výrobce	Porelle®
Hydrostatická odolnost	262 cm H ₂ O
Paropropustnost	Ret = 4,4 Pa.m ² /W
Prodyšnost	1,3 l/m ² /s
Gore-Tex	
Chemické složení	100% PTFE
Plošná hmotnost	56 g/m ²
Druh membrány	Hydrofobní mikroporezní
Výrobce	Gore-Tex
Hydrostatická odolnost	296 cm H ₂ O
Paropropustnost	Ret = 2,2 Pa.m ² /W
Prodyšnost	1,5 l/m ² /s

4.5.1 Výsledky pro prodyšnost konkurenčních membrán

Prodyšnost materiálu u každého vzorku membrány se měřila vždy pětkrát. V tabulce 18 jsou zaznamenány průměrné hodnoty z naměřených dat a následně statisticky vyhodnoceny.

Tabulka 18 – Měření prodyšnosti konkurenčních membrán

Prodysnost FX 3300		[l/m ² /s]		
		Porelle 540	Porelle PTFE	Gore-Tex
		1,42	1,25	1,59
		1,4	1,25	1,57
		1,35	1,3	1,55
		1,45	1,4	1,58
		1,25	1,2	1,58
Aritm. průměr		1,37	1,28	1,57
Sm.odchylka		0,08	0,08	0,02
Rozptyl		0,006	0,01	0,0002
IS dol.m.		1,31	1,21	1,56
IS hor.m.		1,44	1,35	1,59
Var.koef.	%	5,10	5,30	0,86



Obrázek 22 – Graf prodyšnosti konkurenčních membrán

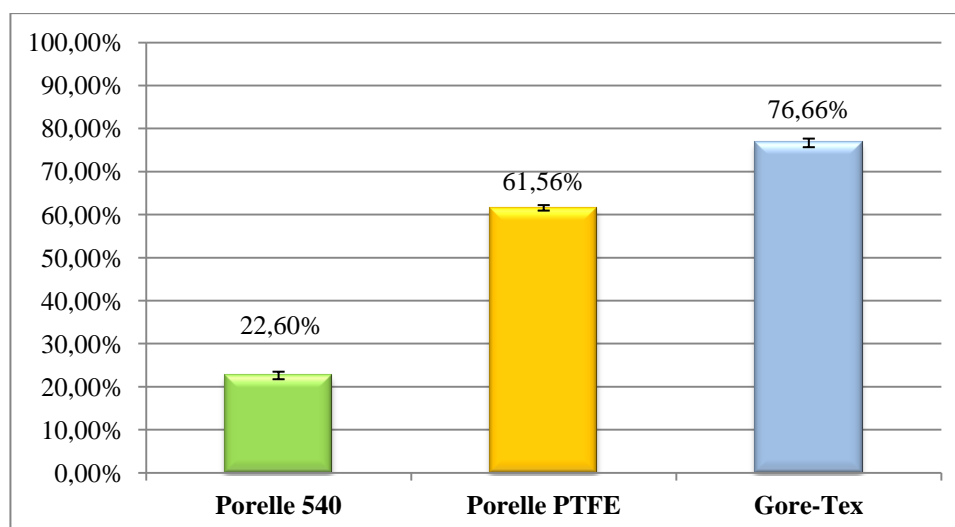
Průměrné hodnoty prodyšnosti konkurenčních membrán jsou zaznamenány ve spojnicovém grafu (obrázek 22). Vyšší hodnotu prodyšnosti má membrána Gore-Tex oproti PTFE membráně Porelle.

4.5.2 Výsledky pro paropropustnost konkurenčních membrán

Na přístroji Permetest byly naměřeny vzorky materiálů jednotlivých membrán. Všechny vzorky byly proměřeny pětkrát a následně z nich byly vypočítány statistické charakteristiky, které jsou znázorněny v následných tabulkách a grafech.

