



Vliv proudění vzduchu na termofyziologické vlastnosti vrchových oděvů

Diplomová práce

Studijní program: N3108 – Průmyslový management
Studijní obor: 3106T014 – Produktový management - Textil
Autor práce: **Bc. Lenka Tomková**
Vedoucí práce: Ing. Pavla Těšinová, Ph.D.





The effect of airflow on thermo-physiological properties of outerwear

Diploma thesis

Study programme: N3108 – Industrial Management
Study branch: 3106T014 – Product Management - Textile
Author: **Bc. Lenka Tomková**
Supervisor: Ing. Pavla Těšinová, Ph.D.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lenka Tomková**

Osobní číslo: **T11000139**

Studijní program: **N3108 Průmyslový management**

Studijní obor: **Produktový management - Textil**

Název tématu: **Vliv proudění vzduchu na termofyziologické vlastnosti vrchových oděvů**

Zadávací katedra: **Katedra hodnocení textilií**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte literární rešerši na téma komfortních vlastností se zaměřením na změnu komfortu v různých povětrnostních podmínkách.
2. Proveďte měření komfortních vlastností jako např. paropropustnost a tepelný odpor na materiálech pro vrchové oděvy při různém proudění vzduchu.
3. Proveďte vyhodnocení experimentu jako závislost na geometrických vlastnostech a parametrech textilií.
4. Diskutujte výsledky experimentu. Zhodnoťte, jak se liší jednotlivé typy materiálů.



Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **50 - 60 stran**

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

Seznam odborné literatury:

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.

Shishoo, R.: Textiles in sport. 1.vyd. Cambridge: Woodhead publishing Limited, 2005. 201 s. ISBN-13: 978-1-85573-922-2.

IN 23-304-01/01 Stanovení termofyziologických vlastností textilií. Výzkumné centrum Textil LN00B090 a TUL: Liberec, 2004.

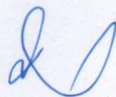
Vedoucí diplomové práce:

Ing. Pavla Těšínová, Ph.D.

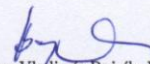
Katedra hodnocení textilií

Datum zadání diplomové práce: **27. července 2015**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2016**



Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka



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

V Liberci dne 31. března 2016

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

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucí mé diplomové práce Ing. Pavle Těšínové, Ph.D. za cenné rady, odborné vedení a trpělivost, které mi během zpracování diplomové práce poskytla. Děkuji také katedře hodnocení textilií za možnost využití laboratorní techniky.

Tímto bych chtěla poděkovat především rodině a přátelům, kteří mi byli po celou dobu studia psychickou a materiální oporou.

ANOTACE

Diplomová práce je zaměřena na zkoumání komfortních vlastností svrchních oděvů po změně rychlosti proudění vzduchu. Teoretická část se zabývá vlivem povětrnostních podmínek na komfortní vlastnosti textilií. V experimentální části práce je měřena relativní paropropustnost a tepelný odpor materiálů používaných pro svrchní oděvy při změně rychlosti proudění vzduchu.

KLÍČOVÁ SLOVA:

tepelný odpor, paropropustnost, rychlost proudění vzduchu, multifunkční materiály

ANNOTATION

The diploma thesis is focused on the research of comfort properties of outerwear after changing air velocity. The theoretical part deals with effect of environmental conditions on comfort properties of textiles. In the experimental part vapour permeability and thermal resistance of materials used for outerwear are measured to change air velocity.

KEY WORDS:

thermal resistance, vapour permeability, air velocity, multifunction materials

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN	5
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	7
Úvod	8
1 Oděvní komfort	9
1.1 Termofyziologický oděvní komfort.....	9
2 Termoregulace	10
3 Přenos tepla	10
3.1 Vedením (kondukce)	10
3.2 Prouděním (konvekce).....	11
3.3 Zářením (radiace)	11
4 Odvod kapalné vlhkosti z povrchu lidského těla.....	12
5 Hodnocení komfortních vlastností.....	13
5.1 Zkouška pocení vyhřívanou destičkou	13
5.2 Zkouška pomocí přístroje PERMETEST	15
5.3 Zkouška pomocí přístroje Alambeta.....	17
5.4 Teoreticky stanovený tepelný odpor	18
6 Hodnocení termofyziologických vlastností s důrazem na změnu v povětrnostních podmínkách	19
6.1 <i>Faktory ovlivňující měření přestupu tepla a vlhkosti v rovnovážném stavu skrz oděvní materiály</i>	19
6.2 <i>Vliv větru, pohybu a úprav oděvu na efektivní tepelný odpor izolační vrstvy oděvu s nízkou a vysokou prodyšností druhé a třetí vrstvy.</i>	20
6.3 <i>Vliv rychlosti větru a otvorů oděvu pro hlavu, končetiny a trup na lokální rychlost ventilace a tepelnou izolaci oděvu.....</i>	22
6.4 <i>Popis přestupu tepla a hmoty skrz model tvořený jednovrstvým textilním systémem. Část druhá: tepelný a výparný odpor.</i>	24
6.5 <i>Zjednodušený model pro přestup tepla prodyšnou textilií za použití pohyblivého válce</i>	26
6.6 <i>Vliv proudění vzduchu na tepelné vlastnosti textilií</i>	27
7 Multifunkční textilie	28

