TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní

Porovnání laminátů s hydrofilní membránou vhodných pro běh a podobné aktivity

Bakalářská práce

Studijní program: B3107 – Textil
Studijní obor: 3107R007 – Textilní marketing

Autor práce: **Jiří Smetana**
Vedoucí práce: Ing. Roman Knížek, Ph.D.

Liberec 2018

TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering

Comparison of laminates with a hydrophilic membrane suitable for running and similar activities

Bachelor thesis

Study programme: B3107 – Textil
Study branch: 3107R007 – Textile marketing

Author: **Jiří Smetana**
Supervisor: Ing. Roman Knížek, Ph.D.

Liberec 2018

Technická univerzita v Liberci
Fakulta textilní
Akademický rok: **2017/2018**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Jiří Smetana**
Osobní číslo:	**T15000167**
Studijní program:	**B3107 Textil**
Studijní obor:	**Textilní marketing**
Název tématu:	**Porovnání laminátů s hydrofilní membránou vhodných pro běh a podobné aktivity**
Zadávající katedra:	**Katedra hodnocení textilií**

Zásady pro vypracování:

1) Prostudujte problematiku v oblasti hydrofilních membrán ve spojitosti s textilními laminátky.
2) Na základě rešerše navrhněte experiment. Při výběru vlastností se zaměřte na vlastnosti s termofyzilogickým komfortem.
3) Vybrané vlastnosti porovnejte před a po pěti pracích cyklech.
4) Ze vzorků vytvořte snímky na rastrovacím mikroskopu.
5) Výsledky zhodnoťte.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Knížek R.: Oděvy pro sportovní a outdoorové aplikace, Technická univerzita v Liberci, Liberec 2013
Hes L., Sluka P: Komfort textilií, Technická univerzita v Liberci, Liberec 2005

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Roman Knížek, Ph.D.**
Katedra hodnocení textilií

Datum zadání bakalářské práce: **29. září 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **4. května 2018**

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

L.S.

Technická univerzita v Liberci
Fakulta textilní

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
vedoucí katedry

V *Liberci dne 9. dubna 2018*

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou 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 bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom 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.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

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

Datum: 4. 5. 2018

Podpis:

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Romanu Knížkovi, Ph.D. za odborné vedení mé kvalifikační práce, za poskytnuté textilní materiály, a za cennou pomoc a čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky.

Dále bych rád poděkoval paní Ing. Haně Pařilové, Ph.D., paní Ing. Janě Grabmüllerové a paní Ing. Haně Štočkové za odbornou pomoc při zpracování mé kvalifikační práce. Také bych rád poděkoval paní Bc. Vendule Smetanové a slečně Tereze Smetanové za pomoc při přípravě vzorků pro experiment.

Anotace

Záměrem této kvalifikační práce je porovnání textilních laminátů s neporézní hydrofilní membránou vhodných pro běh, a nalezení optimální kombinace jejich parametrů, s ohledem na požadavky termofyziologického komfortu běžce extrémních překážkových závodů.

Teoretická část krátce představuje sport extrémní překážkové závody a jeho odlišnosti od klasického běhu. Podrobněji se zaměřuje na komfort textilií, zásady vrstveného oblékání a popis významných fyzikálních parametrů textilií souvisejících s komfortem textilií. Dále je teoretická část zaměřena na druhy funkčních membrán určených pro outdoorové oblečení, a na způsoby laminace textilních membránových materiálů.

Experimentální část je zaměřena na laboratorní měření a porovnání vzorků konkrétních dvouvrstvých textilních laminátů s neporézní hydrofilní membránou, nalezení optimální kombinace parametrů jejich hydrostatické odolnosti, prodyšnosti a paropropustnosti, a to především s ohledem na požadavky termofyziologického komfortu běžce. Dále je experimentální část doplněna o snímky porovnávaných vzorků materiálů, zhotovené pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu.

Klíčová slova: běžecké oblečení, komfort textilií, vrstvené oblékání, membránový laminát, neporézní hydrofilní membrána, hydrostatická odolnost, prodyšnost, paropropustnost

Annotation

The abstract of this Bachelor´s thesis is focused on comparison of fabric laminates with non-porous hydrophilic membranes, which are suitable for jogging and finding the optimal combination of their parameters according to the requirements of thermophysiological comfort of runners in extreme obstacle races.

The theoretical part briefly presents the sport of extreme obstacle course racing and its difference compared to the jogging. This part deeply focuses on textile comfort, the principles of layered dressing and description of the important physical parameters of the textiles in relation to the comfort. This part also contains the types of functional membranes designated for outdoor clothing and methods of lamination of textile membrane materials.

The experimental part is focused on laboratory measurements and comparison of specific samples of the two-layer textile laminates with non-porous hydrophilic membrane, followed up by finding optimal combination of their parameters of hydrostatic resistance, breathability and water permeability, especially with the requirements of the thermophysiological comfort of the runner. This part includes pictures of compared material samples, which were made with a scanning electron microscope.

Keywords: running clothing, fabric comfort, layered clothing, membrane laminate, non-porous hydrophilic membrane, hydrostatic resistance, breathability, water vapor permeability

Obsah

Úvod 13

Teoretická část 14

1 Extrémní překážkové závody jako sport 14

2 Komfort 15

2.1 Komfort textilií 15

2.1.1 Komfort patofyziologický 15

3 Vrstvené oblékání 16

3.1 Transportní vrstva 17

3.2 Izolační vrstva 17

3.3 Ochranná vrstva 18

4 Hydrostatická odolnost, prodyšnost, paropropustnost, tepelný odpor, difuzní, kapilární a sorpční odvod vlhkosti 18

4.1 Hydrostatická odolnost 18

4.2 Prodyšnost 19

4.3 Paropropustnost 20

4.4 Tepelný odpor 21

4.5 Difuzní odvod vlhkosti 22

4.6 Kapilární odvod vlhkosti 22

4.7 Sorpční odvod vlhkosti 23

5 Membrány a jejich materiály 24

5.1 Mikroporézní hydrofobní membrány 25

5.1.1 Mikroporézní hydrofobní membrána GORE-TEX Active 26

5.2 Neporézní hydrofilní membrány 26

5.2.1 Neporézní hydrofilní membrána Sympatex 27

5.3 Mikroporézní nanovlákenné membrány 27

5.3.1 Mikroporézní nanovlákenná membrána NANOMEMBRANE 27

5.4 Membránové lamináty 28

5.4.1 Dvouvrstvý laminát 28

Experimentální část 29

6 Popis experimentu 29

6.1 Testované textilní materiály 30

6.1.1 Materiál A 30

6.1.2 Materiál B 31

6.1.3 Materiál C 32

6.1.4 Materiál D 32

6.1.5 Metoda simulované údržby textilie 33

7 Testování vybraných vlastností 34

7.1 Měření tloušťky 34

7.1.1 Hodnoty tloušťky 35

7.1.2 Vyhodnocení tloušťky 35

7.2 Měření plošné hmotnosti 37

7.2.1 Hodnoty plošné hmotnosti 37

7.2.2 Vyhodnocení plošné hmotnosti 38

7.3 Měření tepelného odporu 39

7.3.1 Hodnoty tepelného odporu 40

7.3.2 Vyhodnocení tepelného odporu 40

7.4 Měření prodyšnosti 41

7.4.1 Hodnoty měření prodyšnosti 42

7.4.2 Vyhodnocení prodyšnosti 42

7.5 Provedení spray testu 42

7.5.1 Hodnoty spray testu 44

7.5.2 Vyhodnocení spray testu 45

7.6 Měření hydrostatické odolnosti 46

7.6.1 Hodnoty hydrostatické odolnosti 47

7.6.2 Vyhodnocení hydrostatické odolnosti 48

7.7 Měření paropropustnosti 49

7.7.1 Hodnoty výparného odporu 50

7.7.2 Vyhodnocení výparného odporu 51

8 Snímkování testovaných materiálů na rastrovacím elektronovém mikroskopu 53

8.1 Materiál A 54

8.1.1 Podélné a příčné snímky materiálu A 54

8.2 Materiál B 56

8.2.1 Podélné a příčné snímky materiálu B 56

8.3 Materiál C 58

8.3.1 Podélné a příčné snímky materiálu C 58

8.4 Materiál D 60

8.4.1 Podélné a příčné snímky materiálu D 60

8.5 Vyhodnocení tloušťky membrány 61

9 Závěr 63

Seznam použité literatury 66

Seznam obrázků 67

Seznam tabulek 68

Seznam příloh 69

Přílohy 70

Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratka	Název	Jednotka
AATCC	American Association of Textile Chemists and Colorists	
CO^2	oxid uhličitý	
KHT	Katedra hodnocení textilií	
KMI	Katedra materiálového inženýrství	
KOD	Katedra oděvnictví	
Mesh	parametr laminace - počet bodů pojiva na úhlopříčku anglického palce	
MVTR	rychlost prostupu vodní páry (Moisture Vapor Transmission Rate)	[g/m^2/24 hod]
OCR	extrémní překážkové závody (Obstacle Course Racing)	
PA 6	polyamid 6	
PE	polyetylen	
PFC	fluorokarbon	
PL	polyester	
PTFE	polytetrafluoretylen	
PU	polyuretan	
Ret	výparný odpor	[$Pa \cdot m^2 \cdot W^{-1}$]
TUL	Technická univerzita v Liberci	
Z-liner	způsob laminace membránového laminátu	

Úvod

Oblečení, určené pro sportovní outdoorové aktivity, musí kromě nároku na vhodné designové a konstrukční zpracování splňovat také především funkci ochrany před povětrnostními vlivy, a to za předpokladu současného zachování co nejlepších podmínek termofyziologického komfortu nositele. Moderní svrchní oděvy, vyhovující posledním trendům, jsou vybavené funkční membránou různého typu. Tyto funkční oděvy musí prokázat výborné vlastnosti při ochraně člověka před vnějšími povětrnostními vlivy, jako je například déšť nebo vítr. Pro zvýšení komfortu uživatele jsou klíčové nejen parametry hydrostatické odolnosti a prodyšnosti, ale také parametry paropropustnosti.

Cílem této kvalifikační práce je řešení výběru vhodného membránového laminátu určeného pro výrobu lehkého svrchního sportovního oblečení pro běžce extrémních překážkových závodů. Vhodnost k použití je zaměřena zejména na hlediska termofyziologického komfortu. Při porovnání vybraných textilních materiálů byl tedy kladen důraz převážně na paropropustnost, hydrostatickou odolnost, odolnost vůči smáčení povrchu textilie a prodyšnost. Pro hodnocení byly vybrány membránové lamináty s neporézní hydrofilní membránou. Tyto membránové lamináty se vyznačují nižší výrobní cenou, a jsou vhodné pro výrobu svrchního oblečení pro běžecké aktivity. Měly by tedy postačit k výrobě levnější alternativy funkčního běžeckého oblečení.

V této kvalifikační práci byly porovnány komfortní vlastnosti vybraných dvouvrstvých textilních laminátů s neporézní hydrofilní membránou, a bylo učiněno doporučení pro výběr nejvhodnějšího laminátu pro výrobu lehkého běžeckého oblečení. Bylo objasněno, proč je jaká komfortní vlastnost důležitá, a jakým způsobem a na jakých přístrojích se testuje.

Teoretická část

1 Extrémní překážkové závody jako sport

Extrémní překážkové závody, anglicky Obstacle Course Racing (OCR), jsou poměrně mladým sportem, ve kterém soutěžící běžci absolvují běh v těžkém terénu a překonávají na vytyčené trati, rozličné fyzicky náročné terénní a umělé překážky ve formě, přelezů, šplhů, výstupů a sestupů.

Nezřídka trať vede kopcovitým terénem nebo extrémním horským terénem, a vždy s dostatkem terénních překážek ve formě bahnitých cest a vodních překážek. Extrémní překážkové závody jsou pořádány i jako industriální závody v rámci městských aglomerací a továren, nebo v militárním duchu, například v bývalých vojenských lokalitách.

Do závodů se obvykle přihlašují muži i ženy ve věku 15-60 let různé fyzické kondice, výjimkou ale nejsou ani starší běžci. Dětské závody bývají vypisovány pro děti ve věku 4-14 let. A je třeba zdůraznit, že na trati není nikdo šetřen nebo zvýhodňován, na což při závodě dohlížejí pořadatelé. Záběry z extrémních překážkových závodů jsou na obrázku 1.

Obrázek 1: Záběry z extrémních překážkových závodů

Závody se běhají za různých klimatických podmínek. Běžec se tedy za sezónu setkává se závody, kde panuje nádherné letní počasí s teplotami okolo 30 °C a s nízkou relativní vlhkostí vzduchu. Se závody v jarních a podzimních klimatických podmínkách s teplotami okolo 10 °C, kde panuje chladnější počasí s vyšší relativní vlhkostí vzduchu, a kde je potřeba počítat s mrholením nebo deštěm a samozřejmě i s vodními překážkami. A dále se závody s ryze zimními teplotami vzduchu, které klesají i pod bod mrazu a bývají doprovázeny sněhovými přeháňkami. Pořadatelé jednotlivé závody přizpůsobují aktuálním teplotním a

povětrnostním podmínkám, takže například ryze vodní překážky, jako jsou plavání a brodění do zimních závodů zařazeny nejsou.

2 Komfort

Komfort můžeme zjednodušeně definovat jako absenci znepokojujících a bolestivých vjemů. Komfort vnímáme všemi lidskými smysly kromě chuti, a to v tomto pořadí podle důležitosti: hmat, zrak, sluch, čich. Komfort rozdělujeme na psychologický, senzorický, termofyziologický a patofyziologický. [1]

V případě diskomfortu nastává u člověka pocit chladu nebo tepla. Pocit tepla se dostavuje při výkonu práce nebo při působeni teplého klima. Pocit chladu se dostavuje jako reakce na nízkou teplotu klima nebo nízké pracovní zatížení.

2.1 Komfort textilií

V lidském organismu dochází k procesu termoregulace neustále. Stav termofyziologického komfortu v organismu člověka nastává při teplotě pokožky 33-35 °C, za předpokladu nepřítomnosti vody na pokožce, při relativní vlhkosti vzduchu v rozmezí 50 ±10 % a rychlosti proudění vzduchu 25 ±10 $cm \cdot s^{-1}$. Optimální hodnoty komfortu významně ovlivňuje druh materiálů použitých při výrobě oděvů. Podle výše zmíněných hodnot můžeme shledat, že člověk se cítí komfortně pouze v poměrně úzkém rozsahu co se teploty, relativní vlhkosti a proudění vzduchu týká. Je tedy vždy potřeba dle klimatických a dalších podmínek správně volit oděv tak, aby se člověk cítil komfortně. [2]

2.1.1 Komfort patofyziologický

Pocit komfortu při nošení oděvu je ovlivněn také působením patofyziologicko-toxických vlivů. Jedná se o působení chemických látek obsažených v materiálu, ze kterého byl oděv vyroben, a také z mikroorganismů, které se vyskytují na pokožce člověka. Působení patofyziologických vlivů je závislé na odolnosti lidské pokožky proti účinkům chemických látek obsažených v textilii a na podmínkách růstu kultur mikroorganismů vyskytujících

se v mikroklimatu mezi povrchem lidského těla a textilií. Působením oděvu na pokožku může dojít až k vyvolání kožního onemocnění – takzvané dermatózy. [1]

Dermatóza bývá způsobena:

- drážděním (jedná se o fyzikálně-chemický jev, a lze jej vyvolat u každého jedince),
- alergií (jedná se o individuální imunologický jev – ten je zapříčiněn kontaktem s alergenem).

Otázku vzájemné interakce lidského organismu a oděvu je třeba řešit a produkovat oděvní výrobky s minimální dráždivostí pokožky a současně s maximální antimikrobiální účinností.

3 Vrstvené oblékání

Systém vrstveného oblékání představuje efektivní způsob, jak v náročných klimatických podmínkách udržet lidské tělo v optimálním tepelném komfortu a bez známek podchlazení nebo přehřátí. Systém vrstveného oblékání je ve své podstatě založen na vhodné kombinaci materiálů o rozdílných vlastnostech. Nelze proto změnit pořadí jednotlivých vrstev oděvu, jelikož by v tomto případě došlo k narušení celého efektu vrstveného oblékání. Tento systém je založen především na udržování takzvaného mikroklima těla. Pokud dojde k významné ztrátě tepla nebo k přehřátí, jsou v těle člověka spuštěny procesy, které vedou k obnovení rovnováhy a tak zajištění optimálního tělesného mikroklima. Celý tento proces vyžaduje od organizmu člověka vysokou spotřebu energie. Systém vrstveného oblékání by proto měl být z tohoto důvodu optimálně využíván, a to především vzhledem k počasí a vzhledem ke stupni pohybové zátěže. Moderní systém vrstveného oblékání se skládá ze tří výchozích vrstev. Těmito vrstvami jsou: vrstva transportní, izolační a ochranná. Každá z těchto vrstev funguje jako specifický ochranný prvek proti nepříznivému vlivu počasí. [2]

Klíčové u vrstveného oblékání je dodržení správného pořadí funkčních vrstev, tak aby došlo ke vzájemnému propojení všech vrstev do funkčního celku. Proto by uživatelé funkčního oblečení měli být náležitě obeznámeni s problematikou vrstveného oblékání. Jednotlivé vrstvy vrstveného oblékání jsou na obrázku 2.

Obrázek 2: Vrstvené oblékání [3]

3.1 Transportní vrstva

Jedná se o nejspodnější vrstvu oblečení, přiléhající těsně na tělo. Má za úkol odvádět tělesnou vlhkost od pokožky, a tím bránit ochlazení nebo přehřátí v důsledku fyzické aktivity. Transportní vrstva se vyrábí z materiálů a typů vláken, které vlhkost nezachycují, ale odvádí. Tato vrstva se někdy označuje jako termoprádlo. [2]

Funkcí transportní vrstvy je tedy udržovat suché a pohodlné mikroklima v blízkosti lidské pokožky, a toto je realizováno odvodem vlhkosti směrem od pokožky skrz povrch textilního materiálu. [2]

3.2 Izolační vrstva

Hlavní funkcí izolační vrstvy je udržet teplotu akumulací tělesného tepla. Současně ale musí vrstva splňovat podmínku paropropustnosti, tedy musí být schopna odvádět vyprodukovanou vlhkost a přebytečné teplo směrem od těla. V opačném případě by se produkované teplo hromadilo v oděvu v podobě potu, a ten by v důsledku tělo ochlazoval. Izolační vrstva se vyrábí z různých druhů umělých vláken, která mají schopnost odvádět tělesnou vlhkost a zároveň si zachovávají dobré izolační vlastnosti. Pro tuto vrstvu se používají např. fleecové materiály různých gramáží a povrchových úprav. [2]

Funkcí vrstvy je poskytování dostatečného tepla, v případě, že transportní a svrchní vrstva neposkytuje dostatečnou tepelnou ochranu. Realizace je prováděna pomocí zachytávání velmi malých částic vzduchu, což v důsledku vede ke zpomalení ztráty tepla. [2]

3.3 Ochranná vrstva

Poslední (svrchní) vrstva chránící tělo před vlivy počasí se nazývá ochranná vrstva. Tato vrstva musí zachovávat vlastnosti spodních vrstev. Ochranná vrstva musí být nepromokavá, aby bránila promočení spodních vrstev, ale zároveň musí být paropropustná, aby zabránila hromadění potu v rámci izolační vrstvy. Navíc musí tato vrstva splňovat i odolnost vůči větru, aby tak bránila úniku tělesného tepla v důsledku proudění okolního vzduchu. [2]

Funkcí této vrstvy je poskytování ochrany proti větru, dešti nebo sněhu, aniž by ale docházelo ke kondenzaci par (potu) uvnitř oblečení. Realizace je prováděna poskytnutím zábrany proti vodě a větru, ale současným umožněním průchodu vodních par směrem ven. [2]

Právě na hodnocení materiálu pro výrobu sportovního oblečení jako ochranné svrchní vrstvy bude dále podrobněji zaměřena tato kvalifikační práce.