Tabulka 19 – Měření paropropustnosti konkurenčních membrán

Paropropustnost (Permetest)	[%]		
	Porelle 540	Porelle PTFE	Gore-Tex
	22,6	62,5	78,4
	23,3	62,1	75,7
	23,8	61,2	76,6
	21,3	60,7	75,6
	22	61,3	77
Aritm. průměr	22,60 %	61,56 %	76,66 %



Obrázek 23 – Graf paropropustnosti konkurenčních membrán

Z tabulky a grafu je vidět, že nejnižší relativní paropropustnost vykazuje první vzorek z Porelle membrány (24,6%). Nejvyšších hodnot dosahuje vzorek membrány Gore-Tex (76,66%).

Níže jsou zobrazeny výsledky měření výparného odporu membrán. Zde výparný odpor dosáhl uspokojivých ale i neuspokojivých výsledků.

Tabulka 20 – Měření výparného odporu konkurenčních membrán

Výparný odpor (Permetest)		[Ret=Pa.m ² /W]		
		Porelle 540	Porelle PTFE	Gore-Tex
		20,0	4,3	2,1
		22,5	4,3	2,3
		21	4,5	2,2
		22,7	4,5	2,3
		22,6	4,4	2,1
Aritm. průměr		21,76	4,40	2,20
Sm.odchylka		1,21	0,10	0,10
Rozptyl		1,45	0,01	0,01
IS dol.m.		20,70	4,31	2,11
IS hor.m.		22,82	4,49	2,29
Var.koef.	%	4,95	2,03	4,07

Když se hodnota výparného odporu snižuje, schopnost textilie propouštět vodní páru roste. Tedy když hodnota Ret stoupá, propustnost vrstev pro vodní páru je nižší. Největšího

Vývoj rukavic s nanovlákenou membránou pro sportovní účely

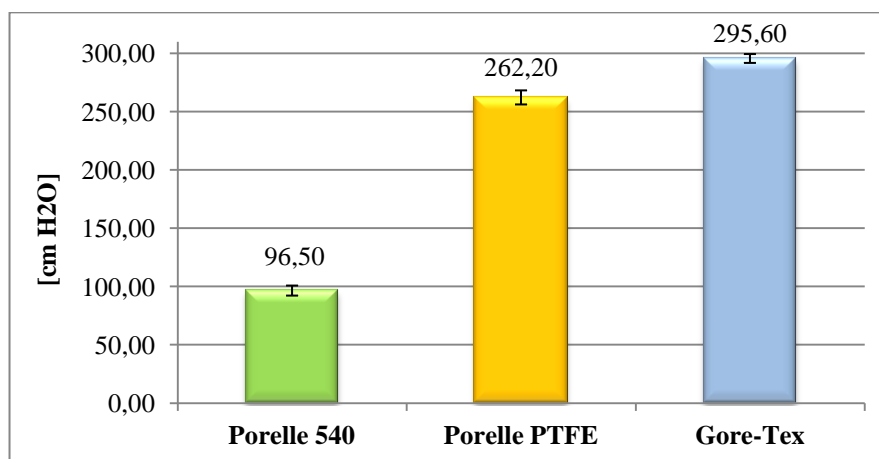
výparného odporu dosáhl první vzorek s Porelle membránou (21,8 Ret), což je podle normy neuspokojivý výsledek. Naopak nejnižšího výparného odporu dosáhl vzorek s membránou Gore-Tex (2,2 Ret).

4.5.3 Výsledky hydrostatické odolnosti konkurenčních membrán

Hydrostatická odolnost materiálu u každého druhu membrány se vždy měřila pětkrát. V tabulce 21 jsou zaznamenány průměrné hodnoty z naměřených dat a následně statisticky vyhodnoceny.

Tabulka 21 – Hydrostatická odolnost konkurenčních membrán

Vodní sloupec		[cm H ₂ O]		
		Porelle 540	Porelle PTFE	Gore-Tex
		92,8	253	290
		95,4	268	300
		101,2	260	298
		91,1	270	292
		102	260	298
Aritm. průměr		96,50	262,20	295,60
Sm.odchylka		4,91	6,87	4,34
Rozptyl		24,10	47,20	18,80
IS dol.m.		92,20	256,18	291,80
IS hor.m.		100,80	268,22	299,40
Var.koef.	%	4,55	2,34	1,31



Obrázek 24 – Graf hydrostatické odolnosti konkurenčních membrán

V grafu (obrázek 24) jsou pro porovnání znázorněny výšky vodního sloupce. Je z něj patrné, že membrány Gore-Tex a Porelle PTFE mají výrazně větší voděodolnost materiálu, než první vzorek membrány Porelle. Doporučená hodnota nepromokavosti je od 1300 mm, což Gore-Tex a Porelle PTFE splňují. První vzorek membrány Porelle dosáhl hodnoty jen 965 mm.