7.1	Zátěry.....	28
7.2	Membrány.....	28
7.3	Typy membrán dle konstrukce	30
8	Popis experimentu	31
8.1	Popis vzorků tkanin	31
8.1.1	Typ 1.....	31
8.1.2	Typ 2.....	32
8.1.3	Typ 3.....	33
8.2	Experimentální měření relativní paropropustnosti a výparného odporu textilií.....	34
8.2.1	Výsledky měření vzorků typu 1	35
8.2.2	Výsledky měření vzorků typu 2	38
8.2.3	Výsledky měření vzorků typu 3	41
8.3	Experimentální měření tepelného odporu textilií	43
8.3.1	Výsledky měření vzorků typu 1	44
8.3.2	Výsledky měření vzorků typu 2	46
8.3.3	Výsledky měření vzorků typu 3	48
8.4	Teoreticky vypočítaný tepelný odpor textilií	50
8.4.1	Výsledky měření vzorků typu 1	50
8.4.2	Výsledky měření vzorků typu 2	52
8.4.3	Výsledky měření vzorků typu 3	53
9	Diskuze výsledků.....	55
10	Závěr.....	59
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	61
	SEZNAM OBRÁZKŮ	62
	SEZNAM TABULEK.....	63
	SEZNAM PŘÍLOH	64

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

Symbol	Jednotka	Název veličiny
A	[m ²]	plocha měřicí jednotky
c	[-]	rozteč řádků
Do	[1/m]	dostava osnovy
Du	[1/m]	dostava útku
d _o	[mm]	průměr osnovní nitě
d _u	[mm]	průměr útkové nitě
h	[m]	tloušťka
H	[W]	výchřevnost
Δ H _c	[-]	korekce výchřevnosti
ΔH _e	[-]	korekce výchřevnosti pro odolnost vůči vodním parám
K _{fa}	[W.m ⁻¹ .k ⁻¹]	tepelná vodivost
K _s	[W.m ⁻¹ .k ⁻¹]	tepelná vodivost sériová
K _p	[W.m ⁻¹ .k ⁻¹]	tepelná vodivost paralelní
K _a	[W.m ⁻¹ .k ⁻¹]	tepelná vodivost vzduchu
K _y	[W.m ⁻¹ .k ⁻¹]	tepelná vodivost materiálu
l	[mm]	délka nitě v očku
P	[%]	relativní propustnost pro vodní páry
p	[-]	porozita
p _a	[Pa]	parciální tlak vodní páry
p _m	[Pa]	nasyčený parciální tlak vodní páry
P _a	[Pa]	parciální tlak vodní páry ve vzduchu zkušebního prostoru
P _m	[Pa]	nasyčený parciální tlak vodní páry na povrchu měřicí hlavičky
q	[W/m ²]	tepelný tok
q _o	[W/m ²]	tepelný tok procházející měřicí hlavicí bez vzorku
q _v	[W/m ²]	tepelný tok procházející měřicí hlavicí s měřeným vzorkem
R	[m ² .K.W ⁻¹]	tepelný odpor

R_{tc}	$[m^2.K.W^{-1}]$	tepelná odolnost
R_{tc0}	$[m^2.K.W^{-1}]$	tepelná odolnost nezakryté destičky
R_{et}	$[m^2.Pa.W^{-1}]$	odolnost vůči vodním parám
T_a	$[^{\circ}C]$	teplota vzduchu
T_m	$[^{\circ}C]$	teplota povrchu měřicí jednotky
t_a	$[^{\circ}C]$	teplota vzduchu proudícího kanálem podél měřicí hlavice
t_m	$[^{\circ}C]$	teplota povrchu měřicí hlavice
w	$[-]$	rozteč sloupků
λ	$[W/m.k]$	tepelná vodivost
μ	$[-]$	zaplnění textilie

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ASTM	American Society for Testing and Materials
CO ₂	oxid uhličitý
ČSN	česká státní norma
DM	dolní mez
EN	evropská norma
HM	horní mez
IS	interval spolehlivosti
IPD	Individual Protection Directorate
např.	například
NCTRF	U.S. Navy Clothing and Textile Research Facility
str.	strana
PA	polyamid
PES	polyester
PU	polyuretan
USARIEM	U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine
TPU	termoplastický polyuretan
tzv.	tak zvaný

Úvod

Oděvy slouží především k ochraně člověka před nepříznivými vlivy okolí. Vzhledem k aktuálnímu počasí je důležité zvolit vhodný oděv. V podmínkách nepříznivého počasí jako je prudký déšť, silný vítr, chlad se spoléháme na oděv, který nás ochrání. Vzhledem k tomu se provádí výzkumy a inovace textilií ke zlepšení jejich vlastností. Největším trendem v oblasti textilu je zlepšování odolnosti textilií proti nepříznivým vlivům a zároveň zachování komfortních vlastností.