4 Hydrostatická odolnost, prodyšnost, paropropustnost, tepelný odpor, difuzní, kapilární a sorpční odvod vlhkosti

4.1 Hydrostatická odolnost

Voděodolnost, neboli hydrostatickou odolnost lze definovat jako odolnost textilie proti tlaku vody působící na povrch textilie z vnější strany oděvu. Měření hydrostatické odolnosti provádíme u textilních výrobků, od kterých požadujeme, aby nepropustily vodu. Hydrostatická odolnost se pro zjednodušení uvádí jako výška vodního sloupce. V laboratoři se hydrostatická odolnost měří na přístroji, a hodnota tlaku se poté, pro lepší orientaci, převádí na výšku vodního sloupce. Vodní sloupec je ale pouze pomocný údaj, jenž vyjadřuje schopnost materiálu odolat určitému hydrostatickému tlaku. Čím je naměřený údaj výšky

vodního sloupce vyšší, tím je materiál vůči propuštění vody odolnější. Měření je založeno na postupně se zvyšujícím tlaku destilované vody vyústěné pod testovanou textilií o dané ploše. Vzrůst tlaku je ukončen, když se na povrchu testované textilie objeví první tři místa, ze kterých prolínají kapky vody. Pro měření hydrostatické odolnosti lze použít například přístroj *SDL M018*.

Zjednodušené měření hydrostatické odolnosti je na obrázku 3. Na měřený materiál se přiloží skleněný válec o průměru 100 mm, který se postupně plní vodou. Sloupec vody ve válci působí tlakem na materiál, po průsaku prvních tří kapek je určena hodnota hydrostatické odolnosti. Za nepromokavé označujeme oblečení z materiálů s hodnotou výšky vodního sloupce od 1 300 mm. Tato hodnota postačuje k zajištění nepromokavosti při běžném dešti. Volně dopadající déšť tedy působí podobně jako 1 300 mm výšky vodního sloupce. [2]

Obrázek 3: Ukázka zjednodušeného zkoušení hydrostatické odolnosti [2]

Při konstrukci oblečení s předpokládanými vyššími nároky na hydrostatickou odolnost je v některých případech potřeba počítat s možností výskytu takzvaného klínového efektu. Klínový efekt vzniká například pod popruhy batohu nebo při pádu do vlhkého sněhu. Voda v těchto případech proniká do oblečení tak, jako kdyby v ten okamžik docházelo k působení tlaku až 20 000 mm výšky vodního sloupce. [2]

4.2 Prodyšnost

Prodyšnost definujeme jako prostup vzduchu z vnějšího prostředí skrz oděvní systém směrem k pokožce člověka. Pokud je oděv dostatečně propustný, a pokud je vzduch

vnějšího prostředí chladnější, lze významnou část tepla, produkovanou při fyzickém zatížení, odvést z oděvního systému ventilací. Vysokou prodyšnost oděvu využijeme zejména u letních sportovních oděvů, tam je tato vlastnost považována za přínosnou. Naproti tomu je vysoká prodyšnost nežádoucí například u zimního oblečení, které je vystaveno účinku chladného vzduchu. [1]

U spodního prádla, trika nebo svetru je potřebné, aby byly prodyšné, ale nežádoucí je, aby byla prodyšná vrchní bunda či kalhoty. Tak by mohlo dojít, například v chladném počasí nebo při silném a studeném větru, k přestupu chladného vzduchu k pokožce, což by mohlo ohrozit zdraví nositele. [2]

K měření propustnosti textilií pro vzduch lze využít přístroj *TEXTEST FX 3300*, který měří prodyšnost na principu vytvoření tlakového rozdílu mezi oběma stranami zkoušené textile, a následného změření takto vyvolaného průtoku vzduchu. Plocha zkoušené textile může činit 5-100 cm^2 – obvykle 20 cm^2. Tlakový rozdíl vytvořený mezi oběma povrchy zkoušené textile je nastavitelný – obvykle se volí tlak o hodnotě 100 Pa. Propustnost vzduchu vyjadřujeme v [$l/m^2/s$]. [1]

4.3 Paropropustnost

Paropropustnost definujeme jako prostup vodní páry skrz oděvní systém, tedy přes spodní prádlo, triko, svetr nebo bundu směrem od pokožky do vnějšího prostředí. Jedná se tedy o schopnost textilie propouštět vlhkost, produkovanou organismem ve formě vodní páry. Platí, že všechny vrstvy oblečení musí být paropropustné, pokud se má nositel cítit v oděvu komfortně. [2]

Vlastnost materiálu převádět vodní páru do vnějšího prostředí udává parametr MVTR (Moisture Vapor Transmission Rate). MVTR se udává v [$g/m^2/24$ hod], a vyjadřuje, kolik vlhkosti v gramech projde materiálem o ploše 1 metr čtvereční za čas 24 hodin. Čím je hodnota vyšší, tím je materiál paropropustnější. [2]

Dalším možným údajem vyjadřujícím paropropustnost, je hodnota výparného odporu Ret [Pa·m^2·W^{-1}]. Oproti MVTR zde naopak platí, že čím menší hodnota Ret (menší odpor), tím je měřený materiál paropropustnější. [1]

Měření paropropustnosti pomocí metody MVTR je v současnosti nahrazováno objektivnější metodou Ret, jelikož měření pomocí metody MVTR nerespektuje teplotu a vlhkost vzduchu, takže naměřené hodnoty MVTR mohou být výrazně zkresleny. [2]

Příklad klasifikace paropropustnosti materiálů v jednotkách Ret/MVTR: [2]

Ret < 6	velmi dobrá	nad 20 000 g/m^2/24 hod
Ret = 6 až 13	dobrá	20 000 až 9 000 g/m^2/24 hod
Ret = 13 až 20	uspokojivá	9 000 až 5 000 g/m^2/24 hod
Ret > 20	neuspokojivá	pod 5 000 g/m^2/24 hod

Měření výparného odporu lze provádět na přístroji *PERMETEST*, který umožňuje nedestruktivní měření, tedy není potřeba z oděvu vyřezávat vzorek určitých rozměrů. Tento přístroj je založen na přímém měření tepelného toku. Porézní povrch hlavice je zvlhčován, čímž se simuluje funkce ochlazování těla pocením. Na povrch hlavice je přiložen přes separační folii vzorek určený k měření. Vnější strana vzorku je ofukována. Při měření výparného odporu je měřicí hlavice přístroje *PERMETEST* udržována pomocí elektrického vyhřívání a regulátoru na teplotě okolního nasávaného vzduchu (obvykle 20-23 °C). Tímto jsou zajištěny izotermické podmínky měření. Při měření se vlhkost v porézní vrstvě mění v páru, která přes separační fólii prochází vzorkem. Příslušný výparný tepelný tok je změřen snímačem, a jeho hodnota je přímo úměrná paropropustnosti textilie nebo nepřímo úměrná jejímu výparnému odporu. V obou případech se nejprve měří tepelný tok bez vzorku a poté se vzorkem umístěným v přístroji. Přístroj vždy zaznamená odpovídající tepelné toky. [1]

4.4 Tepelný odpor

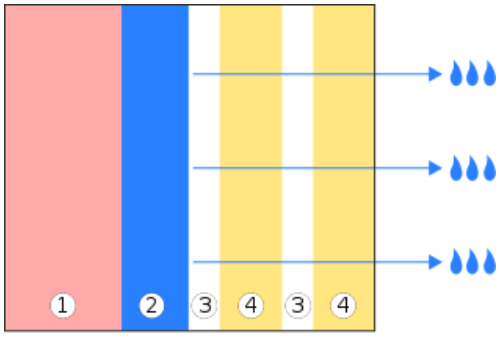
Tepelný odpor vyjadřuje odpor proti prostupu tepla vzorkem při definované teplotě jeho jedné strany, a při přenosu tepla konvekcí z jeho druhé (vnější) strany do vzduchu o určité teplotě. Samotný tepelný odpor této vnější mezní strany je potřeba odečíst. Měření probíhá

na přístroji *ALAMBETA* v takzvaném suchém režimu (tedy bez vlhčení vzorku). Stanovená hodnota tepelného odporu pro textilie je však pouze přibližná, protože se odečítá tepelný odpor platící pro hladký měřicí povrch, kdežto povrch skutečné textilie je drsný a proto odlišný. Tento postup se i přesto pro měření používá.

4.5 Difuzní odvod vlhkosti

Difuzí rozumíme proces rozptylování vlhkosti v prostoru. Tento proces je přirozenou vlastností látek – částice se rozptylují do celého prostoru, kterého mohou dosáhnout, až postupně ve všech částech prostoru vyrovnají svou koncentraci. Vlhkost má tedy tendenci přecházet z prostředí s vyšší koncentrací vlhkosti do prostředí s koncentrací nižší. Tento proces probíhá bez nutnosti dodávky jakékoliv energie. [2]

Difuzi lze definovat jako prostup vlhkosti z povrchu pokožky směrem do vnějšího prostředí skrz oděvní systém (systém pórů). Čím delší a užší pór se nachází ve struktuře textilie, tím je vyšší difuzní odpor. Každá část oděvu, a také jednotlivé vzduchové mezivrstvy mezi jednotlivými částmi oděvu, vytváří určitý difuzní odpor. Difuzní odpor těchto jednotlivých částí oděvu a mezivrstev se sčítají. Na obrázku 4 je znázorněn prostup vlhkosti z povrchu pokožky skrz oděvní systém do vnějšího prostředí. [2]



1 – povrch pokožky lidského těla, 2 – pot na povrchu pokožky, 3 – vzduchová mezivrstva, 4 – vrstva oděvu

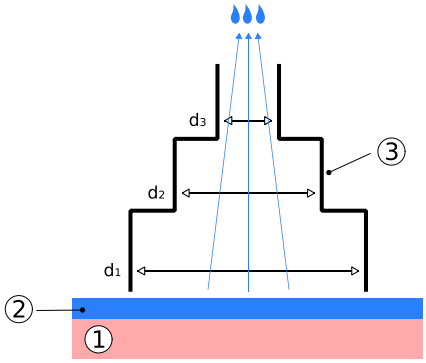
Obrázek 4: Prostup vlhkosti z povrchu pokožky skrz oděvní do vnějšího prostředí [2]

4.6 Kapilární odvod vlhkosti

Tento způsob odvodu vlhkosti spočívá v odsávání potu v kapalném stavu první textilní vrstvou a jejími kapilárami vzlíná do její plochy všemi směry, nebo je přenášen do dalších

vrstev oděvu (v tomto případě se pak jedná o takzvaný knotový efekt). Kapilární odvod vlhkosti je dále závislý zejména na smáčecí schopnosti textilie, jejím materiálu, průřezu a zákrutu použitých vláken, a dále na povrchovém napětí vláken a potu samotného.

Pro zvýšení kapilárního tlakového rozdílu se u spodního prádla používají několikavrstvé úplety s takzvaným „stromovým efektem". V těchto úpletech je využíváno až třech vrstev vytvořených z hydrofobních vláken, přičemž ekvivalentní průměr kapilár je v každé vrstvě různý. Ve vrstvě, která je v kontaktu s pokožkou je tento průměr nejvyšší, a směrem k vnějšímu prostředí se průměr kapilár snižuje – tím se vytváří tlakový spád, který kapalnou vlhkost uvádí do pohybu a transportuje ji směrem od pokožky těla. Tomuto principu se říká „stromový efekt", a je znázorněn na obrázku 5. Aby vlhkost přestoupila od pokožky do v podstatě hydrofobní kontaktní vlákenné vrstvy, musí také zároveň působit vhodná dynamická síla, vytvořená například vibracemi oděvu při tělesném pohybu, nebo musí být kontaktní povrch chemicky aktivizován smáčedlem s vhodnou povrchově aktivní látkou. [1]

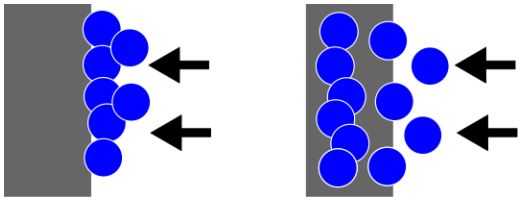


1 – povrch pokožky lidského těla, 2 – pot na povrchu pokožky, 3 – pór třívrstvého úpletu

Obrázek 5: Odvod vlhkosti pomocí principu „stromového efektu"

4.7 Sorpční odvod vlhkosti

Sorpci lze obecně definovat jako interakci pevného prostředí s prostředím kapalným nebo plynným. V případě usazování částic na rozhraní fáze, je tento děj nazýván adsorpce. Jestliže jednotlivé částice první fáze pronikají do hloubky druhé fáze, tak tento děj nazýváme absorpce. Na obrázku 6 je znázorněn rozdíl mezi adsorpcí a absorpcí.



Obrázek 6: Rozdíl mezi adsorpcí a absorpcí

Na levé části obrázku je vidět, že se částice na povrchu sorbentu pouze shromažďují (adsorbují), na pravé části obrázku již částice pronikají dovnitř sorbentu (absorbují).

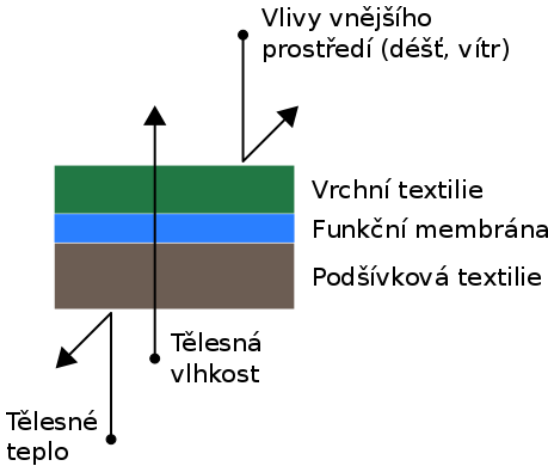
Sorpční odvod vlhkosti bývá v případě textilií založen na chemickém principu a je podmíněn použitím textilie alespoň částečně obsahující sorpční vlákna. Tato vlákna jsou schopna navázat vlhkost na svá sorpční centra a vtáhnout molekuly kapaliny do své struktury. Předpokladem pro vznik sorpčního procesu je průnik vlhkosti nebo kapalného potu do mezimolekulárních oblastí ve struktuře vlákna a jeho následné navázání na hydrofilní skupiny v molekulové struktuře. [1]

Sorpce je nejpomalejším způsobem odvodu kapalné vlhkosti. Spolu s ní se transportu vlhkosti účastní současně ještě i mechanismy difuzního a kapilárního odvodu vlhkosti. [1]

5 Membrány a jejich materiály

V textilním průmyslu membránu definujeme jako speciální tenkou funkční vrstvu, jejíž tloušťka se v závislosti na účelu použití pohybuje řádově v mikrometrech, a je vytvořena nejčastěji z polymerního vlákenného materiálu PTFE, PL nebo PU.

Membrána má za úkol zajistit tři základní funkce, které významně zvyšují komfort. Těmito funkcemi jsou voděodolnost (nepromokavost), odolnost proti větru (prodyšnost) a paropropustnost. S ohledem na vlhkost je tedy úkolem funkční membrány nepropustit vodu z vnějšího prostředí, ale naopak umožnit prostup vodních par od pokožky těla směrem do vnějšího prostředí. Právě z důvodu funkce paropropustnosti, která má zásadní vliv na zvýšení komfortu, je membrána využívána výrobci outdoorového oblečení. Jednotlivé funkce a umístění membrány samotné v oděvu jsou znázorněny na obrázku 7. [2]



Obrázek 7: Schematický příčný řez membránovým laminátem s vyznačením funkčních vlastností [2]

Zásadní nevýhodou samotné membrány je její nižší odolnost proti mechanickému namáhání a její možné odlišné mechanické chování oproti textilii oděvu, jehož součástí má být. Z tohoto důvodu se pro řešení tohoto problému používá takzvaná laminace, která je podrobněji popsána v kapitole 5.4.

V dnešní době se na trhu můžeme setkat se dvěma základními druhy membrán, a to s mikroporézní hydrofobní membránou a s neporézní hydrofilní membránou.

5.1 Mikroporézní hydrofobní membrány

Mikroporézní hydrofobní membrány se vyznačují tím, že mají ve své struktuře velké množství mikroskopických pórů, které jsou svým průměrem prostupné pro molekuly vodní páry, ale pro kapky vody jsou příliš malé. Mikroporézní hydrofobní membrány tedy fungují na principu poměru velikosti pórů vůči velikosti molekuly vodní páry a vůči kapky vody. Póry těchto membrán jsou zhruba 20 000 krát menší než kapka vody a současně až 700 krát větší než molekula vodní páry, což znamená, že membrána propustí vodní páru, ale samotnou kapku vody již nikoliv. Velikost jednotlivých pórů se pohybuje v desetinách mikrometrů. Mikroporézní hydrofobní membrány tak dosahují vysokých hodnot paropropustnosti a výšky vodního sloupce, a z tohoto důvodu jsou velmi vhodné pro použití ve sportovních a outdoorových oděvech. [2]

Mezi významné mikroporézní hydrofobní membrány patří například membrána *GORE-TEX* a dále také inovativní nanovlákenná membrána *NANOMEMBRANE*.

5.1.1 Mikroporézní hydrofobní membrána GORE-TEX Active

Membrány *GORE-TEX* patří obecně mezi nejznámější zástupce mikroporézních hydrofobních membrán. Tyto membrány jsou vyráběny z fólie polytetrafluoretylenu (PTFE). Mechanickým natažením vznikají v této původně neprodyšné fólii četné mikrotrhliny. Tímto způsobem vznikne membrána s velkým množstvím mikropórů (přes 1,4 miliardy na centimetr čtvereční). Výrobce následně vylepšuje vlastnosti membrány tím, že přímo na membránu nanáší tenký film oleofobní látky – polyuretanu (PU), který má za úkol chránit póry před zanášením nečistotami.

GORE-TEX Active je třívrstvý membránový laminát určený pro outdoorové výrobky. Tento laminát má výborné hodnoty paropropustnosti, prodyšnosti a odolnosti proti dešti. Dále vyniká výslednou nízkou hmotnost hotových výrobků (u výrobků *GORE-TEX Active* se celková hmotnost hotového výrobku pohybuje do 400 gramů). Materiál má podle výrobce dobrou mechanickou odolnost, nepromokavost a vysokou prodyšnost $Ret < 3\ Pa \cdot m^2 \cdot W^{-1}$. V rámci produktu *GORE-TEX Active* je použita tenčí membrána integrovaná přímo do podšívky. Podšívka vyniká rychlostí odvodu potu. Výrobky řady *GORE-TEX Active* jsou vhodné pro běh, cyklistiku nebo pro lyžařské sporty. [4]

5.2 Neporézní hydrofilní membrány

S neporézními hydrofilními membránami se na trhu setkáváme častěji, důvodem je jejich méně náročná výroba a tím i nižší výrobní cena. Na rozdíl od mikroporézních hydrofobních membrán je povrch hydrofilních membrán neporézní a homogenní. Neporézní hydrofilní membránou se vlhkost šíří celou strukturou materiálu a dále prostupuje materiálem membrány až na její povrch, kde se odpařuje. Pot z vnitřní strany membrány je rozváděn do vlastního materiálu membrány a chemicky transportován na vnější stranu povrchu membrány. Nevýhodou neporézních hydrofilních membrán je oproti mikroporézním hydrofobním membránám nulový přenos plynů a horší parametry paropropustnosti.