4.5.4 Výsledky tepelného odporu konkurenčních membrán

Tepelný odpor každého druhu membrány se vždy měřila desetkrát. V tabulce 22 jsou zaznamenány průměrné hodnoty z naměřených dat a následně statisticky vyhodnoceny.

Tabulka 22 - Tepelný odpor a tloušťka vzorků konkurenčních membrán

Alambeta		1 CLO = 0,155 m ² .K/W								
		Porelle 540			Porelle PTFE			Gore-Tex		
		r [m ² .K/W]	r [CLO]	h [mm]	r [m ² .K/W]	r [CLO]	h [mm]	r [m ² .K/W]	r [CLO]	h [mm]
		0,0022	0,0139	0,04	0,0053	0,0343	0,18	0,0083	0,0533	0,19
		0,0021	0,0137	0,04	0,0054	0,0347	0,18	0,0083	0,0533	0,19
		0,0022	0,0141	0,04	0,0056	0,0360	0,18	0,0082	0,0528	0,18
		0,0021	0,0134	0,04	0,0052	0,0337	0,18	0,0084	0,0540	0,19
		0,0021	0,0132	0,04	0,0054	0,0350	0,18	0,0082	0,0531	0,19
		0,0022	0,0139	0,04	0,0053	0,0343	0,18	0,0083	0,0535	0,19
		0,0022	0,0139	0,04	0,0055	0,0357	0,18	0,0079	0,0507	0,18
		0,0021	0,0137	0,04	0,0053	0,0344	0,18	0,0080	0,0515	0,19
		0,0021	0,0137	0,04	0,0052	0,0337	0,18	0,0082	0,0528	0,19
		0,0024	0,0156	0,04	0,0053	0,0343	0,18	0,0081	0,0524	0,19
Aritm. průměr		0,002	0,01	0,04	0,01	0,03	0,18	0,01	0,05	0,19
Sm. odch		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rozptyl		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
IS dol.m.		0,00	0,01	0,04	0,01	0,03	0,18	0,01	0,05	0,19
IS hor.m.		0,00	0,01	0,04	0,01	0,04	0,18	0,01	0,05	0,19
Var. koef	%	4,52	4,52	0,00	2,13	2,13	0,00	1,77	1,77	2,13

Nejvyšší tepelný odpor má membrána Gore-Tex a rovná se 0,05 CLO, membrány Porelle mají menší tepelný odpor při menší tloušťce.

4.6 Porovnání komfortních vlastností konkurenčních membrán

Tato část práce porovnává nanovláknennou membránu, slaminovanou s vhodným podkladovým materiálem, s konkurenční membránou s nejlepším výsledkem měřených komfortních vlastností. Z konkurenčních membrán byla vybrána mikroporézní membrána Gore-

Tex, která má nejlepší výsledky měření komfortních vlastností a také je i nejvíce propagovaná pro sportovní oblečení.

V tabulce 23 jsou výsledky měření zkoušek prodyšnosti, paropropustnosti, tepelné propustnosti a další vlastnosti membrán.

Tabulka 23 - Výsledky měření membrán

Měřené vlastnosti	Jednotky	Nanovláknenná membrána	Gore-Tex membrána	Porelle 540	Porelle PTFE
Prodyšnost	[l/m ² /s]	2,32	1,57	1,37	1,28
Paropropustnost	[%]	79,70	76,66	22,60	61,56
Výparný odpor	[Ret]	1,74	2,20	21,76	4,40
Hydrostatická odolnost	[cm H ₂ O]	1154,02	295,60	96,50	262,20
Tepelný odpor	[CLO]	0,07	0,05	0,01	0,03
Tloušťka	[mm]	0,28	0,19	0,04	0,18
Váha	[g/m ²]	76	56	48	100

NÁVRH EXPERIMENTU

Cíl: porovnání komfortních vlastností konkurenčních membrán pro sportovní rukavice