Tato diplomová práce se zabývá měřením komfortních vlastností svrchních oděvů při dvou rychlostech proudění vzduchu. Práce je rozdělena na dvě části teoretickou a experimentální. V teoretické části jsou shrnuty studie zabývající se vlivem povětrnostních podmínek na komfortní vlastnosti oděvu. Především sledují vliv tepelného odporu na změnu rychlosti proudění vzduchu. Ve studiích jsou použity k měření různé přístroje zjišťující komfortní vlastnosti a různé testované textilie. Dále je popsán oděvní komfort a jeho rozdělení, podrobněji je rozebrán termofyziologický oděvní komfort.

V experimentální části je měřen tepelný odpor, výparný odpor, relativní paropropustnost při změně proudění vzduchu. Testované vzorky jsou určeny pro svrchní ošacení, k účelu sportovnímu a pracovnímu, ke zvýšení komfortních vlastností jsou vzorky opatřeny membránou a zátěrem. Materiály membránové jsou laminovány na tkaninu a pleteninu a zátěrové materiály jsou nanášeny na tkaninu. Polovina membránových materiálů je laminována na textilií z vnější strany a z vnitřní je opatřena ochranným nánosem, ke zlepšení tepelných vlastností. Měření proběhlo na přístroji Permetest, z důvodu možnosti regulace rychlosti proudu vzduchu a Alambetě.

Vyhodnocení měření je popsáno v diskuzi, porovnávány jsou jednotlivé vzorky. Sledována je závislost měřených parametrů při změně proudění vzduchu.

Teoretická část

1 Oděvní komfort

Oděvní komfort je důležitým kritériem při určování kvality oděvního systému. Neovlivňuje pouze pohodlí oděvu poskytované nositeli, ale i jeho výkonnost a efektivitu. To je důležité především pro sportovní oděvy, které jsou konstruovány za účelem zlepšení podmínek nositele i při zvýšené fyzické zátěži. Dle časopisu World sports activewear je komfort důležitým ukazatelem kvality oděvu. A 94 % zákazníků si přeje, aby jejich oblečení bylo komfortní [1].

Definujeme-li pojem komfort jako subjektivně vnímaný pocit pohodlí, při kterém je organismus chráněn před vnějšími vlivy, větrem, deštěm a změnou vnějších teplot, lze tento složitý jev obecně rozdělit podle čtyř různých hledisek psychologický oděvní komfort, sensorický oděvní komfort, patofyziologický oděvní komfort, termofyziologický oděvní komfort [2].

1.1 Termofyziologický oděvní komfort

Termofyziologický oděvní komfort přímo ovlivňuje termoregulaci organismu závislou na vnitřním a vnějším prostředí člověka. Mechanismy k udržení stálé vnitřní teploty v měnících se vnějších podmínkách jsou realizovány pomocí přenosu tepla a vlhkosti skrz oděvní vrstvu do okolního prostředí.

Stav termofyziologického komfortu nastává tehdy, když je fyziologická, psychická a fyzikální složka v harmonii mezi člověkem a okolím. Organismus je dostatečně prokrven, nedochází k pocení ani nenastává pocit chladu [1], [2].

Ideální podmínky nastávají při teplotě 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 [2].

2 Termoregulace

Termoregulace organismu je děj, který udržuje stálou teplotu organismu. Organismy mohou žít jen v určitém teplotním rozmezí, čím jsou složitější, tím je toto rozmezí užší. Teplota je významná pro aktivitu bílkovin a tekutost plazmatických membrán. Vyšší organismy vynakládají velké úsilí, aby si udrželi optimální teplotu [3].

Lidské tělo si udržuje stálou teplotu jádra 37 °C, tato teplota za normálních okolností zůstává konstantní. Kolísání teploty je realizováno na povrchu (kůže) a v okrajových částech těla. Nejvyšší teploty jsou v dobře prokrvených částech 34- 36 °C a klesají v okrajových částech, jako jsou nohy a ruce na teplotu 29- 31 °C [2].

K udržení stálé tělesné teploty jsou používány dva mechanismy kontroly vasodilatace a vasokonstrikce. Funkce vasodilatace je snižování teploty jádra, nastává při přehřívání organismu. Vasokonstrikce nastává při podchlazení, zvyšuje teplotu jádra [2].

Izolaci těla zajišťuje kůže a zejména podkožní vrstvy s velkým obsahem tukové tkáně. Jedná se o účinnou izolaci bránící ztrátám tepla do okolí. Dobrou tepelnou ochranu poskytují, i oděvy zabraňují až polovině tepelných ztrát [3].

3 Přenos tepla

Přenos tepla nastává třemi způsoby:

- vedením
- prouděním
- zářením

3.1 Vedením (kondukce)

Představuje sdílení tepla z oblasti o vyšší teplotě do oblasti s nižší teplotou. Dochází k němu v hmotném prostředí, nejčastěji mezi pevnými tělesy, které se vzájemně dotýkají. Vedením ztrácí lidské tělo teplotu nejčastěji chodidly a zadní částí těla, při sezení nebo spánku. Také je hlavním mechanismem při šíření tepla mezi tenkými oděvními vrstvami [2], [4].

Tepelný odpor R [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$] deskových materiálů je velmi důležitým kritériem při hodnocení tepelného komfortu. Příkladem deskových materiálů mohou být plošné textilie, tenké vzduchové vrstvy a jiné plošné materiály o tloušťce h [m] [2].