Výhodou neporézní hydrofilní membrány je její dobrá voděodolnost, minimální zanášení nečistotami. Dále také lepší možnosti elasticity, kterých dosahuje díky vlastnostem polymeru polyuretanu (PU), který je k výrobě těchto membrán převážně používán.

Mezi významné neporézní hydrofilní membrány patří například membrány *Sympatex, Dermizax, Gelanots* nebo *BlocVent.*

5.2.1 Neporézní hydrofilní membrána Sympatex

Membrána Sympatex je vyrobena z recyklovaného modifikovaného polyesteru (PL) a její tloušťka se v závislosti na použití pohybuje v rozmezí 5-25 µm. Membrána je vyrobena ze směsi hydrofobního polyesteru (70 %) a hydrofilního polyetylenu (30 %), tím se stává hydrofilní a umožňuje prostup vodních par materiálem. Tento proces funguje tak, že čím vyšší je rozdíl teplot a vlhkosti na vnitřní oproti vnější straně membrány, tím je přenos vlhkosti směrem ven vyšší. Membrána *Sympatex* vyniká svou elastičností, dle výrobce lze membránu roztáhnout až o 300 %. Výrobce membrány udává ve specifikaci výrobku hodnotu voděodolnosti více než 20 000 mm výšky vodního sloupce. Dále je membrána Sympatex stoprocentně větruodolná, a paropropustnost samotné membrány je Ret 1,5 $Pa \cdot m^2 \cdot W^{-1}$. Výrobce Sympatex si zakládá na ekologii, membrána je stoprocentně recyklovatelná a nezatěžuje tak životní prostředí. Díky svému složení se při likvidaci rozkládá na neškodný uhlík, kyslík a vodík. [5]

5.3 Mikroporézní nanovlákenné membrány

Mikroporézní nanovlákenné membrány se řadí do kategorie mikroporézních hydrofobních membrán a vyrábí se pomocí metody elektrostatického zvlákňování – electrospinningu.

5.3.1 Mikroporézní nanovlákenná membrána NANOMEMBRANE

Mikroporézní membrána *NANOMEMBRANE* je vyrobena z nanovláken polyamidu 6 (PA 6). Průměr jednotlivých vláken v nanovlákenné struktuře je 150 nm. Díky tomu má membrána více pórů na jednotku plochy oproti standardním mikroporézním membránám. Výsledná

paropropustnost dosahuje vynikající hodnoty Ret 0,9 $Pa \cdot m^2 \cdot W^{-1}$ v případě dvouvrstvého laminátu, a Ret 1,8 $Pa \cdot m^2 \cdot W^{-1}$ v případě třívrstvého laminátu. Hydrostatická odolnost nanovlákenné membrány se pohybuje od 5 000 mm až po 20 000 mm výšky vodního sloupce. Větruodolnost je stoprocentní. Membrána je dále opatřena fluorokarbonovým (PFC) filmem, který zabraňuje zanášení pórů tukem obsaženým v potu. [2]

5.4 Membránové lamináty

Membrána samotná má malou odolnost proti mechanickému namáhání a dále odlišné mechanické chování oproti textilii oděvu, jehož součástí má být. Membránový materiál je proto potřeba, kvůli jeho nízké pevnosti, umístit na nosnou textilii. Tomuto procesu se říká laminace, a provádí se lepením membrány na vhodné nosné vrchové nebo podšívkové textile. Tato operace je poměrně klíčová a pro výrobce membrán představuje zásadní know-how, ovlivňuje totiž také výslednou funkčnost membrány. Mezi důležité parametry, které s procesem laminace souvisí, patří takzvaný Mesh (jedná se o počet bodů pojiva na úhlopříčku anglického palce), dále také tvar bodů pojiva a rozmístění pojiva na nosné textilii.

Laminaci membrán rozdělujeme do těchto základních skupin:

- Třívrstvý laminát (vrchní textilie + membrána + podšívková textilie)
- Dvouvrstvý laminát (vrchní textilie + membrána)
- Dvouapůlvrstvý laminát (vrchní textilie + membrána + půl vrstva)
- Volně vložená membrána (Z-liner)

5.4.1 Dvouvrstvý laminát

Dvouvrstvý laminát, tedy laminace vrchní textilie pouze s membránou, dosahuje stejných vlastností odolnosti proti proniknutí vlhkosti z okolního prostředí jako třívrstvý laminát. Výhodou dvouvrstvého laminátu ale je, že je lehčí a paropropustnější. Membrána dvouvrstvého laminátu sice není chráněna před nečistotami, potem a mechanickým opotřebením, ale i přesto se tento typ laminátu používá u outdoorových oděvních výrobků,

které mají vynikat především nízkou hmotností a výbornou paropropustností. Příkladem takových oděvních výrobků je lehké svrchní běžecké nebo cyklistické oblečení. Schematický příčný řez dvouvrstvým laminátem je na obrázku 8. [2]

Obrázek 8: Schematický příčný řez dvouvrstvým laminátem [2]

A právě na porovnání vybraných dvouvrstvých laminátů bude dále zaměřena tato kvalifikační práce.

Experimentální část

6 Popis experimentu

V rámci experimentu budou hodnoceny čtyři plošné textilie – lamináty s neporézní hydrofilní membránou, které výrobce konstruoval jako vhodné pro použití při výrobě svrchní vrstvy outdoorového oblečení. Nejlépe ohodnocená textilie bude doporučena jako vstupní materiál pro výrobu svrchního oblečení pro běžce extrémních překážkových závodů.

Textilie mají být hodnoceny především na vhodnost v oblasti termofyziologického komfortu, s maximálním ohledem na předpokládané vysoké fyzické zatížení nositele, za předpokladu použití v mírném podnebném pásmu. Textilie musí co nejlépe zvládnout odvod potu a dostatečně chránit nositele před nepříznivými vlivy počasí, jako je například vítr nebo déšť. Předpokládané použití je tedy jako lehká ochranná svrchní vrstva oblečení pro běžce, který za nepříznivého počasí vykonává extrémní sportovní fyzickou aktivitu.

Součástí experimentu bude i zohlednění simulované údržby o oděvní výrobek. Materiály budou na vybrané vlastnosti testovány jak v originálním stavu před praním, tak následně po praní, sušení a žehlení. Žehlení bude prováděno zejména z důvodu obnovy hydrofobní

ochranné úpravy na vnější straně vrchní nosné textilie, která má za úkol zabraňovat průniku vody z vnějšího okolí do struktury textilie.

Měření bude probíhat na přístrojovém vybavení v rámci laboratoří Technické univerzity v Liberci, konkrétně v rámci kateder KHT, KOD a KMI.

6.1 Testované textilní materiály

Výchozím materiálem pro měření jsou čtyři kusy plošných textilií o rozměrech 1 × 1,5 m. Jedná se o dvouvrstvé textilní membránové lamináty s neporézní hydrofilní polyuretanovou membránou. Vrchní nosná textilie je dle informací dodavatele vyrobena ze syntetických vláken, a to ze 100% polyamidu nebo ze 100% polyesteru. Neporézní hydrofilní membrána, použitá v laminátu, je dle informací dodavatele vyrobena z polyuretanu. Všechny materiály jsou konstruované pro výrobu svrchní vrstvy outdoorového oblečení. Tyto materiály byly dodány bez dalšího technického popisu a bez materiálového listu. Provedeným rozborem byly laboratorně určeny základní parametry textilií, jako je dostava a základní vazba materiálů.

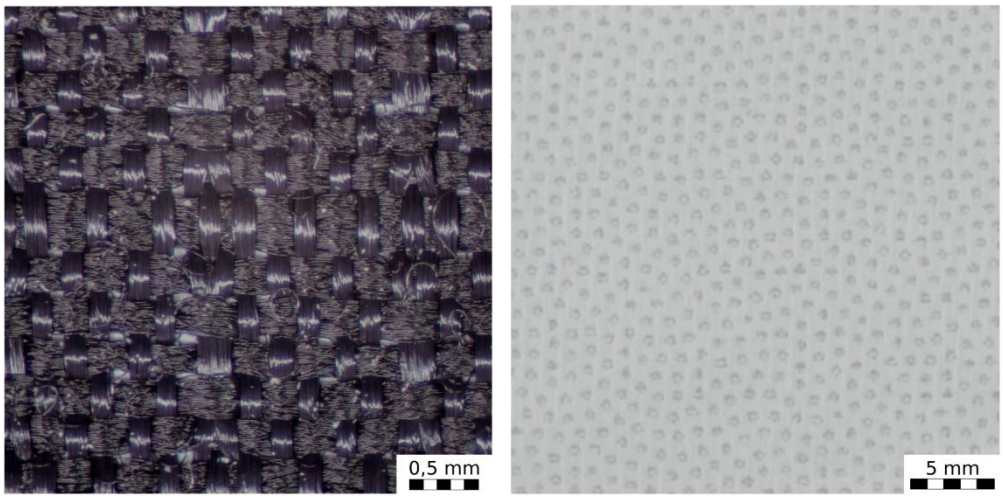
Pro odlišení byly materiály označeny následujícím popisem: Materiál A, Materiál B, Materiál C, Materiál D.

Všechny materiály byly následně rozřezány na dvě poloviny. Jedna polovina vzorků zůstala pro potřeby testování v originálním stavu. Na druhé polovině vzorků byla provedena metoda simulované údržby. Postup simulace údržby je uveden v kapitole 6.1.5.

6.1.1 Materiál A

Vrchní nosná textilie je tvořena lehkou hladkou tkaninou hedvábnického typu v plátnové vazbě s vazebním efektem ripstop, s dostavou osnovních nití 50/10 mm a dostavou útkových nití 32/10 mm. Použité nitě jsou polyamidové multifily. Vrchní textilie je dále slaminována s hydrofilní polyuretanovou membránou. Tento celek tak tvoří lehký dvouvrstvý textilní membránový laminát, s celkovou tloušťkou 0,16 mm a tloušťkou samotné membrány přibližně 11 µm.

Materiál A z líce a rubu je na obrázku 9. Reálný vzorek materiálu A je v příloze 1.

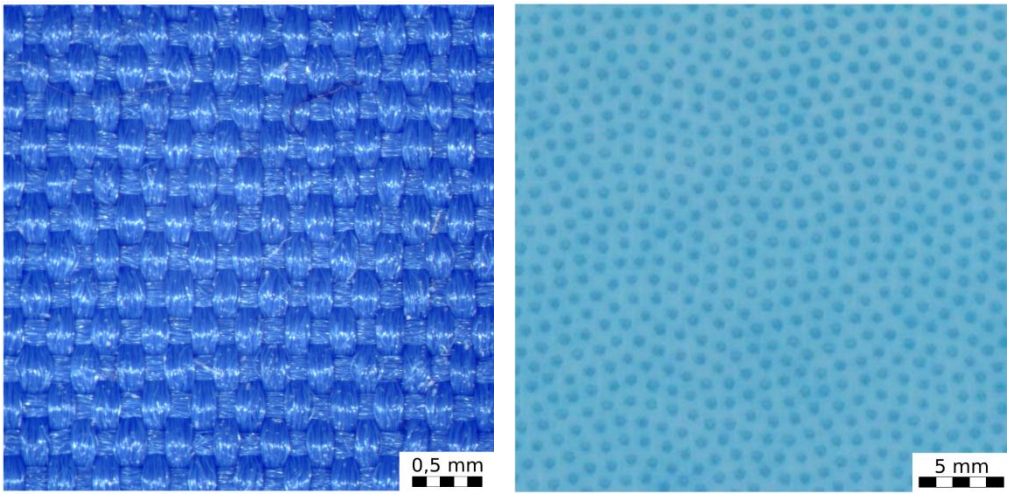


Obrázek 9: Materiál A – pohled na vrchní nosnou textilii a pohled na membránu

6.1.2 Materiál B

Vrchní nosná textilie je tvořena lehkou hladkou tkaninou hedvábnického typu v plátnové vazbě, s dostavou osnovních nití 58/10 mm a dostavou útkových nití 38/10 mm. Použité nitě jsou polyesterové multifily. Vrchní textilie je dále slaminována s hydrofilní polyuretanovou membránou. Tento celek tak tvoří lehký dvouvrstvý textilní membránový laminát, s celkovou tloušťkou 0,14 mm a tloušťkou samotné membrány přibližně 11 µm.

Materiál B z líce a rubu je na obrázku 10. Reálný vzorek materiálu B je v příloze 1.

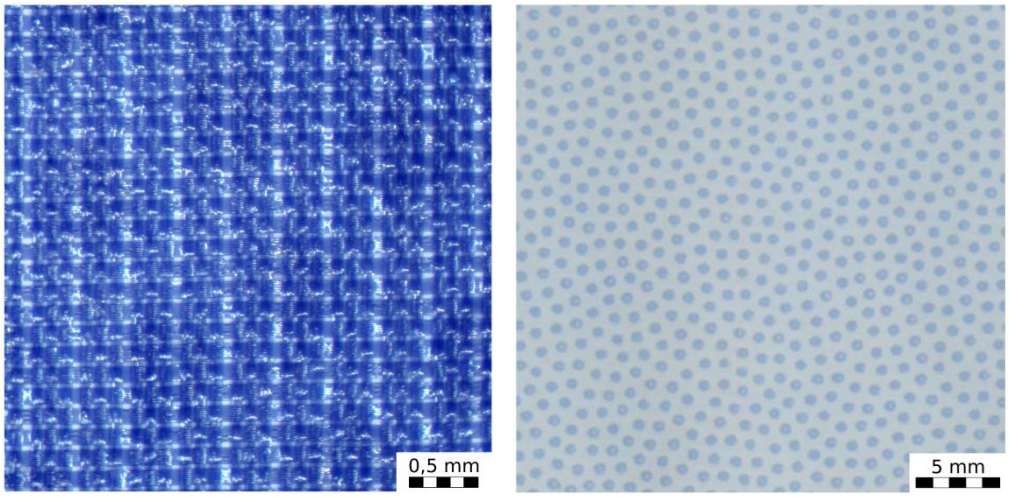


Obrázek 10: Materiál B – pohled na vrchní nosnou textilii a pohled na membránu

6.1.3 Materiál C

Vrchní nosná textilie je tvořena lehkou hladkou tkaninou hedvábnického typu v plátnové vazbě, s dostavou osnovních nití 82/10 mm a dostavou útkových nití 66/10 mm. Použité nitě jsou polyesterové multifily. Vrchní textilie je dále slaminována s hydrofilní polyuretanovou membránou. Tento celek tak tvoří velmi lehký dvouvrstvý textilní membránový laminát, s celkovou tloušťkou 0,04 mm a tloušťkou samotné membrány přibližně 11 µm.

Materiál C z líce a rubu je na obrázku 11. Reálný vzorek materiálu C je v příloze 1.

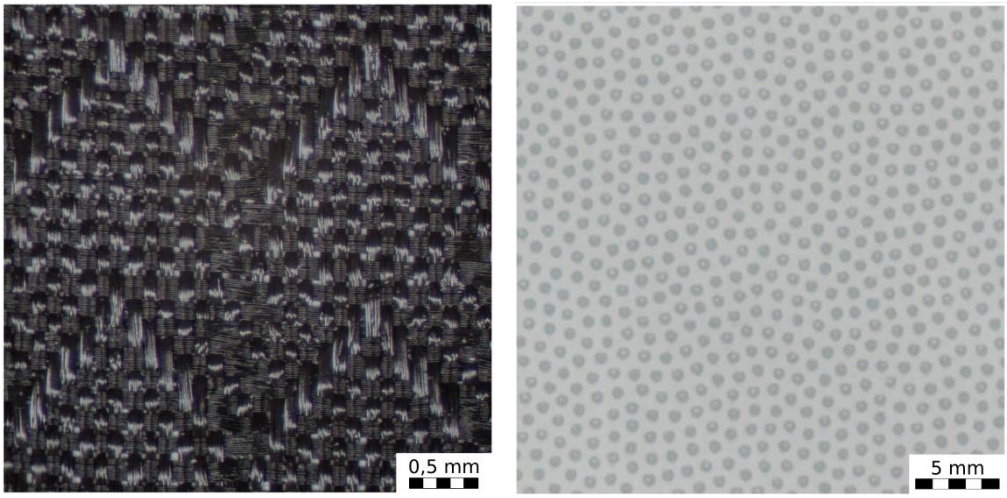


Obrázek 11: Materiál C – pohled na vrchní nosnou textilii a pohled na membránu

6.1.4 Materiál D

Vrchní nosná textilie je tvořena lehkou hladkou tkaninou hedvábnického typu v plátnové vazbě s keprovým vazebním efektem, s dostavou osnovních nití 90/10 mm a dostavou útkových nití 66/10 mm. Použité nitě jsou polyamidové multifily. Vrchní textilie je dále slaminována s hydrofilní polyuretanovou membránou. Tento celek tak tvoří velmi lehký dvouvrstvý textilní membránový laminát, s celkovou tloušťkou 0,05 mm a tloušťkou samotné membrány přibližně 11 µm.

Materiál D z líce a rubu je na obrázku 12. Reálný vzorek materiálu D je v příloze 1.



Obrázek 12: Materiál D – pohled na vrchní nosnou textilii a pohled na membránu

6.1.5 Metoda simulované údržby textilie

Metoda simulované údržby měla za úkol napodobit běžnou údržbu textilie, a spočívala v pětinásobném vyprání vzorků v automatické pračce, jejich usušení a následné vyžehlení.

V automatické pračce bylo postupně provedeno 5 pracích cyklů s následujícími parametry:

- prací program delikátní praní,
- teplota prací lázně 30 °C,
- délka pracího programu 40 minut,
- odstřeďování 800 ot. / min.,
- prací prostředek určený pro praní membránového outdoorového a sportovního oblečení v automatické pračce, dávkovaný dle doporučení výrobce prostředku – konkrétně se jednalo o gelový přípravek *Laguna sport & outdoor gel* od českého výrobce *Zenit* dávkovaný v množství 50 ml na jedno praní.

Po pěti pracích cyklech byly materiály usušeny při pokojové teplotě 23 °C a následně vyžehleny elektrickou žehličkou s následujícími parametry žehlení:

- teplota žehlení 90 °C (program žehlení syntetických textilií – na otočném voliči označeno jedním puntíčkem),
- žehleno bez použití páry,

- žehleno po lícní straně textilie.

Žehlení bylo prováděno zejména z důvodu obnovy hydrofobní ochranné úpravy vrchní nosné textilie.

7 Testování vybraných vlastností

S ohledem na požadavek zhodnotit textilie na vhodnost použití pro výrobu svrchního lehkého běžeckého oblečení, byla v rámci experimentu vybrána následující měření:

- tloušťka,
- plošná hmotnost,
- tepelný odpor,
- prodyšnost,
- paropropustnost (výparný odpor),
- hydrostatická odolnost,
- spray test (odolnosti vůči povrchovému smáčení),
- snímkování na rastrovacím elektronovém mikroskopu.