Odezva: paropropustnost, hydrostatická odolnost, prodyšnost

Faktory: sportovní rukavice (membrány pro sportovní rukavice)

H₀: paropropustnost, prodyšnost a hydrostatická odolnost nezávisí na hodnocené membráně

H_A: paropropustnost, prodyšnost a hydrostatická odolnost je závislá na hodnocené membráně

Použitý software: MS Excel

Jednofaktorová ANOVA

4.6.1 Vyhodnocení výparného odporu

Všechna naměřená data pocházejí z normálního rozdělení. Statisticky jsou vyhodnoceny jednofaktorovou analýzou rozptylu (ANOVA).

Na základě jednofaktorové analýzy rozptylu, viz tabulka 24, je zamítnuta nulová hypotéza a zároveň přijata alternativní. To znamená, že paropropustnost je závislá na hodnocené membráně.

Tabulka 24 – ANOVA výparného odporu

<i>Zdroj variability</i>	<i>SS</i>	<i>Rozdíl</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>F krit</i>
Mezi výběry	1371,114	3	457,0378	1238,585	3,81E-19	3,238872
Reziduální	5,904	16	0,369			
Celkem	1377,018	19				

Měřen byl výparný odpor. Jak již bylo zmíněno, musí mít výparný odpor co nejmenší hodnoty, aby byl materiál co nejvíce propustný pro páry. Z tabulky 23 je patrné, že nanovlákněná membrána dosahuje nejmenších hodnot výparného odporu – 1,74 Ret.

4.6.2 Vyhodnocení prodyšnosti

Všechna naměřená data pocházejí z normálního rozdělení. Statisticky jsou vyhodnoceny jednofaktorovou analýzou rozptylu (ANOVA).

Nulová hypotéza je zamítnuta dle jednofaktorové analýzy rozptylu, viz tabulka 25. Přijata je alternativní hypotéza, ze které vyplývá, že prodyšnost je závislá na hodnocené membráně.

Tabulka 25 – ANOVA prodyšnosti

<i>Zdroj variability</i>	<i>SS</i>	<i>Rozdíl</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>F krit</i>
Mezi výběry	3,321735	3	1,107245	170,8052	2,33E-12	3,238872
Reziduální	0,10372	16	0,006483			
Celkem	3,425455	19				

Vysoká prodyšnost není potřebná a je nežádoucí pro zimní oděvy. Tabulka 23 ukazuje, že prodyšnost membrán má skoro stejné hodnoty. Trochu vyšší prodyšnost má nanovlákněná membrána, ale všechny vzorky splňují požadovanou hodnotu do 10 l/m²/s.

4.6.3 Vyhodnocení hydrostatické odolnosti

Všechna naměřená data pocházejí z normálního rozdělení. Statisticky jsou vyhodnoceny jednofaktorovou analýzou rozptylu (ANOVA).

Na základě jednofaktorové analýzy rozptylu, viz tabulka 26, je zamítnuta nulová hypotéza a přijata alternativní. Hydrostatická odolnost je tedy závislá na hodnocené membráně.

Tabulka 26 – ANOVA hydrostatické odolnosti

<i>Zdroj variability</i>	<i>SS</i>	<i>Rozdíl</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>F krit</i>
Mezi výběry	3398487	3	1132829	1828,805	1,7E-20	3,238872
Reziduální	9910,988	16	619,4368			
Celkem	3408398	19				

Dle naměřených hodnot hydrostatické odolnosti jsou nejvyšší u nanovlákněné membrány (1154 cm H₂O). Membrána Gore-Tex má o 4krát nižší výsledek (296 cm H₂O) a membrány značky Porelle máji ještě menší hodnoty (262 a 97 cm H₂O).

Při porovnání nanovlákněné membrány s membránou od společnosti Gore-Tex na základě provedených zkoušek lze považovat za hůře hodnocenou membránu značky Gore-Tex. Tato membrána lépe obstála jen ve zkoušce prodyšnosti, ale v ostatních zkouškách ve srovnání s konkurenční nanovlákněnou membránou neobstála. Nanovlákněná membrána ukázala lepší výsledky paropropustnosti, výparného odporu, tepelného odporu a hlavně je největší rozdíl v hydrostatické odolnosti - 1154 proti 296 cm H₂O.