Vztah pro tepelný odpor [2]:

$$R = \frac{h}{\lambda} \quad (1)$$

Vztah tepelného odporu deskových materiálů vychází z Fourierova zákona, který vyjadřuje úměrnost mezi tokem tepla q [W/m^2], tepelnou vodivostí λ [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$], a teplotním gradientem $\Delta t/\Delta x$ [2]:

$$q = -\lambda \times \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (2)$$

3.2 Prouděním (konvekce)

Přenos tepla prouděním nastává při sdílení tepla např. mezi tekutinou a tuhou látkou. K výměně tepla dochází proudící tekutinou, která předává nebo odebírá teplo z povrchu okolních těles. Mezi tuhým tělesem a proudícím prostředím se vytváří tzv. tepelná mezní vrstva o určité tloušťce, ve které se realizuje teplotní spád. Tepelná mezní vrstva je laminární nebo turbulentní. Při laminárním proudění tekutiny je tloušťka mezní vrstvy vyšší, v případě turbulentního proudění klesá [2], [4].

Proudění lze rozdělit na přirozené a nucené. Přirozené proudění je způsobeno gravitačním polem působícím na nerovnoměrně zahřátou tekutinu. Nucené proudění nastává, jestliže je tekutina ke svému pohybu přinucena např. ventilátorem [2], [4].

3.3 Zářením (radiace)

Energie vyzařovaná předměty je přenášena elektromagnetickým vlněním o různé délce vlny. Vzhledem k tomu se dělí na záření rentgenové, ultrafialové, světelné, infračervené, elektromagnetické vlny. Významné pro šíření tepelné energie je infračervené záření, protože se při pohlcování předměty mění v tepelnou energii. K šíření této energie není zapotřebí zprostředkující látky, čímž se liší od způsobu šíření tepla vedením a prouděním. Při dopadu záření na jiné těleso se energie zčásti odrazí, zčásti tělesem prochází a zčásti je jím pohlceno. Energie, která tělesem projde je pohlcena jiným tělesem, pohlcená energie těleso zahřívá [5].

4 Odvod kapalné vlhkosti z povrchu lidského těla

Kapalná vlhkost se tvoří na povrchu lidského těla v důsledku termoregulace. Pokud se organismus zahřívá, nejčastěji fyzickou aktivitou, lidské tělo produkuje vodu ve formě potu. Ochlazovací efekt nastane v případě odpaření potu z pokožky. Ve volném prostoru stačí k odpařování rozdíl parciálních tlaků. U oblečeného člověka se transport vlhkosti řídí následujícími principy [2]:

- **Difuze**

Přestup vodní páry skrz textilii pomocí difuze je uskutečňován póry. Vlhkost je odváděna ve směru nízkého parciálního tlaku. Difuzní odpor kladou jednotlivé oděvní vrstvy, které se sčítají a vzduchové mezery oděvního systému. Například pleteniny mají lepší propustnost pro vodní páry než tkaniny, jelikož je jejich porosita větší [2].

- **Kapilární odvod**

Kapilární odvod nastává, je-li kůže pokryta potem, v kontaktu s první vrstvou textilie. Tekutý pot vzlíná kapilárními cestami do její plochy všemi směry. Jedná se o knotový efekt, kterým je tekutina z povrchu lidského těla transportována do textilie. Pro zlepšení knotových vlastností a zvětšení vnitřního povrchu kapilárních kanálů se vlákna upravují např. laserovou úpravou, aby zvýšily svou drsnost a tím i kapilární tlak.

K přestupu vlhkosti z pokožky do textilie vyrobené z hydrofobních vláken, musí působit vhodná dynamická síla vytvořená vibracemi oděvu při tělesném pohybu. Nebo vhodně zvolenou povrchovou úpravou textilie [2].

- **Sorpce**

Sorpční proces nastane, když je textilie v kontaktu s vlhkostí. Vlhkost se nejprve dostane do neuspořádaných molekulárních oblastí ve struktuře vlákna, poté se naváže na volné hydrofilní skupiny. Vlákna s dobrou sorpční schopností jsou např. bavlněná nebo viskózní vlákna [2].