Všechna výše uvedená měření pak probíhala na vzorcích všech čtyřech originálních materiálů. Především se ale bylo potřeba zaměřit na termofyziologický komfort, a tak na vybraná klíčová měření (paropropustnost, hydrostatickou odolnost a spray test) byly opětovně testovány i materiály, které prošly simulovanou údržbou (praním, sušením a žehlením).

7.1 Měření tloušťky

Měření tloušťky probíhá na přístroji *ALAMBETA* v souladu s interní normou TUL č. IN 23-304-02/01. [6] Tato měřicí metoda je nedestruktivní.

Podmínky v laboratoři v době měření:

- teplota vzduchu 20,4 °C,

- relativní vlhkost vzduchu 34 %.

Na každém testovaném materiálu bylo provedeno pět měření tloušťky pomocí přístroje *ALAMBETA*. Měřená místa byla uložena minimálně 10 cm od okraje textilního materiálu a byla postupně uložena úhlopříčně přes hodnocený materiál.

Po zapnutí přístroje dojde k iniciální automatické kalibraci. Poté se měřený vzorek textilie bez napětí a skladů umístí na spodní plochu měřicí hlavice přístroje lícní stranou směrem nahoru. Po stisku tlačítka ST dojde ke spuštění horní měřicí hlavice, která vzorek stlačí, a tím začne proces měření. Po několika desítkách sekund je měření ukončeno automatickým zvednutím horní hlavice zpět do výchozí polohy, a měřený vzorek je uvolněn. Naměřená data jsou uložena do paměti přístroje a lze je odečíst z displeje a zaevidovat.

7.1.1 Hodnoty tloušťky

Naměřená data tloušťky jednotlivých materiálů jsou v tabulce 1.

Tabulka 1: Tloušťka – naměřené hodnoty

Tloušťka [mm]					
Měření	*1.*	*2.*	*3.*	*4.*	*5.*
Materiál A	0,13	0,17	0,17	0,17	0,18
Materiál B	0,11	0,11	0,17	0,16	0,15
Materiál C	0,03	0,05	0,04	0,03	0,04
Materiál D	0,04	0,04	0,07	0,07	0,03

7.1.2 Vyhodnocení tloušťky

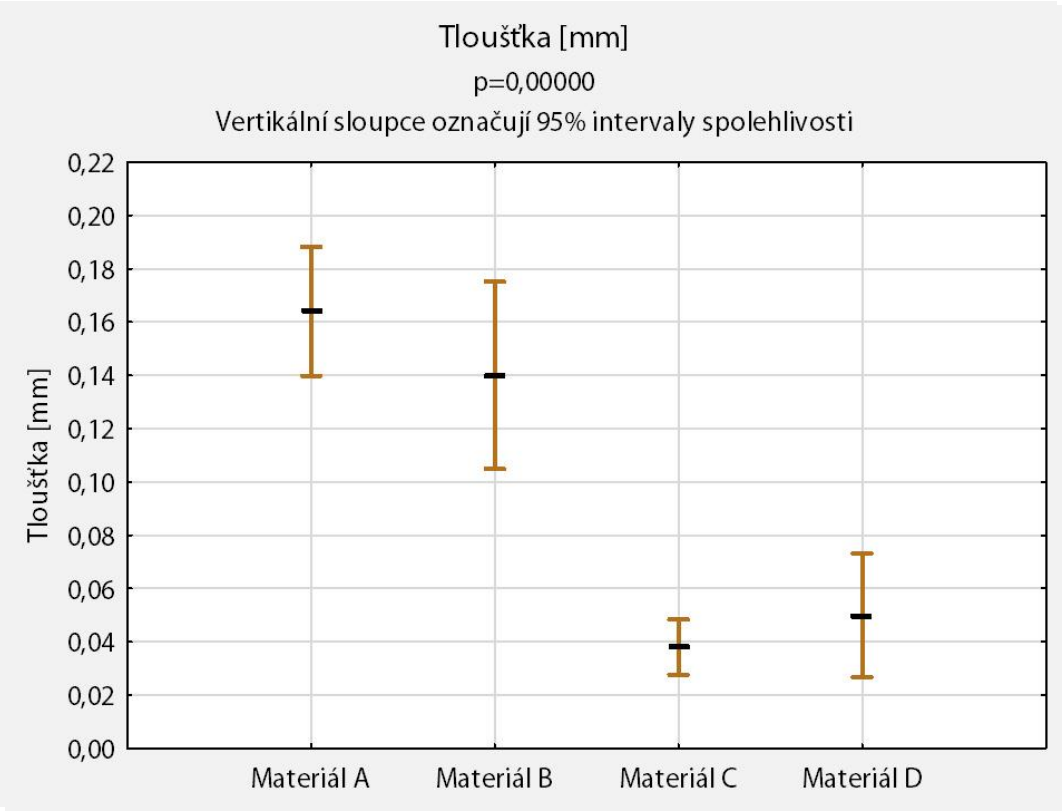
Podle výsledků měření tloušťky lze materiály rozdělit na dvě skupiny. Materiály A a B jsou větší tloušťky (průměrné hodnoty tloušťky jsou 0,16 mm a 0,14 mm). Materiály C a D mají výrazně menší tloušťku (průměrné hodnoty jejich tloušťky jsou pouze 0,04 mm a 0,05 mm).

Statistické vyhodnocení tloušťky jednotlivých materiálů je v tabulce 2.

Tabulka 2: Tloušťka – statistická data

Tloušťka [mm] - statistická data										
	Počet měření	*Průměr*	*Interval spolehlivosti -95 %*	*Interval spolehlivosti 95 %*	*Medián*	*Min.*	*Max.*	*Rozptyl*	*Směrodatná odchylka*	*Variační koeficient*
Materiál A	5	0,16	0,1398	0,1882	0,17	0,13	0,18	0,0004	0,0195	11,89
Materiál B	5	0,14	0,1049	0,1751	0,15	0,11	0,17	0,0008	0,0283	20,20
Materiál C	5	0,04	0,0276	0,0484	0,04	0,03	0,05	0,0001	0,0084	22,02
Materiál D	5	0,05	0,0268	0,0732	0,04	0,03	0,07	0,0004	0,0187	37,42

Statistické vyhodnocení hodnot tloušťky jednotlivých materiálů je v grafu na obrázku 13.



Obrázek 13: Graf – Statistické vyhodnocení tloušťky

7.2 Měření plošné hmotnosti

Pro určení plošné hmotnosti je potřeba zvážit textilii o dané ploše.

Měření hmotnosti probíhá na přesných digitálních vahách *RADWAG AS 220/C/2*. Tato měřicí metoda je destruktivní, z důvodu nutnosti vyřezání vzorků o přesných rozměrech z testovaných materiálů.

Podmínky v laboratoři v době měření:

- teplota vzduchu 20,5 °C,
- relativní vlhkost vzduchu 35 %.

Pro určení plošné hmotnosti bylo z každého testovaného materiálu zhotoveno pět čtvercových vzorků s délkou strany 10 cm. Na každém z těchto vzorků je postupně provedeno měření jeho hmotnosti na přesných digitálních vahách *RADWAG AS 220/C/2* a následně je přepočítáno na plošnou hmotnost v [g/m^2].

7.2.1 Hodnoty plošné hmotnosti

Přepočítaná data plošné hmotnosti jednotlivých materiálů jsou v tabulce 3.

Tabulka 3: Plošná hmotnost – přepočítané hodnoty

Plošná hmotnost [g/m^2]					
Měření	*1.*	*2.*	*3.*	*4.*	*5.*
Materiál A	89,58	90,86	89,89	90,44	93,44
Materiál B	99,83	99,17	97,22	95,93	95,56
Materiál C	47,89	48,11	46,04	45,98	47,20
Materiál D	56,61	57,75	54,66	57,43	57,23

7.2.2 Vyhodnocení plošné hmotnosti

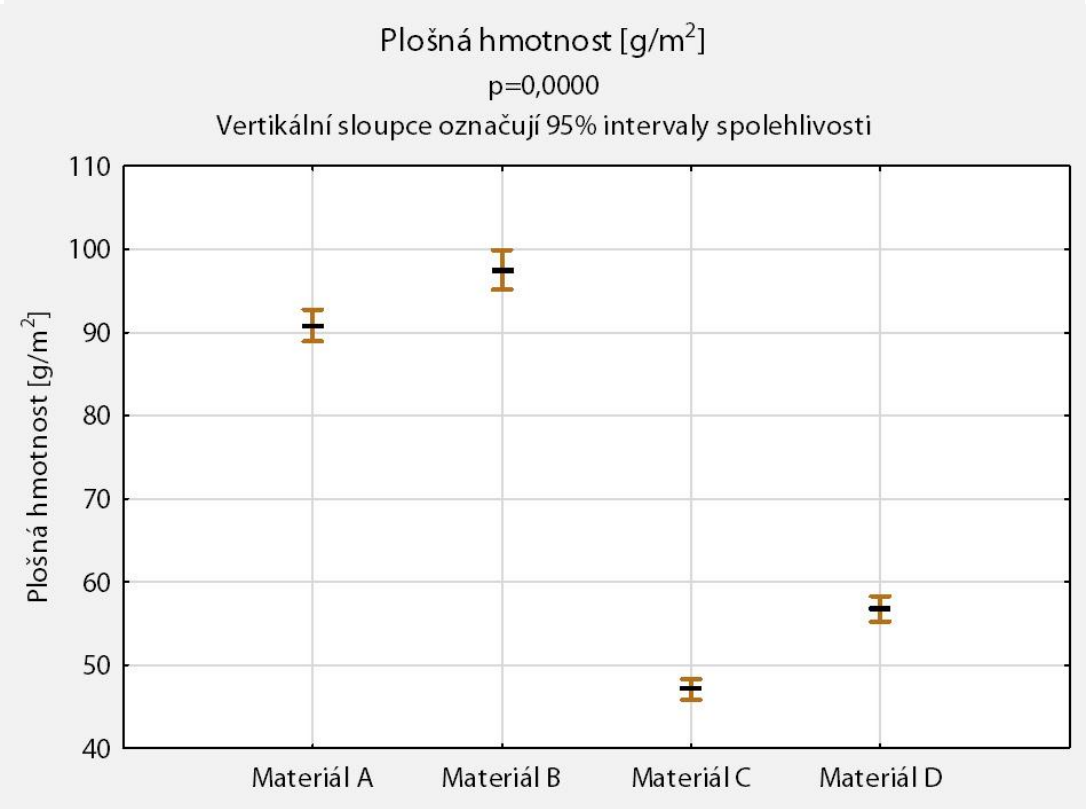
Materiály se podle výsledků měření tloušťky dají rozdělit na dvě skupiny. Materiály A a B mají vyšší plošnou hmotnost (průměrné hodnoty jejich plošné hmotnosti jsou zhruba 91 g/m^2 a 98 g/m^2). Materiály C a D mají téměř o polovinu nižší plošnou hmotnost (průměrné hodnoty jejich plošné hmotnosti jsou 47 g/m^2 a 57 g/m^2).

Statistické vyhodnocení plošné hmotnosti jednotlivých materiálů je v tabulce 4.

Tabulka 4: Plošná hmotnost – statistická data

Plošná hmotnost [g/m^2] - statistická data										
	Počet měření	*Průměr*	*Interval spolehlivosti -95 %*	*Interval spolehlivosti 95 %*	*Medián*	*Min.*	*Max.*	*Rozptyl*	*Směrodatná odchylka*	*Variační koeficient*
Materiál A	5	90,84	88,9375	92,7465	90,44	89,58	93,44	2,3526	1,5338	1,69
Materiál B	5	97,54	95,1767	99,9074	97,22	95,56	99,83	3,6290	1,9050	1,95
Materiál C	5	47,04	45,7998	48,2882	47,20	45,98	48,11	1,0041	1,0021	2,13
Materiál D	5	56,74	55,2052	58,2668	57,23	54,66	57,75	1,5199	1,2328	2,17

Statistické vyhodnocení plošné hmotnosti jednotlivých materiálů je v grafu na obrázku 14.



Obrázek 14: Graf – Statistické vyhodnocení plošné hmotnosti

7.3 Měření tepelného odporu

Měření tepelného odporu probíhá na přístroji *ALAMBETA* v souladu s interní normou TUL č. IN 23-304-02/01. [7] Tato měřicí metoda je nedestruktivní.

Podmínky v laboratoři v době měření:

- teplota vzduchu 20,4 °C,
- relativní vlhkost vzduchu 34 %.

Na každém testovaném materiálu bylo provedeno pět měření tepelného odporu pomocí přístroje *ALAMBETA*. Měřená místa byla uložena minimálně 10 cm od okraje textilního materiálu a byla postupně uložena úhlopříčně přes hodnocený materiál.

Po zapnutí přístroje dojde k iniciální automatické kalibraci. Poté se měřený vzorek textilie bez napětí a skladů umístí na spodní plochu měřicí hlavice přístroje lícní stranou směrem nahoru. Po stisku tlačítka ST dojde ke spuštění horní měřicí hlavice, která vzorek stlačí,

a tím začne proces měření. Po několika desítkách sekund je měření ukončeno automatickým zvednutím horní hlavice zpět do výchozí polohy a měřený vzorek je uvolněn. Naměřené hodnoty jsou nyní uloženy do paměti přístroje a lze je odečíst z displeje a zaevidovat.

7.3.1 Hodnoty tepelného odporu

Naměřená data tepelného odporu jednotlivých materiálů jsou v tabulce 5.

Tabulka 5: Tepelný odpor – naměřené hodnoty

Tepelný odpor [K·m²·W⁻¹]					
Měření	*1.*	*2.*	*3.*	*4.*	*5.*
Materiál A	0,0055	0,0055	0,0052	0,0049	0,0050
Materiál B	0,0045	0,0046	0,0040	0,0040	0,0046
Materiál C	0,0028	0,0028	0,0029	0,0029	0,0028
Materiál D	0,0031	0,0031	0,0031	0,0030	0,0030

7.3.2 Vyhodnocení tepelného odporu

Materiály se podle výsledků měření tepelného odporu dají rozdělit na dvě skupiny. Materiály A a B mají větší tepelný odpor (průměrné hodnoty jejich tepelného odporu jsou 0,0052 K·m²·W⁻¹ a 0,0043 K·m²·W⁻¹. Materiály C a D mají o třetinu až polovinu menší tepelný odpor (průměrné hodnoty jejich tepelného odporu jsou 0,0028 K·m²·W⁻¹ a 0,0031 K·m²·W⁻¹.

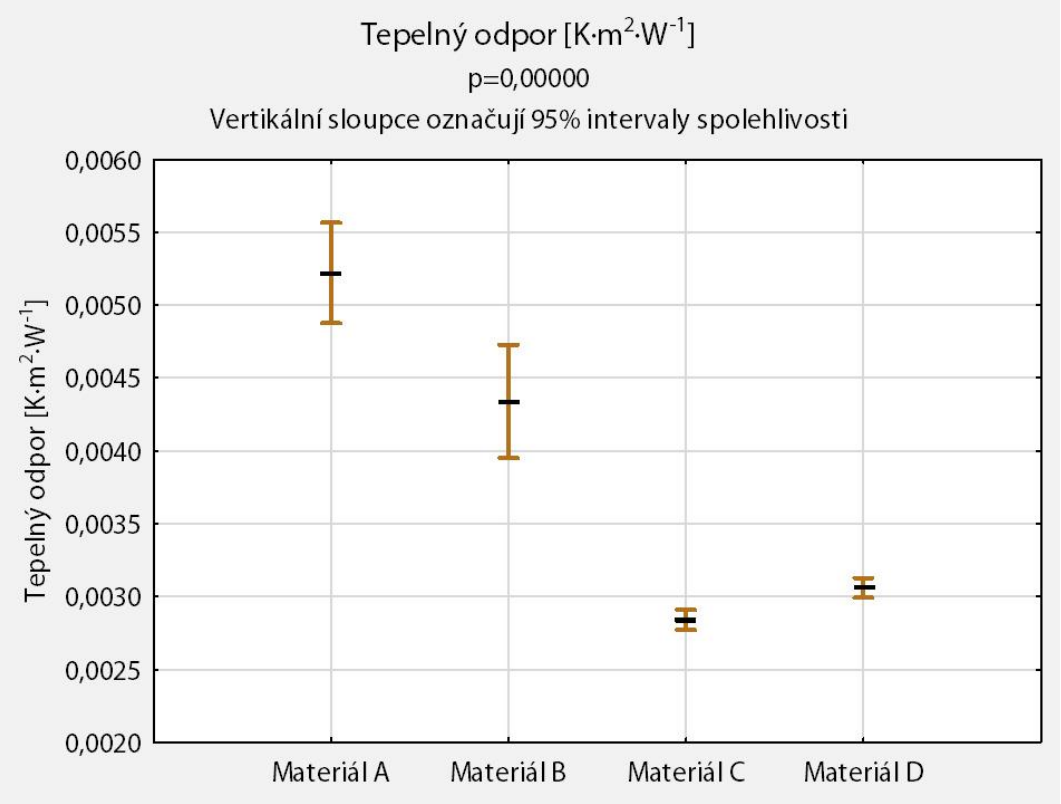
Statistické vyhodnocení tepelného odporu jednotlivých materiálů je v tabulce 6.

Tabulka 6: Tepelný odpor – statistická data

Tepelný odpor [K·m²·W⁻¹] - statistická data										
	Počet měření	*Průměr*	*Interval spolehlivosti -95 %*	*Interval spolehlivosti 95 %*	*Medián*	*Min.*	*Max.*	*Rozptyl*	*Směrodatná odchylka*	*Variační koeficient*
Materiál A	5	0,0052	0,0049	0,0056	0,0052	0,0049	0,0055	0,0000	0,0003	5,32
Materiál B	5	0,0043	0,0040	0,0047	0,0045	0,0040	0,0046	0,0000	0,0003	7,21

Tepelný odpor [K·m²·W⁻¹] - statistická data										
	Počet měření	*Průměr*	*Interval spolehlivosti -95 %*	*Interval spolehlivosti 95 %*	*Medián*	*Min.*	*Max.*	*Rozptyl*	*Směrodatná odchylka*	*Variační koeficient*
Materiál C	5	0,0028	0,0028	0,0029	0,0028	0,0028	0,0029	0,0000	0,0001	1,93
Materiál D	5	0,0031	0,0030	0,0031	0,0031	0,0030	0,0031	0,0000	0,0001	1,79

Statistické vyhodnocení tepelného odporu jednotlivých materiálů je v grafu na obrázku 15.



Obrázek 15: Graf – Statistické vyhodnocení tepelného odporu

7.4 Měření prodyšnosti

Měření prodyšnosti probíhá na přístroji *TEXTEST FX 3300* v souladu s interní normou TUL č. IN 33-302-01/01. [8] Tato měřicí metoda je nedestruktivní.

Podmínky v laboratoři v době měření:

- teplota vzduchu 20,4 °C,

- relativní vlhkost vzduchu 34 %.

Na každém testovaném materiálu bylo provedeno pět měření prodyšnosti pomocí přístroje *TEXTEST FX 3300.* Měřená místa byla uložena minimálně 10 cm od okraje textilního materiálu a byla postupně uložena úhlopříčně přes hodnocený materiál.

Přístroj byl pro potřeby tohoto měření nastaven na následující parametry: velikost měřené plochy 20 cm^2, tlakový spád 100 Pa, volič měřicího rozsahu nastaven na hodnotu 1, jednotky měření [$l/m^2/s$].