4.7 Shrnutí

Hlavním cílem experimentální části je nalezení vhodného podkladového materiálu pro laminování s nanovlákněnou membránou. Experimentální část práce je rozdělena do tří částí. První se zabývá výběrem vhodného podkladového materiálu pro laminace s nanovlákněnou membránou. Bylo důležité najít takový materiál, který by zlepšil hodnoty nanovlákněné membrány a aby byl hotový laminát vhodný k použití na výrobu zimních sportovních rukavic. Byly hodnoceny zkoušky na paropropustnost, prodyšnost a hydrostatická odolnost u dvou laminátů a byl vybrán laminát, ve kterém se paropropustnost se po laminaci s nanovlákněnou membránou změnila minimálně. Také se snižuje prodyšnost membrány a zvyšuje se její hydrostatická odolnost. Druhá část hodnotí komfortní vlastnosti konkurenčních výrobků. Hodnoceny jsou stejné zkoušky jako v první části. Ve třetí části jsou porovnány zhotovené lamináty s nanovlákněnou membránou s konkurenční membránou Gore-Tex. Výsledky jsou uvedeny v kapitole 4.6 a v tabulce 23 v experimentální části této diplomové práce.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byl vývoj laminátu s nanovláknennou membránou pro sportovní rukavice, především pro sjezdové lyžování při teplotě do $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Laminát by měl splňovat všechny požadavky komfortu, určené pro zimní oblečení a to dostatečnou větruodolnost, výšku vodního sloupce a maximální paropropustnost.

V úvodu teoretické části jsou popsány druhy membrán a uvedeni někteří výrobci. Dále je také popsána výroba a druhy laminátů. Velká pozornost byla věnována nanovláknenné membráně: technologie výroby nanovláken, nanosení voděodolné vrstvy na membránu a také byly porovnány vlastnosti polyamidu 6 s jinými materiály pro výrobu membrán.

V experimentální části diplomové práce je popsán samotný experiment, při kterém byl nalezen vhodný podkladový materiál. Bylo důležité najít takový materiál, který by zlepšil hodnoty nanovláknenné membrány a aby hotový laminát bylo vhodné použít na výrobu zimních sportovních rukavic. Bylo odebráno několik materiálů pro laminace, a dále byly hotové lamináty z těchto materiálů podrobeny laboratornímu měření na paropropustnost, větruodolnost, hydrostatickou odolnost, tepelný odpor a oděr. Doplnující zkouška byla zvolena na pevnost a tažnost materiálů. Na základě těchto výsledků laboratorních měření byl vybrán laminát, který má prodyšnost $2,3\text{ l/m}^2/\text{s}$, paropropustnost 80%, výparný odpor 1,7 Ret a hydrostatickou odolnost 1154 cm H_2O .

Druhá část experimentu hodnotí komfortní vlastnosti konkurenčních výrobků, abych mohla dále porovnat laminát vytvořený z nanomembrány s membránou od konkurenční firmy. Pro tento experiment byly proměřeny komfortní vlastnosti u třech membrán: Porelle PU, Porelle PTFE a Gore-Tex PTFE. Hodnoceny jsou stejné zkoušky jako v první části. Nejlepší výsledky na komfortní požadavky ukázala membrána od společnosti Gore-Tex: prodyšnost $1,6\text{ l/m}^2/\text{s}$, paropropustnost 77%, výparný odpor 2,2 Ret a hydrostatická odolnost 296 cm H_2O .

Ve třetí části experimentu je porovnáván zhotovený laminát s nanovláknennou membránou s konkurenční membránou Gore-Tex. Na základě provedených zkoušek lze považovat za hůře hodnocenou membránu značky Gore-Tex. Tato membrána lépe obstála jen ve zkoušce prodyšnosti, ale u ostatních zkoušek ve srovnání s konkurenční nanovláknennou membránou neobstála. Nanovláknenná membrána ukázala lepší výsledky paropropustnosti, výparného odporu, tepelného odporu a hlavně je největší rozdíl v hydrostatické odolnosti - 1154 proti 296 cm H_2O . Membrána Gore-Tex má o 4krát horší výsledek hydrostatické odolnosti.