5 Hodnocení komfortních vlastností

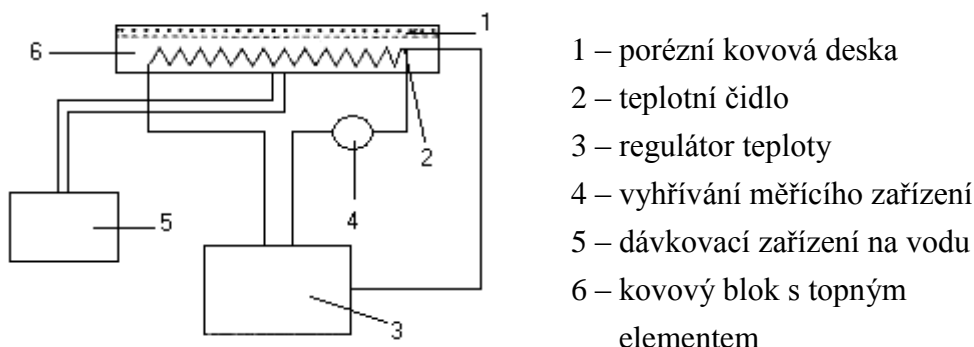
Obecně je komfort považován za něco individuálního a špatně měřitelného. Ve skutečnosti přímo souvisí s fyziologickými procesy lidského těla. Veškerá energie produkovaná lidským tělem musí být ve stejné míře tělem vydána. Proto lze termofyziologický komfort kvantitativně vyjádřit. Nejlepším způsobem měření se jeví testování na lidských subjektech. Provádí se v běžných podmínkách nebo kontrolovaných podmínkách klimatické komory. Avšak testování je velmi časově i finančně nákladné. Proto jsou upřednostňovány laboratorní metody měření. Nicméně testování na lidských subjektech je potřebné ke kalibraci měřících přístrojů. Korelace dat mezi testováním na lidských subjektech a laboratorním měření zajišťuje platnost laboratorních testů a výsledků jimi interpretovaných. Metoda splňující toto kritérium se nazývá skin model, je založena na napodobení lidské pokožky. Model je mezinárodně standardizovaný a to normou EN 31092 [1]. Termofyziologický komfort charakterizují dva parametry výparný odpor R_{et} [$\text{Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$] a tepelný odpor R_{tc} [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$].

5.1 Zkouška pocení vyhřívanou destičkou

Normou ČSN EN 31092 popsaná metoda zkouška pocení vyhřívanou destičkou je označována skin model. Měření probíhá elektricky vyhřívanou destičkou, na kterou se připevní zkušební vzorek obtékaný vzduchem proudícím paralelně s jeho povrchem. Zjišťovány jsou dva parametry tepelná odolnost a odolnost vůči vodním parám [6].

Zkušebním zařízením je měřicí jednotka s regulací teploty a přívodem vody, schéma znázorňuje obrázek 1. Skládá se z kovové destičky o tloušťce 3 mm a minimální plochou $0,04 \text{ m}^2$, připevněné ke kovovému bloku s elektrickým ohřívacím elementem. Destička pro měření odolnosti vůči vodním parám musí být pórovitá. Sálavé vyzařování povrchu destičky musí překročit koeficient 0,35 měřený při 20°C vlnové délky v rozmezí 8- $14\mu\text{m}$ dopadající kolmo na povrch destičky. Povrchová teplota je udržována konstantní mezi $\pm 0,1 \text{ K}$. K tomu slouží regulátor teploty obsahující teplotní čidlo měřicí jednotky [6].

Z důvodu zachování konstantní rychlosti odpařování vody je spínací jednotka vybavena spínačem hladiny. Poklesne-li hladina vody v destičce o 1mm pod povrch destičky, je zařízení automaticky aktivováno. Před přivedením k měřicí jednotce musí být voda přehřátá na teplotu měřicí jednotky [6].



Obr. 1.: Měřicí jednotka s regulací teploty a přívodem vody [6].

K přístroji náleží i tepelný chránič s regulací teploty. Funkce chrániče spočívá v zabránění úniku tepla po stranách a ze spodní části měřicí jednotky. Tloušťka chrániče je 15 mm a mezera mezi vrchní stranou tepelného chrániče a kovovou destičkou měřicí jednotky nepřesahuje 1,5 mm. Teplota chrániče a měřicí jednotky musí být udržována na stejné teplotě $\pm 0,1$ K pomocí regulátoru [6].

Pro zjišťování tepelné odolnosti R_{tc} [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$] materiálu je měřená vzduchová vrstva nad povrchem zkušebního zařízení odečtena od odporu zkušebního vzorku a vzduchové mezery. Odolnost nezakryté destičky se v normě nazývá konstanta přístroje R_{tc0} [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]. Oba údaje se stanovují za stejných podmínek měření. Podmínky měření jsou teplota povrchu měřicí jednotky T_m 35°C , teplota vzduchu ve zkušebním prostoru T_a 20°C , relativní vlhkost 65 % a rychlost vzduchu v_a 1 m/s. Tok tepla zkušebním vzorkem se měří po dosažení ustálených podmínek [6].

Rovnice odolnosti nezakryté destičky R_{tc0} [6]:

$$R_{tc0} = \frac{(T_m - T_a) \cdot A}{H - \Delta H_c} \quad (5)$$

Kde A [m^2] je plocha měřicí jednotky.

Rovnice tepelné odolnosti R_{tc} [6]:

$$R_{tc} = \frac{(T_m - T_a)}{H - \Delta H_c} - R_{tc0} \quad (6)$$

Kde H [W] je výhřevnost dodávaná měřicí jednotkou, ΔH_c [-] stanovuje korekci pro výhřevnost při měření tepelné odolnosti.

Odolnost vůči vodním parám R_{et} [m².Pa/W] je měřena vyhřívanou porézni destičkou, která je vybavena hladkou porézni membránou propouštějící vodní páry, ale nepropouštějící vodu. Voda přiváděná k vyhřívané destičce musí být destilovaná. Při kontaktu s vyhřívanou destičkou se voda odpařuje a prochází membránou ve formě páry. Zkušební vzorek není v kontaktu s vodou. Tepelný tok udržující stálou teplotu destičky je mírou propustnosti textilie pro páru. Podmínky měření jsou stanoveny následovně: teplota měřicí jednotky T_m a vzduchu T_a je 35°C, relativní vlhkost 40 %, rychlost vzduchu v_a 1m/s [6].