Přístroj *TEXTEST FX 3300* se spustí hlavním vypínačem a po pár sekundách je připraven k použití. Měřený vzorek textilie se bez napětí a skladů umístí přes měřicí hlavu lícní stranou směrem nahoru. Zmáčknutím upínacího ramene se spustí proudění vzduchu, a měření začne. Na displeji přístroje se po pár sekundách zobrazí naměřená hodnota. Opětovným tlakem na upínací rameno je proudění vzduchu zastaveno a zkouška automaticky ukončena. Naměřená data, zobrazená na displeji přístroje, lze nyní odečíst a zaevidovat.

7.4.1 Hodnoty měření prodyšnosti

Hodnoty prodyšnosti, naměřené v laboratoři, byly na všech vzorcích všech materiálů nulové.

7.4.2 Vyhodnocení prodyšnosti

Materiály A, B, C i D vykazují zcela nulovou prodyšnost. Všechny testované materiály tedy dosáhly výborných výsledků a jsou dokonale neprodyšné.

7.5 Provedení spray testu

Zkrápěcí metoda (spray test) má za úkol stanovení odolnosti vůči povrchovému smáčení.

Spray test probíhá na přístroji *SDL Atlas Spray Rating Tester M232* v souladu s normou ČSN EN ISO 4920. [9] Tato metoda je nedestruktivní.

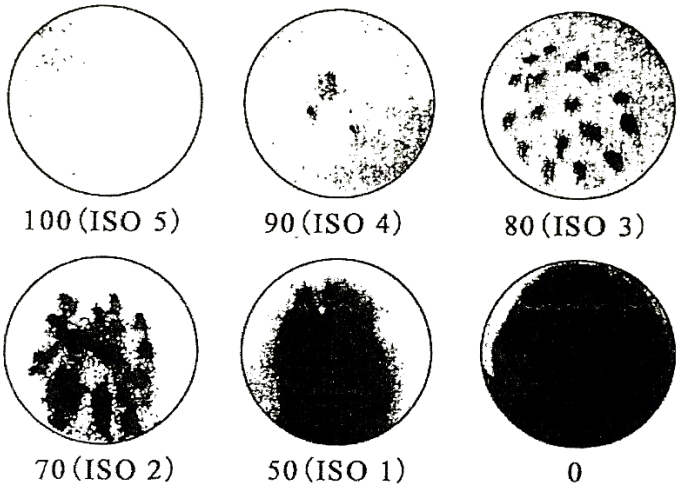
Podmínky v laboratoři v době měření:

- teplota vzduchu 20,4 °C,
- relativní vlhkost vzduchu 34 %.

Na každém testovaném materiálu bylo na přístroji *SDL Atlas Spray Rating Tester M232* provedeno celkem deset spray testů.

Tento test byl rozdělen do dvou části. V první části se testovaly originální nevyprané materiály, a to celkem 5krát každý z nich. V druhé části byly 5krát testovány materiály, na kterých byla simulována údržba (byly předem 5krát vyprané, usušené a následně vyžehlené).

Na přístroj *SDL Atlas Spray Rating Tester M232* se umístí testovaný vzorek textilie, který se ale nejprve upne do upínacích prstenců bez napětí a skladů lícní stranou textilie směrem nahoru. Měřená místa byla uložena minimálně 10 cm od okraje textilního materiálu a byla postupně uložena úhlopříčně přes hodnocený materiál. Následným vlitím 250 ml vody do nádobky přístroje začne samotný test. Voda ze zásobní nádobky vytéká za pomoci gravitace přes sprejovací trysku přístroje na testovaný vzorek, který je umístěn pod ní. Po odtoku veškeré vody z nádobky je potřeba testovaný vzorek, stále ještě upnutý do upínacích prstenců, z přístroje vyjmout a dvakrát silně oklepnout přes pevnou hranu tak, aby byly odstraněny kapky vody, které se nevsákly a ulpěly na povrchu textilie. Následně se vzorek opět umístí na šikmou plochu přístroje, provede se vizuální posouzení podle etalonu fotografických standardů AATCC a vyhodnotí se hodnota spray testu na stupnici ISO (v rozmezí ISO 0 až ISO 5). Poté je možné z přístroje a z upínacích prstenců vzorek vyjmout. Obrázek 16 zobrazuje etalon fotografických standardů AATCC/ISO.



Obrázek 16: Schéma ISO pro hodnocení zkoušky zkrápěním [9]

Slovně popsaná stupnice ISO pro hodnocení smáčivosti:

- ISO 5 – *žádné ulpění vody nebo smočení zkušebního vzorku*
- ISO 4 – *lehké nepravidelné ulpění vody nebo smočení lícové strany zkušebního vzorku*
- ISO 3 – *smočení lícové strany zkušebního vzorku ve zkrápěcích bodech*
- ISO 2 – *částečné smočení lícové strany zkušebního vzorku pod zkrápěcími body*
- ISO 1 – *úplné smočení lícové strany zkušebního vzorku pod zkrápěcími body*
- ISO 0 – *úplné smočení celé lícové strany zkušebního vzorku*

7.5.1 Hodnoty spray testu

Vzorky všech originálních materiálů, testovaných při prvním spray testu, nevykazovaly jakékoliv známky smočení – při vizuálním posouzení dle stupnice fotografických standardů byla u všech vzorků vyhodnocena hodnota ISO 5.

Vzorky jednotlivých materiálů, které prošly simulovanou údržbou, již ale vykazovaly známky smočení. Hodnoty druhého spray testu, posouzené dle stupnice fotografických standardů, jsou v tabulce 7.

Tabulka 7: Spray test II – hodnoty ISO (vzorky po simulované údržbě)

Spray test II - hodnoty ISO (po simulované údržbě)					
Měření	*1.*	*2.*	*3.*	*4.*	*5.*
Materiál A	ISO 2	ISO 2	ISO 2	ISO 2	ISO 2
Materiál B	ISO 4	ISO 4	ISO 4	ISO 4	ISO 4
Materiál C	ISO 3	ISO 3	ISO 3	ISO 3	ISO 3
Materiál D	ISO 4	ISO 5	ISO 4	ISO 5	ISO 5

7.5.2 Vyhodnocení spray testu

Všechny originální nevyprané materiály dosahovaly ve spray testu vynikajících výsledků – všechny dosahovaly hodnot ISO 5. Jejich povrchy byly dokonale nesmáčivé a nezůstávaly na nich žádné kapky vody.

Materiály A, B a C, které prošly simulovanou údržbou, ale již vykazovaly známky smočení. Povrch materiálu B se ve druhém spray testu ukázal jako *nepravidelně lehce smočený* (ISO 4), povrch materiálu C jako *smočený ve zkrápěcích bodech* (ISO 3), a u materiálu A došlo dokonce k *částečnému smočení i pod zkrápěcími body* (ISO 2). Materiál D oproti tomu i po simulované údržbě odolával ve spray testu velmi dobře, a to téměř bez známek smočení. S hodnotami pohybujícími se v rozmezí ISO 5 až ISO 4, tak celkově dosáhl ve spray testu nejlepších výsledků.

Tabulka 8 ukazuje vliv originálních materiálů a materiálů se simulovanou údržbou na spray test.

Tabulka 8: Vliv originálních materiálů a materiálů se simulovanou údržbou na spray test

Spray test I a II (porovnání před a po simulované údržbě)								
	Spray test I - před praním				Spray test II - po praní			
	Počet měření	*Modální hodnota*	*Min.*	*Max.*	*Počet měření*	*Modální hodnota*	*Min.*	*Max.*
Materiál A	5	ISO 5	ISO 5	ISO 5	5	ISO 2	ISO 2	ISO 2
Materiál B	5	ISO 5	ISO 5	ISO 5	5	ISO 4	ISO 4	ISO 4

Spray test I a II (porovnání před a po simulované údržbě)								
	Spray test I - před praním				Spray test II - po praní			
	Počet měření	*Modální hodnota*	*Min.*	*Max.*	*Počet měření*	*Modální hodnota*	*Min.*	*Max.*
Materiál C	5	ISO 5	ISO 5	ISO 5	5	ISO 3	ISO 3	ISO 3
Materiál D	5	ISO 5	ISO 5	ISO 5	5	ISO 5	ISO 4	ISO 5

7.6 Měření hydrostatické odolnosti

Měření hydrostatické odolnosti probíhá na přístroji *SDL M018* v souladu s normou ČSN EN 20811. [10] Tato měřicí metoda je destruktivní, z důvodu nutnosti vyřezání vzorků o přesných rozměrech z testovaných materiálů.

Podmínky v laboratoři v době měření:

- teplota vzduchu 23,0 °C,
- relativní vlhkost vzduchu 45 %.

Na každém testovaném materiálu bylo provedeno na přístroji *SDL M018* celkem šest měření hydrostatické odolnosti. Měřená místa byla uložena minimálně 10 cm od okraje textilního materiálu a byla postupně uložena přes šíři hodnoceného materiálu. Vzorky o velikosti 17×17 cm se před měřením nechaly odležet.

Toto měření bylo rozděleno do dvou části. V první části se měřily originální nevyprané materiály, a to celkem 3krát každý z nich. V druhé části byly 3krát měřeny materiály, na kterých byla předem simulována údržba (byly předem 5krát vyprané a následně usušené a vyžehlené).

Přístroj byl pro potřeby tohoto měření nastaven na následující parametry: rychlost zvyšování tlaku vody 60 cm vodního sloupce za minutu, teplota destilované vody 23 °C, velikost měřené plochy 100 cm^2 a jednotky měření byly nastaveny na centimetry.

Přístroj *SDL M018* se spustí hlavním vypínačem a po pár minutách je připraven k použití. Do přístroje je zaveden přívod destilované vody a přívod stačeného vzduchu. Měřený vzorek

textilie o velikosti 17×17 cm se bez napětí a skladů upne na zkušební hlavu lícní stranou směrem dolů, tak aby se dotýkal povrchu vody ve zkušební hlavě. Tlačítkem START spustíme zkoušku, sledujeme testovaný vzorek a po průniku vody ze třech míst na povrchu vzorku zkoušku ukončíme tlačítkem READ. Naměřená data, zobrazená na displeji přístroje, lze nyní odečíst a zaevidovat.

7.6.1 Hodnoty hydrostatické odolnosti

Naměřená data hydrostatické odolnosti originálních materiálů a materiálů po simulované údržbě (po praní, sušení a žehlení) jsou v tabulkách 9 a10 .

Tabulka 9: Hydrostatická odolnost I – naměřené hodnoty (vzorky před praním)

Hydrostatická odolnost I [cm]			
Měření	*1.*	*2.*	*3.*
Materiál A	822	822	739
Materiál B	1235	1253	1152
Materiál C	664	579	672
Materiál D	846	953	833

Tabulka 10: Hydrostatická odolnost II – naměřené hodnoty (vzorky po simulované údržbě)

Hydrostatická odolnost II [cm] (po simulované údržbě)			
Měření	*1.*	*2.*	*3.*
Materiál A	751	762	813
Materiál B	1141	1144	1134
Materiál C	434	452	463
Materiál D	802	845	860

7.6.2 Vyhodnocení hydrostatické odolnosti

Nejvyšších hodnot hydrostatické odolnosti dosahoval materiál B s odolností 12 metrů výšky vodního sloupce. Materiály A a D odolávaly vodnímu sloupci do hodnoty okolo 8 metrů. U materiálu C se nejvíce projevil rozdíl ve výšce vodního sloupce mezi vzorky testovanými před praním (6,4 m) a vzorky testovanými po simulované údržbě (4,5 m), a tento rozdíl se ukázal jako statisticky významný.

Statistická data hydrostatické odolnosti originálních materiálů a materiálů se simulovanou údržbou jsou v tabulkách 11 a 12.

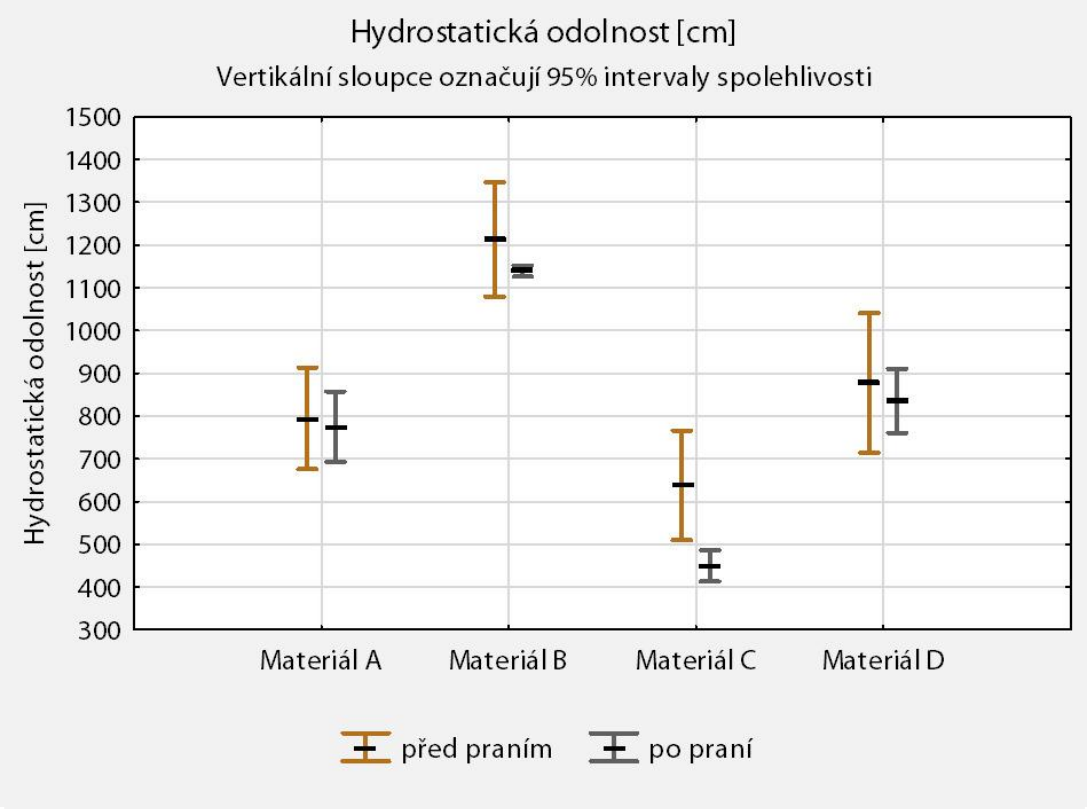
Tabulka 11: Hydrostatická odolnost I – statistická data (vzorky před praním)

Hydrostatická odolnost I [cm] - statistická data										
	Počet měření	*Průměr*	*Interval spolehlivosti -95 %*	*Interval spolehlivosti 95 %*	*Medián*	*Min.*	*Max.*	*Rozptyl*	*Směrodatná odchylka*	*Variační koeficient*
Materiál A	3	794,3	675,29	913,37	822	739	822	2296,33	47,9201	6,03
Materiál B	3	1213,3	1079,51	1347,16	1235	1152	1253	2902,33	53,8733	4,44
Materiál C	3	638,3	510,30	766,37	664	579	672	2656,33	51,5396	8,07
Materiál D	3	877,3	713,75	1040,92	846	833	953	4336,33	65,8508	7,51

Tabulka 12: Hydrostatická odolnost II – statistická data (vzorky po simulované údržbě)

Hydrostatická odolnost II [cm] (po simulované údržbě) - statistická data										
	Počet měření	*Průměr*	*Interval spolehlivosti -95 %*	*Interval spolehlivosti 95 %*	*Medián*	*Min.*	*Max.*	*Rozptyl*	*Směrodatná odchylka*	*Variační koeficient*
Materiál A	3	775,3	693,16	857,51	762	751	813	1094,33	33,0807	4,27
Materiál B	3	1139,7	1126,92	1152,41	1141	1134	1144	26,33	5,1316	0,45
Materiál C	3	449,7	413,30	486,04	452	434	463	214,33	14,6401	3,26
Materiál D	3	835,7	760,88	910,45	845	802	860	906,33	30,1054	3,60

Vliv originálních materiálů a materiálů se simulovanou údržbou na hydrostatickou odolnost ukazuje graf na obrázku 17.



Obrázek 17: Graf – Vliv originálních materiálů a materiálů se simulovanou údržbou na hydrostatickou odolnost

7.7 Měření paropropustnosti

Paropropustnost zjistíme změřením výparného odporu textilie.

Měření výparného odporu probíhá na přístroji *PERMETEST* v souladu s interní normou TUL č. IN 23-304-01/01. [6] Tato měřicí metoda je nedestruktivní.

Podmínky v laboratoři v době měření:

- teplota vzduchu 22,0 °C,
- relativní vlhkost vzduchu 25 %.

Na každém testovaném materiálu bylo provedeno na přístroji *PERMETEST* celkem deset měření výparného odporu. Měřená místa byla uložena minimálně 10 cm od okraje textilního materiálu a byla postupně uložena přes šíři hodnoceného materiálu.

Toto měření bylo rozděleno do dvou části. V první části byly měřeny originální nevyprané materiály, a to celkem 5krát každý z nich. V druhé části byly 5krát měřeny materiály, na kterých byla předem simulována údržba (byly předem 5krát vyprané a následně usušené a vyžehlené).

Přístroj byl pro potřeby tohoto měření zkalibrován kalibračním vzorkem s hodnotou výparného odporu Ret 4,6 $Pa \cdot m^2 \cdot W^{-1}$.

Přístroj *PERMETEST* se spustí hlavním vypínačem, doplní se destilovaná voda a následně je nutné provést kalibraci bez vzorku a pak s vloženým kalibračním vzorkem. Přístroj je datově propojen s počítačem a ovládání probíhá pomocí softwaru. Každé jednotlivé měření začíná tím, že se provede referenční měření bez vzorku (tlačítko Reference - START). Poté se měřený vzorek textilie bez napětí a skladů upne na zkušební hlavu lícní stranou směrem nahoru a provede se měření vzorku samotného (tlačítko Sample - START). Řádné upnutí vzorku je možné před započetím měření vizuálně zkontrolovat přes průhledové okénko. Po dokončení měření je možné z displeje počítače odečíst a zaevidovat naměřená data výparného odporu.

7.7.1 Hodnoty výparného odporu

Naměřená data výparného odporu originálních materiálů a materiálů po simulované údržbě (po praní, sušení a žehlení) jsou v tabulkách 13 a 14.

Tabulka 13: Výparný odpor I – naměřené hodnoty (vzorky před praním)

Výparný odpor I [$Pa \cdot m^2 \cdot W^{-1}$]					
Měření	*1.*	*2.*	*3.*	*4.*	*5.*
Materiál A	2,8	2,6	2,3	2,3	2,6
Materiál B	2,3	2,3	2,4	2,4	2,3

Výparný odpor I [Pa·m²·W⁻¹]					
Měření	*1.*	*2.*	*3.*	*4.*	*5.*
Materiál C	5,8	5,8	6,1	6,1	5,8
Materiál D	2,5	2,2	2,9	2,5	2,5

Tabulka 14: Výparný odpor II – naměřené hodnoty (vzorky po simulované údržbě)

Výparný odpor II [Pa·m²·W⁻¹] (po simulované údržbě)					
Měření	*1.*	*2.*	*3.*	*4.*	*5.*
Materiál A	2,6	2,8	3,1	2,8	3,1
Materiál B	2,9	2,0	2,3	2,9	2,7
Materiál C	4,4	4,6	4,8	4,5	4,7
Materiál D	2,5	2,7	2,6	2,6	2,6

7.7.2 Vyhodnocení výparného odporu

Materiál C dosahoval ze všech testovaných materiálů zcela nejhorších hodnot výparného odporu, a jako statisticky významný se projevil i poměrně značný rozdíl mezi vzorky testovanými před praním a vzorky testovanými po praní. U materiálů A, B a D se již rozdíly v hodnotách výparného odporu mezi originálními materiály a materiály, které prošly simulovanou údržbou, neprojevily jako statisticky významné. Tyto materiály dosahovaly velmi dobrých hodnot výparného odporu, které se v průměru pohybovaly v rozmezí Ret 2,34 - 2,88 Pa·m²·W⁻¹, což po přepočtu odpovídá velmi dobré paropropustnosti s hodnotou MVTR 48 000 g/m²/24 hod.