Z výsledků provedených měření a zkoušek vyplývá, že vytvořený laminát s nanovlákenou membránou je svými vlastnostmi schopný plně konkurovat již zavedeným membránám.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] MACHÁČEK, Petr a HOTMAR, Jan. Svět outdooru: Víte co si oblékáte? [online]. 2007. Dostupné z: <<http://www.svetoutdooru.cz/clanek/?107711vite,-co-si-oblekate?-i>>.

[2] HES, Luboš a SLUKA, Petr. Úvod do komfortu textilií. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2005, 109 s. ISBN 80-708-3926-0.

[3] Časopis OUTDOOR GUIDE [online]. Dostupné z: <<http://outdoorguide.cz/>>.

[4] Materiál gore-tex® [online] [cit.2011-05-18]. Dostupné z: <http://www.goretex.cz/remote/Satellite?c=fabrics_cont_land_c&childpagename=goretex_cs_CZ%2Ffabrics_cont_land_c%2FFabricTechnologiesLandingSEO&cid=1183947839917&p=1183947842901&pagename=SessionWrapper>.

[5] Membrána Porelle [online]. Dostupné z:<<https://www.hudy.cz/materialy/p/porelle.html>>.

[6] Membrány Porelle [online]. Dostupné z: <<http://www.porellemembranes.com/en/microporous-membranes/>>

[7] Diaputex [online]. [cit. 2012-3-6]. Dostupné z: <www.diapex.com>.

[8] RŮŽIČKOVÁ, Jana. Elektrostatické zvlákňování nanovláken. Vyd. 1. V Liberci: Technická univerzita, 2004, 54 s. ISBN 80-708-3867-1.

[9] JIRSÁK, Oldřich a KALINOVÁ, Klára. Netkané textilie. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2003, 129 s. ISBN 80-708-3746-2.

[10] Charakteristika nanovláken, Elmarco.cz [online]. Dostupné z: <<http://www.elmarco.cz/technologie/nanovlakna/>>.

[11] RAMAKRISHNA, S., Fujihara, K., Teo, W., Lim, T., Ma, Z.: An introduction to electrospinning and nanofibers, Singapore, World Scientific Publishing Co.Pte.Ltd., 2005, ISBN 981-256-415-2 A

[12] MILITKÝ, J., Textilní vlákna. Klasická a speciální, Liberec, technická univerzita v Liberci, 2012, ISBN 978-80-7372-844-1

[13] NANOPROTEX: nanovláknenné membrány, [online].[citováno 5.3.2013] Dostupné z: <<http://www.nanoprotex.eu>>.

[14] EUROPLASMA: Voděodolná vrstva [online]. Dostupné z: <<http://www.europlasma.eu>>.

[15] Víte co si oblékáte I, 2007. MACHÁČEK, Petr. HOTMAR, Jan. Svetoutdooru.cz [online]. 2007. Dostupné z: <<http://www.svetoutdooru.cz/clanek/?107711-vite,-co-si-oblekate?-i>>.

[16] RŮŽIČKOVÁ, Dagmar. Oděvní materiály. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2003. ISBN 80-708-3682-2.

[17] SMITH, W.C., Smart textile coatings and laminates, Cambridge, Woodhead publishing limited, 2010, ISBN 978-1-84569-379-4

[18] Dvouvrstvý, třívrstvý a 2,5 vrstvý laminát, 2013. Highpoint.cz [online]. Dostupné z: <<http://www.highpoint.cz/rady-a-tipy/slovník-pojmu/dvouvrstvytrivrstvy-a-25-vrstvy-laminat.html>>.

[19] KNÍŽEK, Roman. Oděvy pro sportovní a outdoorové aktivity. Technická univerzita v Liberci, 2013.

[20] REC, Vlastimil, SMUTNÝ Jiří a HAMPL Miroslav. Podlepování součástí svrchních oděvů. 1. vyd. Praha: SNTL, 1991, 128 s. Technika a technologie spotřebního průmyslu. ISBN 80-030-0242-7.

[21] SHISHOO, R. Textiles in sport. 1st. published. Cambridge (England): Woodhead Publishing Limited, 2005. xiii, 364 s. ISBN 978-1-85573-922-2,185573-922-4.