Rovnice odolnosti vůči vodním parám R_{et} [6]:

$$R_{et} = \frac{(p_m - p_a) \cdot A}{H - \Delta H_e} \quad (7)$$

Kde p_a [Pa] značí parciální tlak vodní páry ve vzduchu zkušebního prostoru při teplotě T_a , p_m [Pa] označuje nasycený parciální tlak vodní páry na povrchu měřicí jednotky při teplotě T_m , ΔH_e je korekce pro výhřevnost při měření odolnosti vůči vodním parám.

5.2 Zkouška pomocí přístroje PERMETEST

Přístroj je založen na přímém měření tepelného toku procházejícího povrchem tepelného modelu lidské pokožky (skin modelu). Povrch modelu je porézni a zvlhčován, čímž simuluje ochlazování lidské pokožky pocením. Na tento povrch se přiloží vzorek, který je z vrchní strany ofukován. Pomocí přístroje je stanoven výparný odpor, relativní propustnost textilií pro páru, tepelný odpor [7].

Relativní paropropustnost p [%] pro vodní páry je nenormalizovaný parametr, představující schopnost textilie propouštět vodní páry, který je přímo úměrný hodnotě příslušného výparného tepelného toku. Měřeno jako tepelný tok q_o pro 100 % propustnost a tepelný tok q_v snížený o propustnost měřené textilie. Vzorec paropropustnosti [7]:

$$p = 100 \cdot \frac{q_v}{q_o} \quad (8)$$

Výparný odpor R_{et} [Pa.m²/W] je normovaný parametr, stanovuje odpor kladený textilií k prostupu vodní páry. Jestliže je paropropustnost přímo úměrná hodnotě výparného tepelného toku, bude výparný odpor nepřímo úměrný. Vzorec výparného odporu [7]:

$$R_{et} = (P_m - P_a) \cdot (q_v^{-1} - q_o^{-1}) \quad (9)$$

Kde P_a je parciální tlak vodní páry ve vzduchu, přítomen v prostoru měřícího přístroje, P_m je nasycený parciální tlak na povrchu měřící hlavice přístroje.

Tepelný odpor R_{tc} [m².K/W] je normalizovaný parametr, charakterizující odpor kladený textilií, vůči prostupu tepla. Testování probíhá v suchém režimu, při definované teplotě t_m vnější strany textilie, která přenáší teplo pomocí konvekce skrz textilií do vzduchu o teplotě t_a . Vzorec tepelné odolnosti [7]:

$$R_{tc} = (t_m - t_a) \cdot (q_v^{-1} - q_o^{-1}) \quad (10)$$

5.3 Zkouška pomocí přístroje Alambeta

Přístroj pracuje na principu vyhřívání čelisti, do které je vložen vzorek textilie, na něž dosedá měřicí hlavice. Přístroj zaznamenává tepelný tok q , tepelný odpor r , tloušťku materiálu h , tepelnou vodivost λ , teplotní vodivost a [15].

Tepelný tok q [$\text{W}\cdot\text{m}^2$] je množství tepla šířící se z hlavice přístroje o teplotě t_2 do textilie o počáteční teplotě t_1 za jednotku času. Vzorec pro tepelný tok [15]:

$$q = b \frac{t_2 - t_1}{\sqrt{\pi \cdot t}} \quad (11)$$

Měrná tepelná vodivost λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] představuje množství tepla, které proteče jednotkou délky za jednotku času a vytvoří rozdíl teplot 1 K.

Měrná tepelná kapacita c [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] určuje množství tepla potřebného k ohřátí 1 kg látky o 1 K [15].

$$c = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (12)$$

Tepelná jímavost b [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{K}^{-1}$] tento parametr charakterizuje tepelný omak. Představuje množství tepla, které proteče při rozdílu teplot 1 K jednotkou plochy za jednotku času v důsledku akumulace tepla v jednotkovém objemu. Čím je b větší, tím pocítujeme omak textilie chladnější [15].

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \quad (13)$$

Plošný odpor vedení tepla r [$\text{K}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$] je dán poměrem tloušťky materiálu a měrné tepelné vodivosti [15].

$$r = \frac{h}{\lambda} \quad (14)$$

Měrná teplotní vodivost a [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$] vyjadřuje schopnost textilie vyrovnávat teplotu [15].

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad (15)$$

5.4 Teoreticky stanovený tepelný odpor

Model pro výpočet tepelného odporu vychází ze vztahu [18]:

$$R = \frac{h}{K_{fa}} \quad (16)$$

kde h [m] je tloušťka a K_{fa} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] tepelná vodivost průměrná.

$$K_{fa} = \frac{K_s + K_p}{2} \quad (17)$$

kde K_s [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] je tepelná vodivost sériová a K_p [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] tepelná vodivost paralelní.

$$K_s = \frac{K_a \cdot K_y}{P \cdot K_y + \mu \cdot K_a} \quad (18)$$

kde K_a [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] je tepelná vodivost vzduchu, K_y [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] tepelná vodivost materiálu a P [-] je porozita tkaniny, μ [-] zaplnění tkaniny.