Statistická data výparného odporu originálních materiálů a materiálů se simulovanou údržbou jsou v tabulkách 15 a 16.

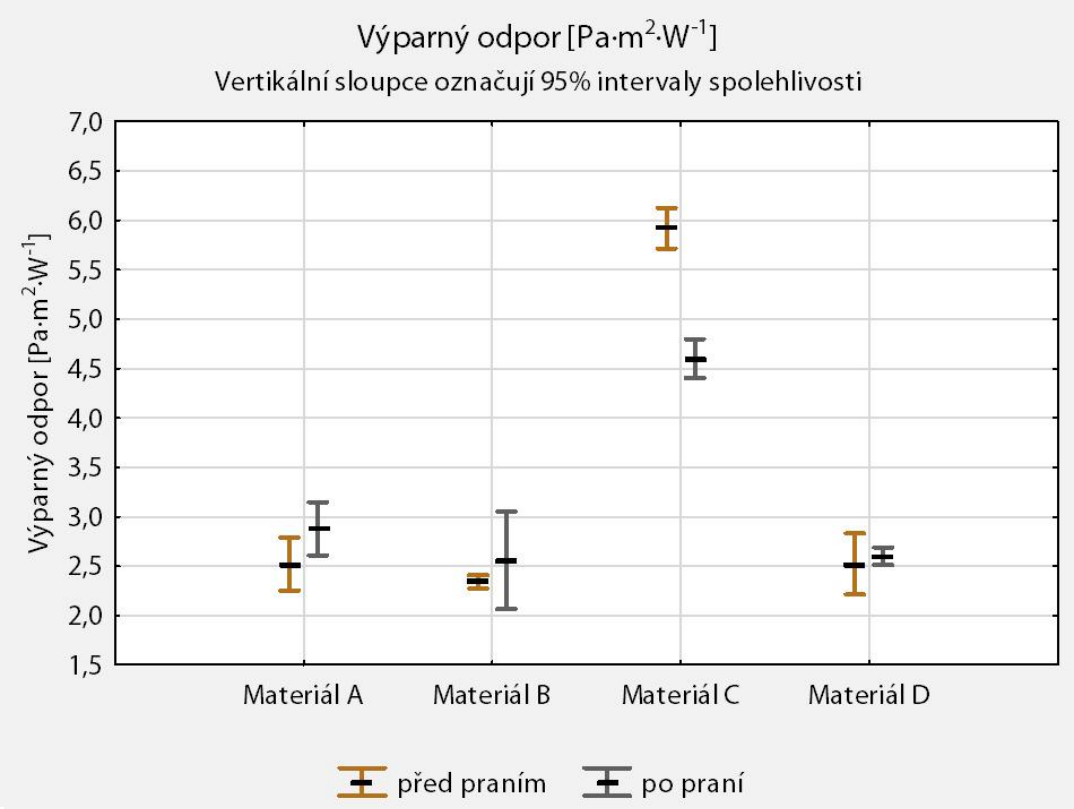
Tabulka 15: Výparný odpor I – statistická data (vzorky před praním)

Výparný odpor I [Pa·m²·W⁻¹] - statistická data										
	Počet měření	*Průměr*	*Interval spolehlivosti -95 %*	*Interval spolehlivosti 95 %*	*Medián*	*Min.*	*Max.*	*Rozptyl*	*Směrodatná odchylka*	*Variační koeficient*
Materiál A	5	2,52	2,2508	2,7892	2,60	2,30	2,80	0,0470	0,2168	8,60
Materiál B	5	2,34	2,2720	2,4080	2,30	2,30	2,40	0,0030	0,0548	2,34
Materiál C	5	5,92	5,7160	6,1240	5,80	5,80	6,10	0,0270	0,1643	2,78
Materiál D	5	2,52	2,2108	2,8292	2,50	2,20	2,90	0,0620	0,2490	9,88

Tabulka 16: Výparný odpor II – statistická data (vzorky po simulované údržbě)

Výparný odpor II [Pa·m².W⁻¹] (po simulované údržbě) - statistická data										
	Počet měření	*Průměr*	*Interval spolehlivosti -95 %*	*Interval spolehlivosti 95 %*	*Medián*	*Min.*	*Max.*	*Rozptyl*	*Směrodatná odchylka*	*Variační koeficient*
Materiál A	5	2,88	2,6108	3,1492	2,80	2,60	3,10	0,0470	0,2168	7,53
Materiál B	5	2,56	2,0664	3,0536	2,70	2,00	2,90	0,1580	0,3975	15,53
Materiál C	5	4,60	4,4037	4,7963	4,60	4,40	4,80	0,0250	0,1581	3,44
Materiál D	5	2,60	2,5122	2,6878	2,60	2,50	2,70	0,0050	0,0707	2,72

Vliv originálních materiálů a materiálů se simulovanou údržbou na výparný odpor ukazuje graf na obrázku 18.



Obrázek 18: Graf – Vliv originálních materiálů a materiálů se simulovanou údržbou na výparný odpor

8 Snímkování testovaných materiálů na rastrovacím elektronovém mikroskopu

Snímkování testovaných materiálů probíhá na rastrovacím elektronovém mikroskopu *TESCAN VEGA3*. Snímkování předchází příprava preparátů, které se následně vkládají do elektronového mikroskopu. Povrch preparátu musí být vodivý, proto se naprašuje tenkou vrstvou zlata. Při snímání elektrony rastrují po povrchu preparátu, a elektrony odražené od povrchu preparátu nebo elektrony vyražené z preparátu (těm se říká sekundární elektrony) zachycují detektory a ty je následně převádějí na obraz, který je zobrazen na monitoru počítače v softwaru *VEGA TC*. Rychlost řádkování má vliv na výslednou

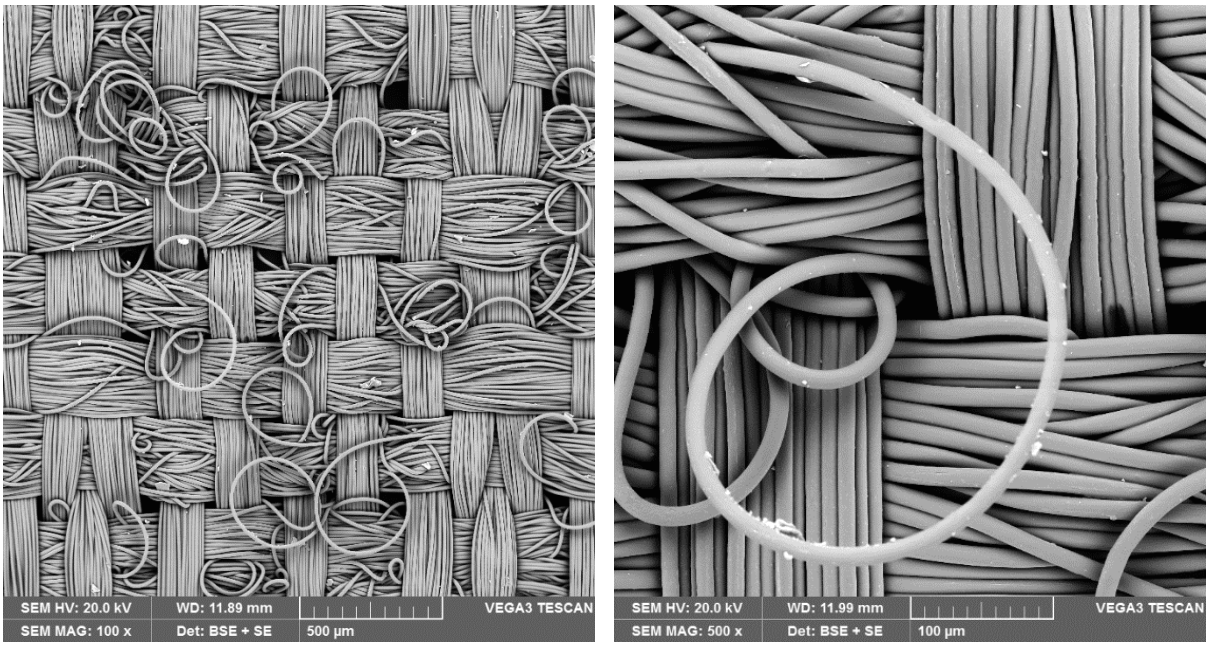
kvalitu obrazu – čím je rychlost řádkování pomalejší, tím je snímek kvalitnější. V rámci softwaru *VEGA TC* je možné provádět i základní obrazová měření preparátu.

Ze vzorků materiálů, byly na rastrovacím elektronovém mikroskopu vytvořeny snímky z podélného a z příčného pohledu. Ze snímků příčného řezu byla následně změřena tloušťka samotné polyuretanové membrány.

8.1 Materiál A

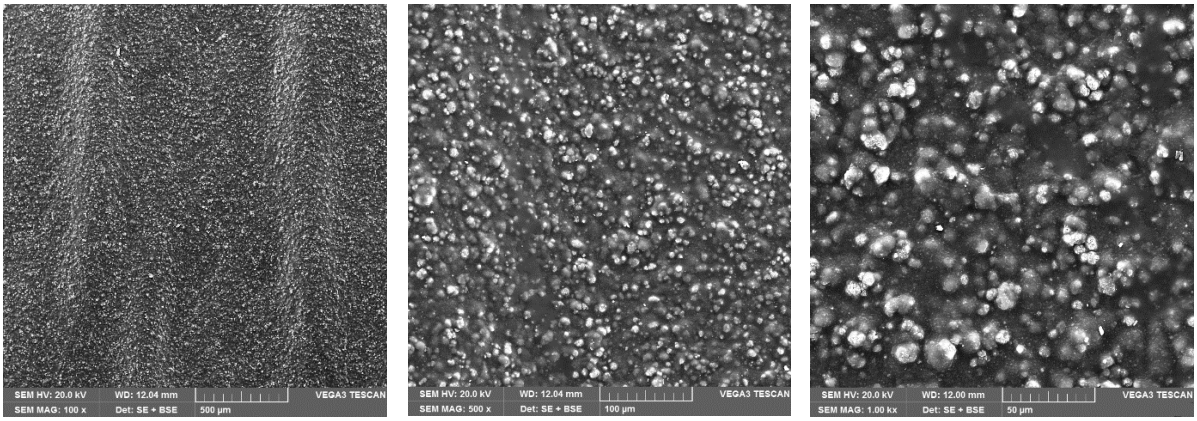
8.1.1 Podélné a příčné snímky materiálu A

Podélný pohled na plochu vrchní nosné textilie materiálu A při zvětšení 100× a 500× je na obrázku 19.



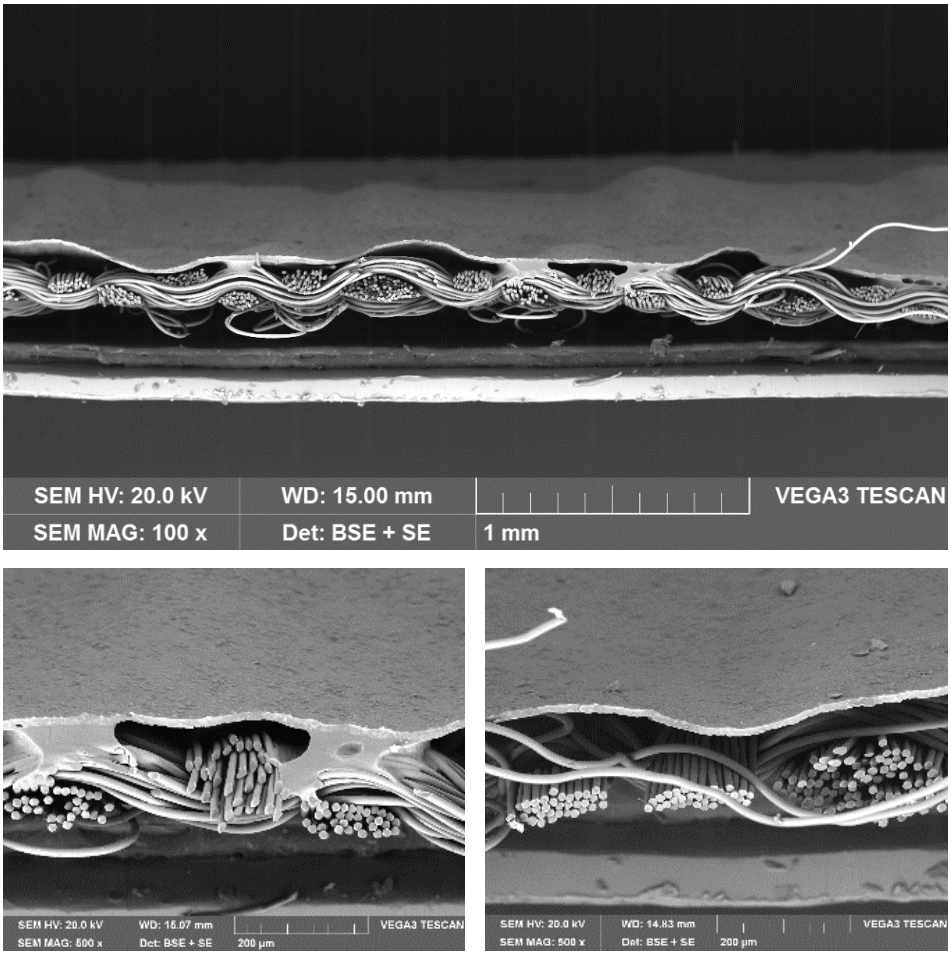
Obrázek 19: Podélný pohled na plochu vrchní nosné textilie materiálu A

Podélný pohled na plochu membrány materiálu A při zvětšení 100×, 500× a 1 000× je na obrázku 20.



Obrázek 20: Podélný pohled na plochu membrány materiálu A

Příčný pohled na materiál A při zvětšení 100× a 500× je na obrázku 21.

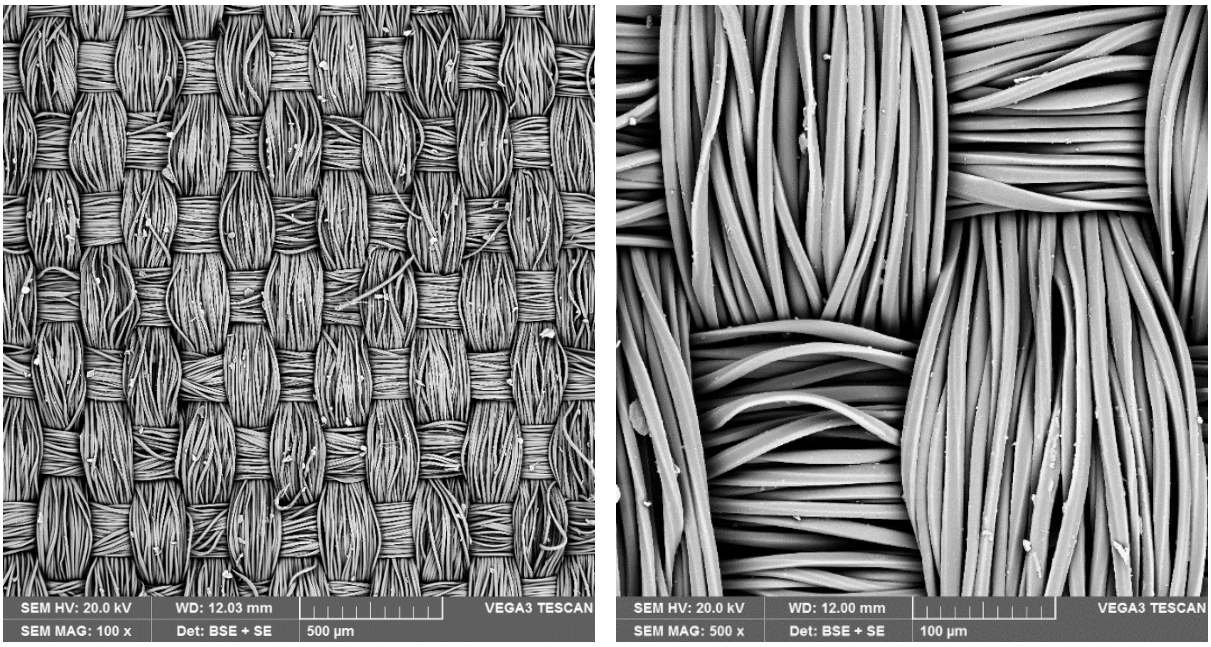


Obrázek 21: Příčný pohled na materiál A

8.2 Materiál B

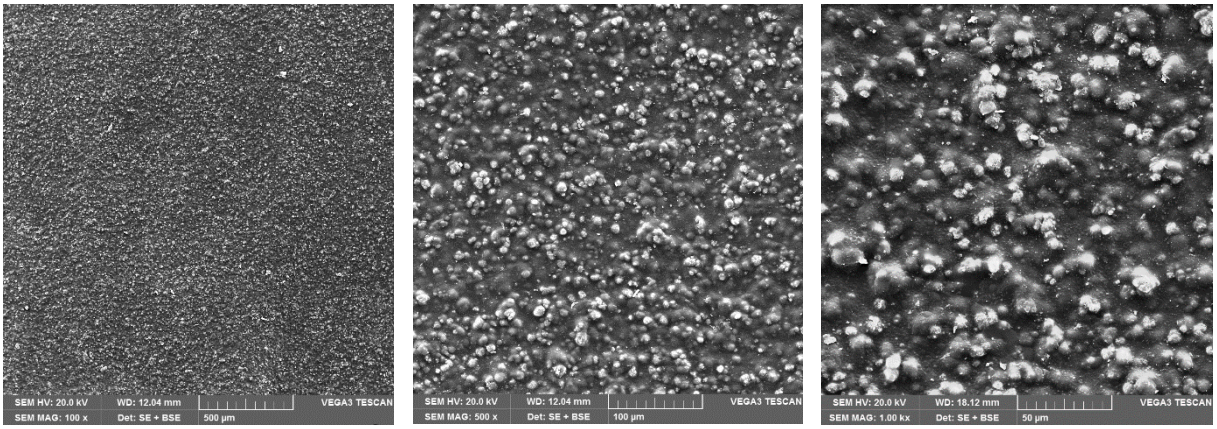
8.2.1 Podélné a příčné snímky materiálu B

Podélný pohled na plochu vrchní nosné textilie materiálu B při zvětšení 100× a 500× je na obrázku 22.