[22] Prodyšnost a paropropustnost. Highpoint.cz [online]. ©2011 [cit. 201109-08]. Dostupné z: <<http://www.highpoint.cz/komunita/slovníkpojmu/prodysnost-paropropustnost.html>>.

[23] GAMISPORT: Ideální sportovní bunda-softshell [online]. Dostupné z: <<http://www.gamisport.cz/s/idealni-sportovni-bunda-softshell/>>

[24] HIGHTPOINT: Vodoodpudivost [online]. Dostupné z: <<http://www.highpoint.cz/slovník/vodoodpudivost.html>>

[25] SPORTOBCHOD: Jak vybrat snowboardové oblečení [online]. Dostupné z: <<http://www.sportobchod.cz/s/jak-vybrat-snowboardove-obleceni-561>>

[26] Vodní sloupec [online] [cit.2011-04-24]. Dostupné z: <<http://www.outdoor-shop.cz/slovník-pojmu/vodni-sloupec>>

[27] Svět outdooru [online]. [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: <<http://www.svetoutdooru.cz/clanek/?107716-vite,-co-si-oblekate?-ii>>.

[28] ČSN EN ISO 31092 (80 0819): Textilie - zjišťování fyziologických vlastností - měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám za stálých podmínek. Praha: Český normalizační institut, 1996. 16 s.

[29] ČSN 80 0855 (800855): Zjišťování relativní propustnosti vodních par plošnou textilií. Praha: Československá státní norma, 1976.

[30] Interní norma č. 23-303-01/01: Zjišťování stupně vlhkostní jímavosti textilií. Liberec: Výzkumné centrum Textil.

[31] ČSN EN ISO 9237: Textilie – Zjišťování prodyšnosti plošných textilií. Praha: Český normalizační institut, 1996.

[32] ČSN EN 20811 (800818): Textilie. Stanovení odolnosti proti pronikání vody. Zkouška tlakem vody Praha : Český normalizační institut, 1994. 16s.

[33] Kovačič, Vladimír. Kapitoly z textilního zkušebnictví. 1. vydání. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004. ISBN 80-7083-823-X.

[34] ČSN EN ISO 12945-2: Textilie - Zjišťování sklonu plošných textilií k rozvláknění povrchu a ke žmolkování – Část 2: Modifikovaná metoda Martindale. Praha: Český normalizační institut, 1999.

[35] ČSN EN ISO 12947- (2 - 4): Textilie - Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru metodou Martindale – Část 2: Zjišťování poškození vzorku. Praha: Český normalizační institut, 1999.

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Základní parametry polyamidu 6	18
Tabulka 2 - Kladné a záporné vlastnosti polyamidu 6.....	18
Tabulka 3 - Klasifikace propustnosti textilií pro vodní páry v obou jednotkách je dle stávajících norem ISO následující	26
Tabulka 4 - Přibližné hodnoty produkce zělesných výparů podle intenzity zátěže.....	27
Tabulka 5 - Ekvivalentní výšky vodního sloupce k různým činnostem.....	28
Tabulka 6 - Klasifikace propustnosti pro vodní páry	32
Tabulka 7 - Základní charakteristiky použitých materiál	38
Tabulka 8 – Měření prodyšnosti.....	42
Tabulka 9 – Měření paropropustnosti.....	43
Tabulka 10 – Měření výparného odporu	44
Tabulka 11 – Klasifikace paropropustnosti pro vodní páry dle stávající normy ISO 11092	44
Tabulka 12 – Hydrostatická odolnost.....	45
Tabulka 13 - Tepelný odpor a tloušťka vzorků	46
Tabulka 14 - Zkouška na oděr	47
Tabulka 15 - Měření tažnosti prvního materiálu	48
Tabulka 16 - Měření tažnosti druhého materiálu.....	49
Tabulka 17 – Popis zkoumaných konkurenčních membrán	50
Tabulka 18 – Měření prodyšnosti konkurenčních membrán.....	51
Tabulka 19 – Měření paropropustnosti konkurenčních membrán.....	52
Tabulka 20 – Měření výparného odporu konkurenčních membrán	53
Tabulka 21 – Hydrostatická odolnost konkurenčních membrán.....	54
Tabulka 22 - Tepelný odpor a tloušťka vzorků konkurenčních membrán	55
Tabulka 23 - Výsledky měření membrán	56
Tabulka 24 – ANOVA výparného odporu	57
Tabulka 25 – ANOVA prodyšnosti	57
Tabulka 26 – ANOVA hydrostatické odolnosti	58