Porozitu tkanin popisuje vzorec [17]:

$$P = 1 - \mu \quad (19)$$

Zaplnění tkanin je stanovena ze vzorce plošného zakrytí [17]:

$$\mu = D_o d_o + D_u d_u - d_o d_u \cdot D_o D_u \quad (20)$$

kde D_o [1/m] je dostava osnovních nití, D_u [1/m] je dostava útkových nití a d_o [mm] je průměr osnovních nití, d_u [mm] je průměr útkových nití.

Porozita pletenin je stanovena vzorcem [17]:

$$P = 1 - \left(\frac{\pi \cdot d^2 \cdot l}{4 \cdot w \cdot c \cdot t} \right) \quad (21)$$

kde l [mm] je délka nitě v očku, d [mm] stanovuje efektivní průměr nitě, w/c je rozteč sloupků/řádků, t [tex] označuje jemnost nitě.

6 Hodnocení termofyziologických vlastností s důrazem na změnu v povětrnostních podmínkách

6.1 Faktory ovlivňující měření přestupu tepla a vlhkosti v rovnovážném stavu skrz oděvní materiály

Gibson [8] ve své práci shrnul tři studie, které ilustrují důležitost faktorů ovlivňujících přestup tepla skrz textilií. Každá studie hodnotí jeden konkrétní problém související s měřením výparného a tepelného odporu. Existuje mnoho zařízení měřících výparný a tepelný odpor simulujících skin model. Teoreticky všechny testy měří stejné vlastnosti, ale naměřené hodnoty málokdy souhlasí. Důvodem mohou být rozdílné podmínky měření.

Podstatná část studie pro tuto práci se nazývá: *Porovnání odolnosti vůči vodním parám a tepelné odolnosti třemi různými laboratořemi*. Studie se zabývá měřením komfortní vlastnosti oděvů pro armádu spojených států. Testování se účastnily tři různé laboratoře spolupracující s armádou Individual Protection Directorate (IPD), U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine (USARIEM), U.S. Navy Clothing and Textile Research Facility (NCTRF) [8].

Testované materiály se skládají z tkaniny potištěné kamuflážovým vzorem se složením 50 % nylon, 50 % bavlna používané pro vojenské uniformy. A pleteniny trikotové vazby ze 100 % nylonu laminovanou polyuretanovou pěnou s částicemi aktivního uhlíku, která je požívána jako bojový oděv [8].

Zkušební zařízení použité v této práci Sweating Guarded Hotplate umožňuje hodnotit odolnost vůči vodním parám, tepelný odpor. Zařízení simuluje zkoušku pocení vyhřívanou destičkou. Rozdíl mezi měřeními byl v rychlosti vzduchu. Laboratoř NCTRF testovala vzorky v souladu s normou ASTM D-1518, laboratoře USARIEM a IPD měří při mnohem vyšší rychlosti vzduchu, než uvádí norma. IPD navíc testuje při nulové rychlosti vzduchu [8].

Každá laboratoř měřila při různých podmínkách rychlosti vzduchu. Zvyšující se rychlost vzduchu způsobila, že rychlost odpařování se zvyšuje a tím se zvyšuje i výparný odpor, dokud rychlost vzduchu nepřesáhne 1 m/s. Změna výparného odporu při změně rychlosti vzduchu nastala v důsledku přenosu tepla zářením, který je realizován při nízkých rychlostech vzduchu, což zvyšuje tepelný a výparný odpor v mezní vzduchové vrstvě. Vhodná rychlost vzduchu při měření výparného a tepelného odporu bude 1- 2 m/s, kdy již nenastává přenos tepla zářením v mezní vzduchové vrstvě. K největšímu nárůstu výparného a tepelného odporu došlo při změně teploty z 0 k 1 m/s. Mezi rychlostmi vzduchu 1 a 2 m/s nebyl výrazný rozdíl [8].

6.2 Vliv větru, pohybu a úprav oděvu na efektivní tepelný odpor izolační vrstvy oděvu s nízkou a vysokou prodyšností druhé a třetí vrstvy.

Napsáno Morrissey a Rossim [9] popisuje měření tepelného odporu při chůzi za různých povětrnostních podmínek. Práce se zaměřuje na změnu tepelného odporu použitím vysoce prodyšné druhé a třetí vrstvy v oděvním systému. Testovacím zařízením byl tepelný manekýn. Testován byl třívrstvý oděvní systém, kde první vrstva je tričko, druhá vrstva mikina a třetí vrstva bunda. Podmínky měření zahrnovaly tři simulace rychlosti chůze 0 km/h, 1 km/h, 2,5 km/h a vzduchu 0,1 m/s, 1 m/s, 2,5 m/s.