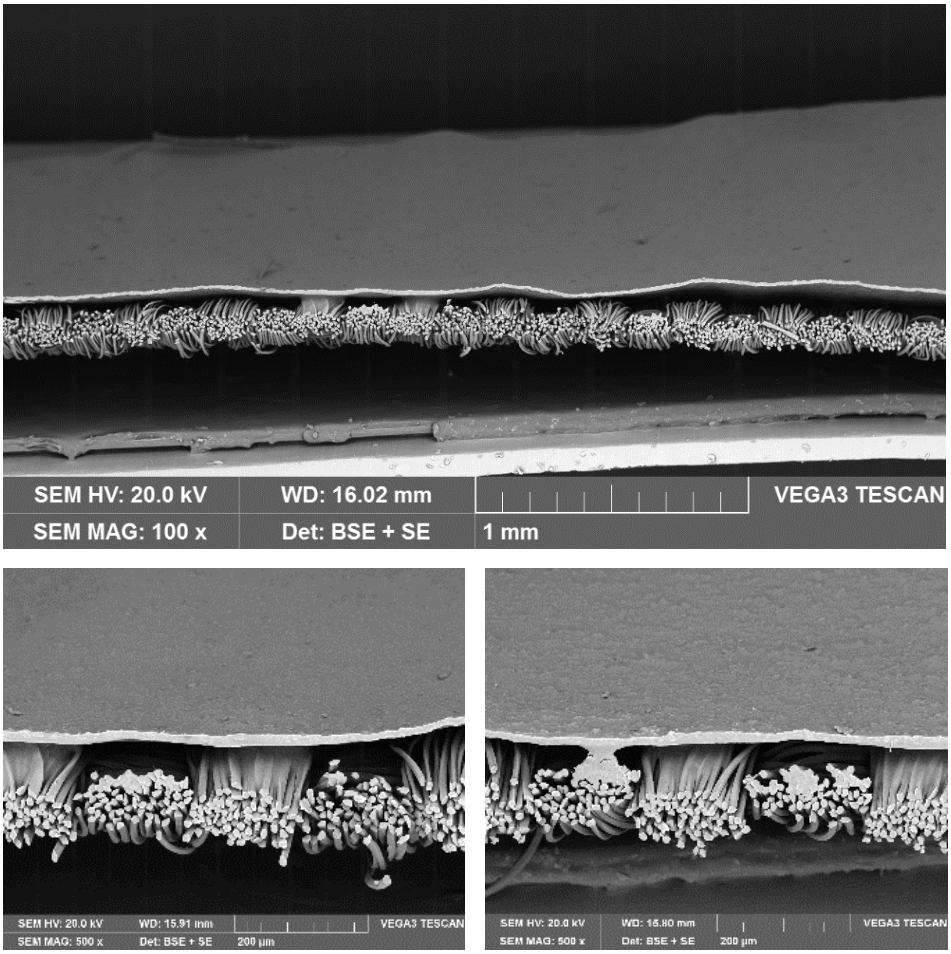
Obrázek 22: Podélný pohled na plochu vrchní nosné textilie materiálu B

Podélný pohled na plochu membrány materiálu B při zvětšení 100×, 500× a 1 000× je na obrázku 23.



Obrázek 23: Podélný pohled na plochu membrány materiálu B

Příčný pohled na materiál B při zvětšení 100× a 500× je na obrázku 24.

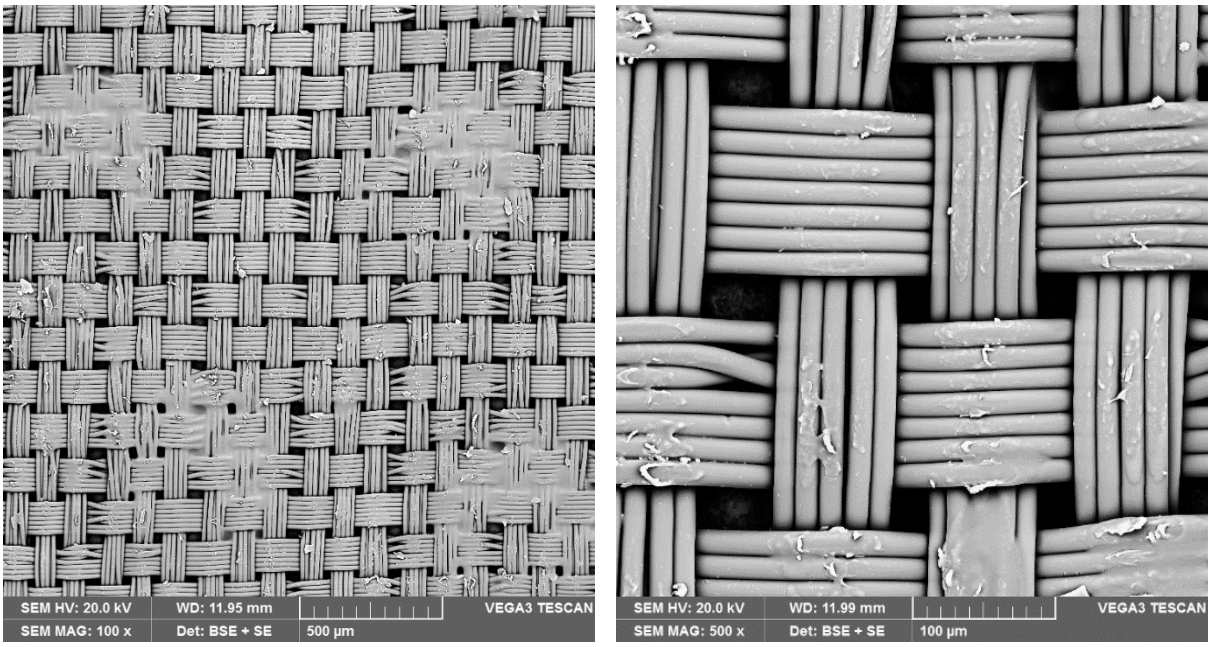


Obrázek 24: Příčný pohled na materiál B

8.3 Materiál C

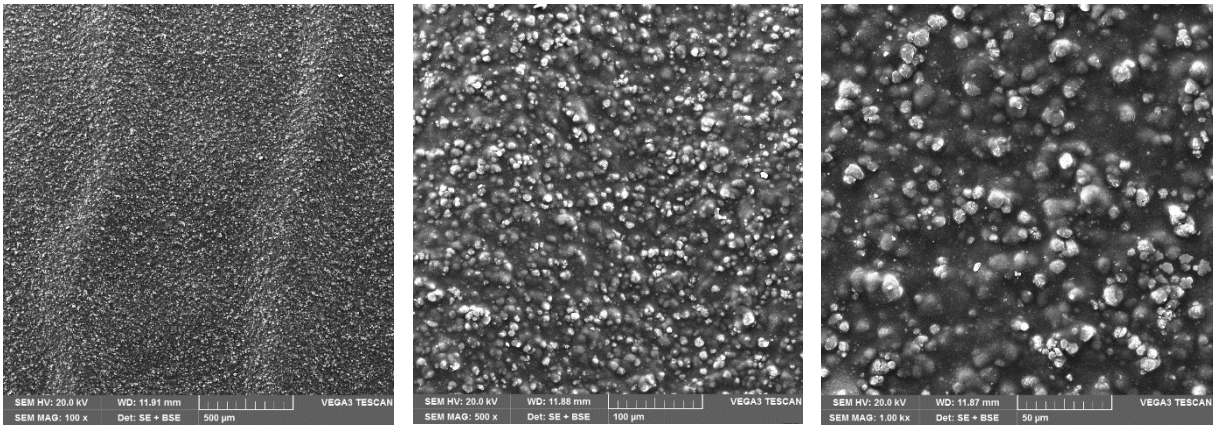
8.3.1 Podélné a příčné snímky materiálu C

Podélný pohled na plochu vrchní nosné textilie materiálu C při zvětšení 100× a 500× je na obrázku 25.



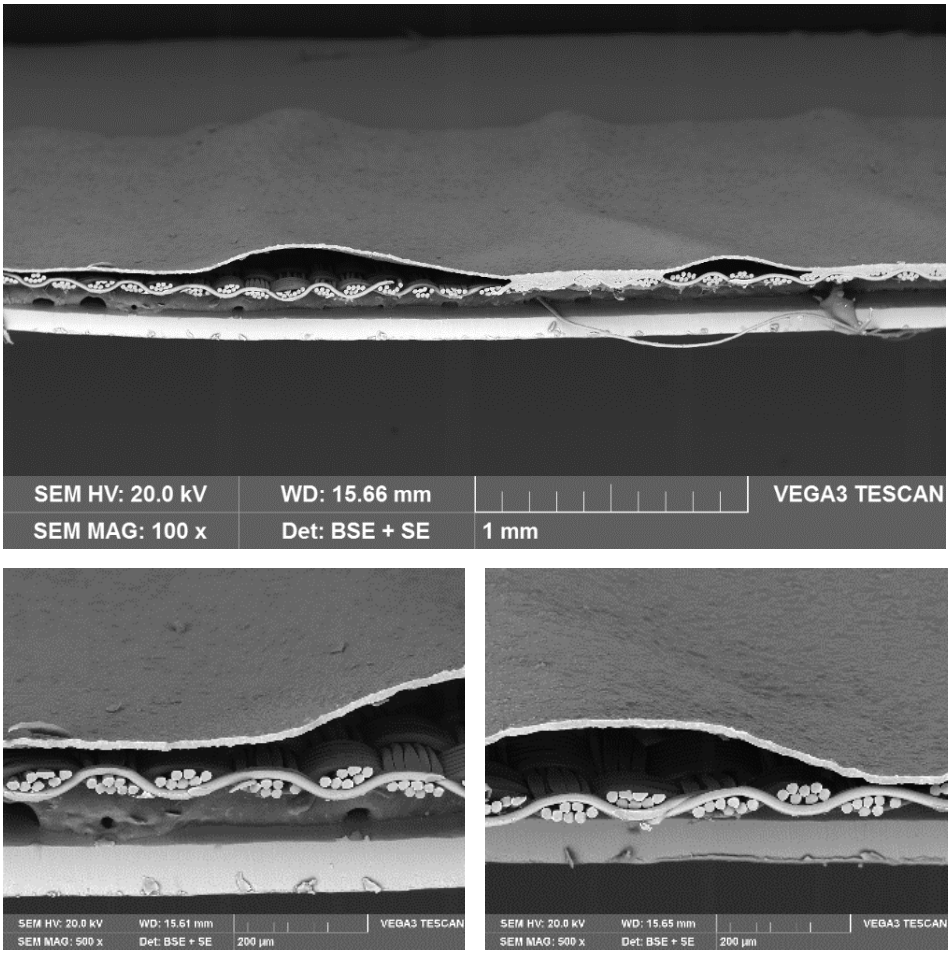
Obrázek 25: Podélný pohled na plochu vrchní nosné textilie materiálu C

Podélný pohled na plochu membrány materiálu C při zvětšení 100×, 500× a 1 000× je na obrázku 26.



Obrázek 26: Podélný pohled na plochu membrány materiálu C

Příčný pohled na materiál C při zvětšení 100× a 500× je na obrázku 27.

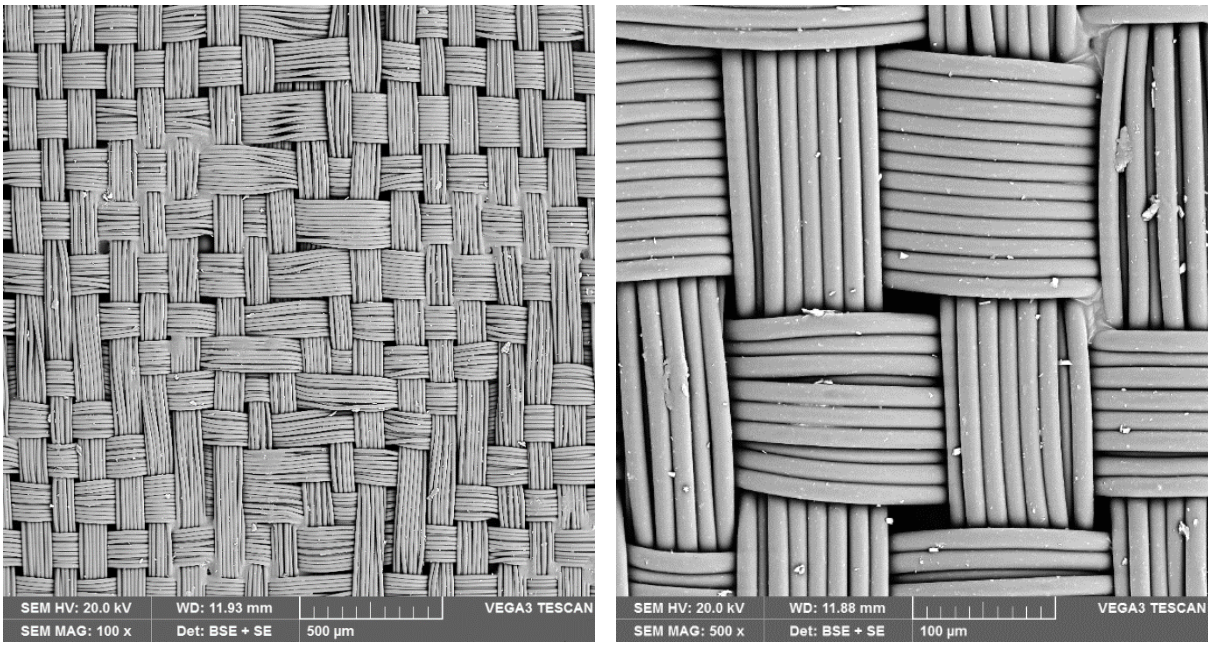


Obrázek 27: Příčný pohled na materiál C

8.4 Materiál D

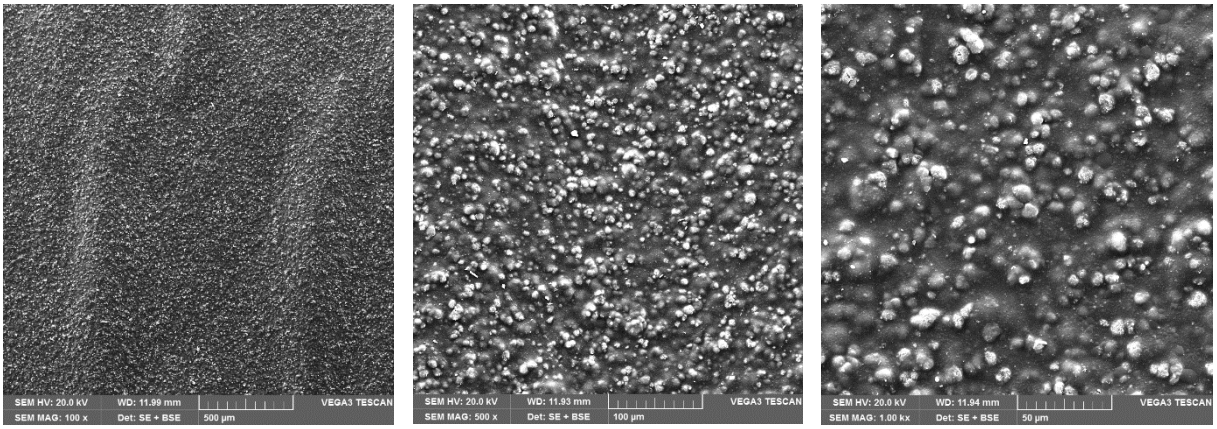
8.4.1 Podélné a příčné snímky materiálu D

Podélný pohled na plochu vrchní nosné textilie materiálu D při zvětšení 100× a 500× je na obrázku 28.



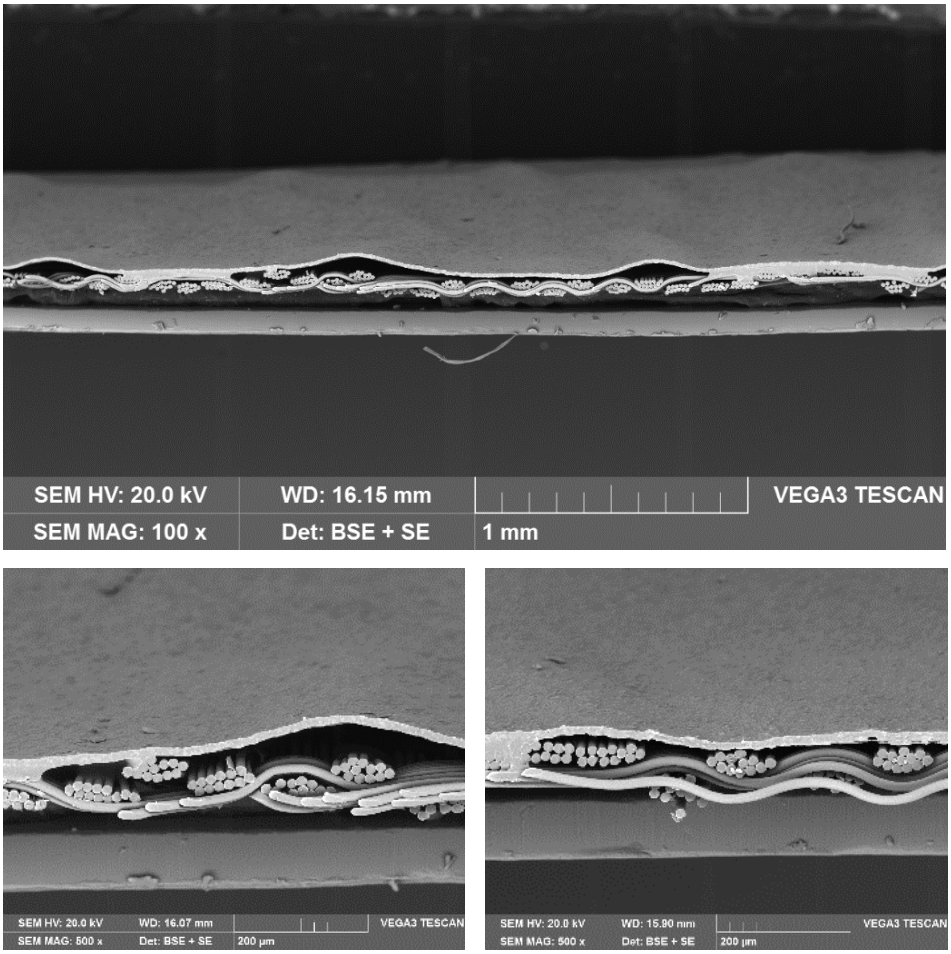
Obrázek 28: Podélný pohled na plochu vrchní nosné textilie materiálu D

Podélný pohled na plochu membrány materiálu D při zvětšení 100×, 500× a 1 000× je na obrázku 29.



Obrázek 29: Podélný pohled na plochu membrány materiálu D

Příčný pohled na materiál D při zvětšení 100× a 500× je na obrázku 30.



Obrázek 30: Příčný pohled na materiál D

8.5 Vyhodnocení tloušťky membrány

Obrazové měření tloušťky samotné membrány probíhalo v rámci softwaru *VEGA TC*, současně při snímání preparátů materiálů na elektronovém rastrovacím mikroskopu *TESCAN VEGA3*. Měření probíhalo vždy na třech místech preparátů materiálů v příčném řezu. Úkolem měření bylo zjistit přibližnou tloušťku membrány jednotlivých materiálů. Pro přesnější určení tloušťky by bylo vhodné proměření pomocí specializovaného softwaru *NIS-Elements*.

Ze statisticky zpracovaných dat vyplývá, že membrána, použitá u všech čtyřech materiálů, je nejspíše shodná, tedy shodné tloušťky, která se průměrně pohybuje v rozmezí 10-12 µm.