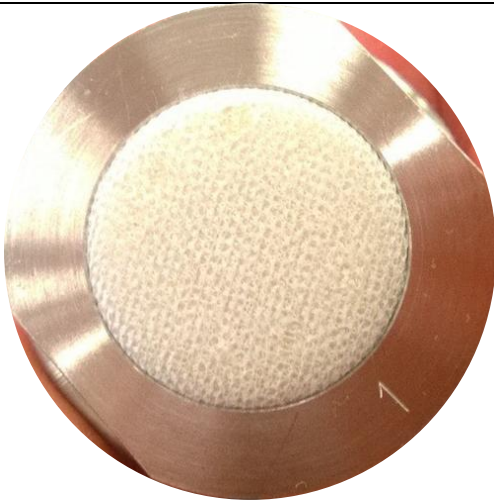

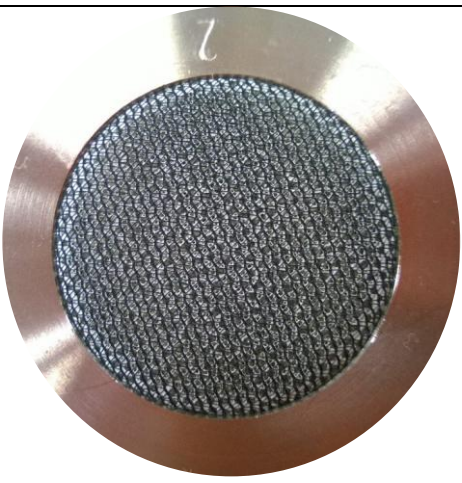
SEZNAM OBRÁZKŮ




Obrázek 1 - Proces elektrostatického zvlákňování.....	14
Obrázek 2 - Mikroporézní membrána	20
Obrázek 3 - Nanovláknenná membrána	20
Obrázek 4 - Přístroj pro nanosování voděodolné vrstvy	21
Obrázek 5 - Druhy laminátů	22
Obrázek 6 - Prostup vzduchu.....	27
Obrázek 7 - Zjednodušené měření hydrostatické odolnosti	28
Obrázek 8 – Přístroj Permetest	30
Obrázek 9 – Schéma přístroje Permetest	31
Obrázek 10 - Schéma měřicího přístroje Alambeta.....	34
Obrázek 11 – Přístroj SDL Atlas	35
Obrázek 12 – Přístroj Martindale	36
Obrázek 13 – Přístroj Testomtric	37
Obrázek 14 - Schéma laminacího přístroje.....	39
Obrázek 15 - Přístroj pro laminace mebrány.....	39
Obrázek 16 - Nanésení lepidla na válec. Proces laminace	39
Obrázek 17 – Graf prodyšnosti materiálů.....	42
Obrázek 18 – Graf paropropustnosti materiálů	43
Obrázek 19 – Graf hydrostatické odolnosti	45
Obrázek 20 – Graf pevnosti a tažnosti prvního materiálu	49
Obrázek 21 – Graf pevnosti a tažnosti druhého materiálu	50
Obrázek 22 – Graf prodyšnosti konkurenčních membrán.....	52
Obrázek 23 – Graf paropropustnosti konkurenčních membrán	53
Obrázek 24 – Graf hydrostatické odolnosti konkurenčních membrán	54

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Zjišťování odolnosti laminátů s nanovláknennou membránou v oděru.....	66
---	----

PŘÍLOHA 1 - Zjišťování odolnosti laminátů s nanovlákenou membránou v oděru

Počet otáček	Pohledy na jednotlivé vzorky
<i>Zkouška na oděr první vzorek</i>	
2500 otáček	
5000 otáček	
<i>Zkouška na oděr druhý vzorek</i>	
500 otáček	

1000 otáček		
2500 otáček		
5000 otáček	