Naměřená data tloušťky membrán jednotlivých materiálů jsou v tabulce 17.

Tabulka 17: Tloušťka membrány – naměřené hodnoty

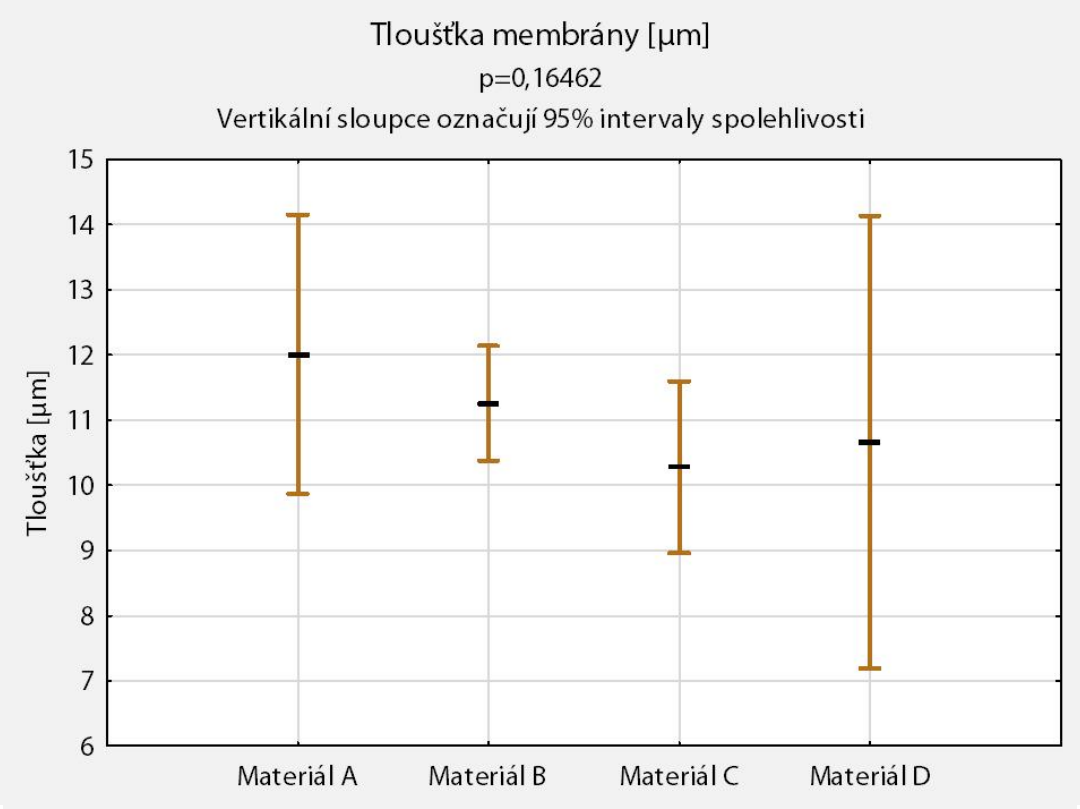
Tloušťka membrány [µm]			
Měření	*1.*	*2.*	*3.*
Materiál A	12,99	11,37	11,67
Materiál B	10,87	11,35	11,56
Materiál C	10,81	9,75	10,27
Materiál D	11,97	10,83	9,19

Statistická data tloušťky membrán jednotlivých materiálů jsou v tabulce 18.

Tabulka 18: Tloušťka membrán – statistická data

Tloušťka membrány [µm] - statistická data										
	Počet měření	*Průměr*	*Interval spolehlivosti -95 %*	*Interval spolehlivosti 95 %*	*Medián*	*Min.*	*Max.*	*Rozptyl*	*Směrodatná odchylka*	*Variační koeficient*
Materiál A	3	12,01	9,86902	14,15098	11,67	11,37	12,99	0,7428	0,86186	7,17617
Materiál B	3	11,26	10,38137	12,13863	11,35	10,87	11,56	0,1251	0,35370	3,14116
Materiál C	3	10,28	8,96000	11,59334	10,27	9,75	10,81	0,2809	0,53003	5,15762
Materiál D	3	10,66	7,19182	14,13485	10,83	9,19	11,97	1,9529	1,39747	13,10541

Statistické vyhodnocení tloušťky membrán jednotlivých materiálů ukazuje graf na obrázku 31.



Obrázek 31: Graf – Statistické vyhodnocení tloušťky membrán

9 Závěr

Cílem této kvalifikační práce bylo porovnání vlastností laminátů s neporézní hydrofilní membránou, určených pro výrobu outdoorového oblečení, a výběr nejvhodnějšího laminátu pro výrobu svrchního běžeckého oblečení, a to s ohledem na komfort běžce. Běžecké oblečení by mělo být velmi lehké, dokonale voděodolné a větruodolné, a mělo by být schopné co nejvíce odvádět pot od těla běžce směrem do okolního prostředí. Oblečení běžce extrémních překážkových závodů navíc vyžaduje častou údržbu. Co nejlepší parametry paropropustnosti, neprodyšnosti a vodoodpudivé vlastnosti vrchní textilie by si tedy toto oblečení mělo zachovat i po opakované údržbě.

V kvalifikační práci byly hodnoceny základní parametry testovaných textilií, jako je jejich tloušťka a plošná hmotnost. Z vyhodnocení plošné hmotnosti vyplývá, že materiály C a D

jsou pro výrobu oděvního výrobku pro běžce vhodnější – jejich gramáž je totiž téměř dvojnásobně nižší, než v případě materiálů A a B. Z vyhodnocení tloušťky materiálu jako vhodnější, pro lehké běžecké oblečení, také vychází materiály C a D, protože jejich tloušťka je zhruba třetinová oproti materiálům A a B. Materiály A a B se tedy z pohledu tloušťky a plošné hmotnosti dají doporučit spíše pro výrobu svrchního turistického oblečení.

Dále byl hodnocen tepelný odpor jednotlivých materiálů. Průměrné hodnoty tepelného odporu měřených materiálů se pohybovaly v rozmezí 0,0028 - 0,0043 $K \cdot m^2 \cdot W^{-1}$. Vzhledem k poměrně malé tloušťce všech hodnocených materiálů jsou hodnoty jejich tepelného odporu v podstatě zanedbatelné a nejsou proto pro celkové hodnocení materiálů významné.

Především se bylo potřeba zaměřit na parametry ovlivňující termofyziologický komfort.

Prodyšnost byla měřena při tlakovém spádu 100 Pa, a byla u všech měřených materiálů nulová – všechny materiály byly neprodyšné. Z vyhodnocení prodyšnosti tedy vyplynulo, že všechny materiály jsou dokonale větruodolné.

Vybraná klíčová měření, jako je měření paropropustnosti, hydrostatické odolnosti a odolnosti proti povrchovému smáčení, byla ještě opětovně testována na materiálech, které prošly simulovanou údržbou (praním, sušením a žehlením).

V rámci hodnocení paropropustnosti se negativně projevil rozdíl, mezi vzorky testovanými před praním a po praní, pouze u materiálu C. Materiály A, B a D pak dosahovaly velmi příznivých hodnot výparného odporu, které se pohybovaly v poměrně úzkém rozmezí Ret 2,34 - 2,88 $Pa \cdot m^2 \cdot W^{-1}$, což po přepočtu odpovídá vynikající paropropustnosti s hodnotou MVTR zhruba 48 000 $g/m^2/24$ hod.

Nejlepších výsledků při hodnocení hydrostatické odolnosti dosahoval materiál B, s odolností 12 metrů výšky vodního sloupce. Materiály A a D ale také velmi dobře odolávaly, a to až do hodnoty zhruba 8 metrů výšky vodního sloupce. U materiálu C se nejvíce negativně projevil rozdíl mezi vzorky testovanými před praním a vzorky testovanými po praní – u vypraných vzorků materiálu C se odolnost snížila dokonce o 1,9 m výšky vodního sloupce.

Při hodnocení spray testu dosahovaly všechny originální nevyprané materiály vynikajících hodnot ISO 5 – byly dokonale nesmáčivé a na jejich površích při testu neulpěly žádné kapky vody. Materiály A, B a C, které prošly simulovanou údržbou, již ale vykazovaly známky smočení. Materiál D ale oproti tomu i po simulované údržbě velmi dobře odolával spray testu, a to téměř bez známek smočení – naměřené hodnoty spray testu se pohybovaly v rozmezí ISO 5 až ISO 4.

Vyhodnocení snímkování na elektronovém rastrovacím mikroskopu poskytlo informaci o tloušťce membrány. Membrána použitá u všech čtyřech materiálů je shodné tloušťky, a pohybuje se v rozmezí zhruba 10-12 µm.

Z hlediska vyšší plošné hmotnosti a tloušťky textilie lze z výběru vyloučit materiály A a B. Oblečení určené pro běh nesmí zatěžovat běžce váhou navíc a musí běžce co nejméně omezovat v pohybu.

Materiál C sice vyniká svou nízkou plošnou hmotností a malou tloušťkou, ale jeho hydrostatická odolnost je bohužel nejhorší z testovaných. Vyhodnocení hydrostatické odolnosti navíc u materiálu C ukázalo i statisticky významné snížení odolnosti u vzorků, které prošly simulovanou údržbou.

Po vyhodnocení výše uvedených parametrů se tedy jako nejvhodnější ukázal materiál D, který má jak výbornou paropropustnost MVTR 48 000 g/m^2/24 hod (naměřená hodnota výparného odporu byla Ret 2,52 Pa·m^2·W^{-1}), tak velmi dobrou hydrostatickou odolnost (přes 8 metrů výšky vodního sloupce), a zcela nejlepších výsledků, ze všech testovaných materiálů, dosahoval ve spray testu, kde s hodnotami ISO 4 až ISO 5 obstál velmi dobře i po simulované údržbě, přičemž jeho plošná hmotnost je pouze 56,74 g/m^2 a tloušťka jen 0,05 mm, což z něj dělá nejvhodnější materiál pro výrobu lehkého svrchního běžeckého oblečení.

Seznam použité literatury

[1] HES, Luboš a Petr SLUKA. Úvod do komfortu textilií. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-926-0.

[2] KNÍŽEK, Roman. Oděvy pro sportovní a outdoorové aktivity. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2013. ISBN 978-80-7494-012-5.

[3] Vrstvení oblečení. In: Sportisimo [online]. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: https://www.sportisimo.cz/poradna/vrstveni-obleceni

[4] GORE-TEX Active products. In: GORE-TEX [online]. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: https://www.gore-tex.com/technology/outerwear/gore-tex-active-products

[5] Performance of Sympatex Membrane. In: Sympatex [online]. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: http://www.sympatex.com/en/membrane/213/performance

[6] Norma TUL č. IN 23-304-01/01: Stanovení termofyziologických vlastností textilií. 2004.

[7] Norma TUL č. IN 23-304-02/01: Měření tepelných vlastností na přístroji Alambeta. 2004.

[8] Norma TUL č. IN 33-302-01/01: Hodnocení prodyšnosti tkanin. 2003.

[9] Norma ČSN EN ISO 4920: Plošné textilie - Stanovení odolnosti vůči povrchovému smáčení (zkrápěcí metoda). 2013.

[10] Norma ČSN EN 20811: Textilie. Stanovení odolnosti proti pronikání vody. Zkouška tlakem vody. 1994.

[11] Technologie pro řadu Sport & Outdoor. In: Nanomembrane [online]. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: http://www.nanomembrane.cz/cs/nase-reseni/sport-outdoor

Seznam obrázků

Obrázek 1: Záběry z extrémních překážkových závodů 14

Obrázek 2: Vrstvené oblékání 17

Obrázek 3: Ukázka zjednodušeného zkoušení hydrostatické odolnosti 19

Obrázek 4: Prostup vlhkosti z povrchu pokožky skrz oděvní do vnějšího prostředí 22

Obrázek 5: Odvod vlhkosti pomocí principu „stromového efektu“ 23

Obrázek 6: Rozdíl mezi adsorpcí a absorpcí 24

Obrázek 7: Schematický příčný řez membránovým laminátem s vyznačením funkčních vlastností 25

Obrázek 8: Schematický příčný řez dvouvrstvým laminátem 29

Obrázek 9: Materiál A – pohled na vrchní nosnou textilii a pohled na membránu 31

Obrázek 10: Materiál B – pohled na vrchní nosnou textilii a pohled na membránu 31

Obrázek 11: Materiál C – pohled na vrchní nosnou textilii a pohled na membránu 32

Obrázek 12: Materiál D – pohled na vrchní nosnou textilii a pohled na membránu 33

Obrázek 13: Graf – Statistické vyhodnocení tloušťky 36

Obrázek 14: Graf – Statistické vyhodnocení plošné hmotnosti 39

Obrázek 15: Graf – Statistické vyhodnocení tepelného odporu 41

Obrázek 16: Schéma ISO pro hodnocení zkoušky zkrápěním 44

Obrázek 17: Graf – Vliv originálních materiálů a materiálů se simulovanou údržbou na hydrostatickou odolnost 49

Obrázek 18: Graf – Vliv originálních materiálů a materiálů se simulovanou údržbou na výparný odpor 53

Obrázek 19: Podélný pohled na plochu vrchní nosné textilie materiálu A 54

Obrázek 20: Podélný pohled na plochu membrány materiálu A 55

Obrázek 21: Příčný pohled na materiál A 55

Obrázek 22: Podélný pohled na plochu vrchní nosné textilie materiálu B 56

Obrázek 23: Podélný pohled na plochu membrány materiálu B 56

Obrázek 24: Příčný pohled na materiál B 57

Obrázek 25: Podélný pohled na plochu vrchní nosné textilie materiálu C 58

Obrázek 26: Podélný pohled na plochu membrány materiálu C 58

Obrázek 27: Příčný pohled na materiál C 59

Obrázek 28: Podélný pohled na plochu vrchní nosné textilie materiálu D 60

Obrázek 29: Podélný pohled na plochu membrány materiálu D 60

Obrázek 30: Příčný pohled na materiál D 61

Obrázek 31: Graf – Statistické vyhodnocení tloušťky membrán 63

Seznam tabulek

Tabulka 1: Tloušťka – naměřené hodnoty 35

Tabulka 2: Tloušťka – statistická data 36

Tabulka 3: Plošná hmotnost – přepočítané hodnoty 37

Tabulka 4: Plošná hmotnost – statistická data.....38

Tabulka 5: Tepelný odpor – naměřené hodnoty.....40

Tabulka 6: Tepelný odpor – statistická data.....40

Tabulka 7: Spray test II – hodnoty ISO (vzorky po simulované údržbě).....45

Tabulka 8: Vliv originálních materiálů a materiálů se simulovanou údržbou na spray test..45

Tabulka 9: Hydrostatická odolnost I – naměřené hodnoty (vzorky před praním).....47

Tabulka 10: Hydrostatická odolnost II – naměřené hodnoty (vzorky po simulované údržbě) 47

Tabulka 11: Hydrostatická odolnost I – statistická data (vzorky před praním).....48

Tabulka 12: Hydrostatická odolnost II – statistická data (vzorky po simulované údržbě).....48

Tabulka 13: Výparný odpor I – naměřené hodnoty (vzorky před praním).....50

Tabulka 14: Výparný odpor II – naměřené hodnoty (vzorky po simulované údržbě).....51

Tabulka 15: Výparný odpor I – statistická data (vzorky před praním).....52

Tabulka 16: Výparný odpor II – statistická data (vzorky po simulované údržbě).....52

Tabulka 17: Tloušťka membrány – naměřené hodnoty.....62

Tabulka 18: Tloušťka membrán – statistická data.....62

Seznam příloh

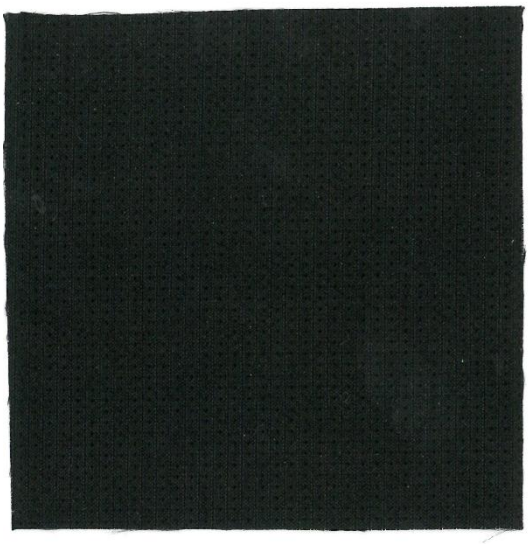
Příloha 1: Reálné vzorky testovaných materiálů.....71

Přílohy

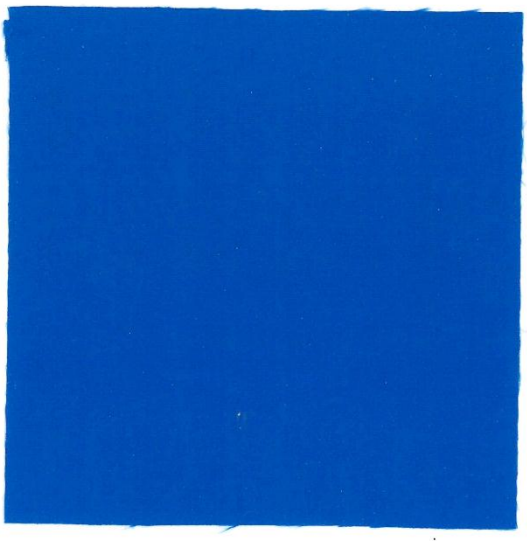
Příloha 1

Reálné vzorky testovaných materiálů

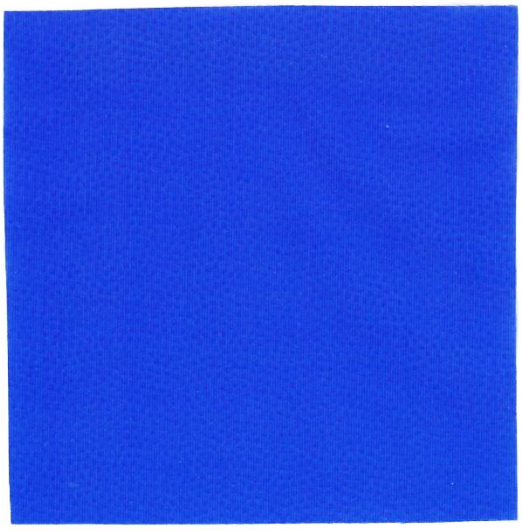
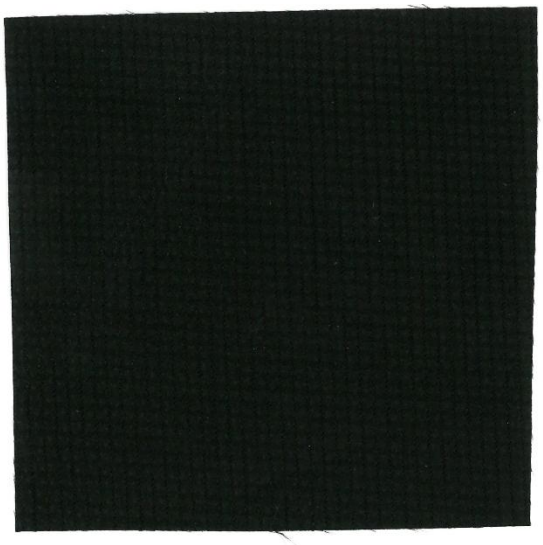
Materiál A



Materiál B



Materiál C



Materiál D