Materiály použité při měření se skládaly ze dvou oděvních systémů. Z vysoce prodyšného systém a méně prodyšného. Třetí vrstva oděvu byla pro oba systémy stejná, neprodyšná vrstva vyrobená z třívrstvého laminátu složením PU mikroporezní membrána laminována na tkaninu a pleteninu trikotové vazby. Druhá vrstva v práci popisovaná jako izolační je rozdělena na vysoce prodyšnou distanční pleteninu a méně prodyšný flíz. První vrstva byla vysoce prodyšná pletenina mesh BrynjeTM ze 100 % polypropylenu a méně prodyšná zátažná pletenina ze 100 % polyesteru. Všechny vrstvy byly vyrobeny stejnou společností, ve stejné velikosti (L), druhá vrstva byla šita na zakázku z důvodu identické konstrukce. Tím pádem byly omezeny tepelné ztráty v důsledku padnutí oděvu [9].

Měření probíhalo ve třech různých režimech, active, semi-active, inactive. Cílem bylo vyšetřit vliv nuceného větrání rozepnutím třetí vrstvy oděvu (bunda) a druhé vrstvy (mikina) na změnu tepelného odporu. V režimu active dochází k extrémnímu větrání rozepnutím třetí a druhé vrstvy oděvu. Kapuce a zápěstní větrání byly otevřeny. Semi-active třetí vrstva rozepnuta, ale druhá zapnuta, kapuce a zápěstní větrání nepoužito. V režimu inactive byly všechny otvory uzavřeny, třetí a druhá vrstva zapnuta, kapuce nasazena a zápěstní větrání uzavřeno [9].

V režimu inactive oba oděvní systémy vykazují stejné chování, při zvýšení rychlosti vzduchu se tepelný odpor snižoval. Za stacionárních podmínek (0 km/h) tepelný odpor oděvního systému vysoce prodyšného proti méně prodyšnému činil při rychlosti větru 0,1 m/s 91 % proti 84 %, 1 m/s 70 % ku 68 %, 2,5 m/s 56 % proti 54 %. Porovnáním se změnou při simulaci chůze 1 km/h se tepelný odpor změnil při rychlosti vzduchu 0,1 m/s na 77 % proti 73 %, a rychlosti vzduchu 2,5 m/s na 54 % proti 51 %. Výsledky měření tepelného odporu při simulaci chůze 2,5 km/h a rychlosti vzduchu 0,1 m/s byly 78 % proti 80 %, a 1 m/s 66 % proti 66 %, 2,5 m/s 50 % proti 52 %. Porovnáním oděvního systému vysoce prodyšného a méně prodyšného se tepelný odpor mění v průměru o 2 %. Vezmeme-li v úvahu odchylky měření, nebyly tyto rozdíly statisticky významné.

Při nulové rychlosti chůze nebyly pozorovány velké rozdíly, v důsledku snížení primárního větrání mezní vrstvou. Při dalších dvou rychlostech chůze se stacionární vzduchová vrstva mezi jednotlivými vrstvami oděvu naruší, tím dochází k výměně vzduchu s okolím. Tyto tepelné ztráty minimalizuje zapnutí oděvu a uzavření všech otvorů. V případě oděvního systému s vysokou prodyšností se tepelný odpor snižuje stejně jako u oděvního systému s menší prodyšností.

Při režimu semi-active byly rozepnuty třetí vrstvy oděvních systémů, rozdíl prodyšností mezi nimi je 8,90 proti 88,01 $\text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. Nejvíce se projevoval při simulaci chůze 1 a 2,5 km/h. Zdá se, že při rychlosti větru 0,1 m/s nebyla vysoce prodyšná druhá vrstva profouknuta. Z výsledků vyplývá, že tepelný odpor druhé oděvní vrstvy byl úměrný velikosti její prodyšnosti [9].

V režimu active bylo zjištěno, že vysoce prodyšná první vrstva reaguje na proud vzduchu více citlivě než méně prodyšná první vrstva. Při zvyšující se rychlosti větru se rozdíl hodnot tepelného odporu mezi méně a vysoce prodyšnou vrstvou snižoval až k nejnižšímu při 2,5 m/s [9].

Výsledky této studie demonstrují, že pokud byl oděv zapnut, není rozdíl mezi méně a vysoce prodyšnou první a druhou vrstvou. Vysoce prodyšná první a druhá vrstva by mohla kompenzovat ztráty v důsledku změny padnutí oděvu a zmenšovat tepelné ztráty konvekcí a radiací při vhodné konečné úpravě oděvu. Třetí vrstva oděvu musí být neprodyšná, ale ostatní vrstvy mohou být vysoce prodyšné, čímž umožní flexibilitu při výběru první a druhé oděvní vrstvy [9].

6.3 Vliv rychlosti větru a otvorů oděvu pro hlavu, končetiny a trup na lokální rychlost ventilace a tepelnou izolaci oděvu

Práce napsaná Ke a Havenith et. al. [10] zkoumá vliv vzduchu o rychlosti 0, 0,3 a 1,1 m/s a rozepnutí nebo zapnutí dolního okraje bundy, lemu průramku a límce na lokální tepelnou izolaci a na lokální rychlost ventilace oděvu. Lokální tepelná izolace a rychlost ventilace oděvu byla měřena na třech místech pravá/levá paže, hrudník, záda. Porovnávalo bylo devět pracovních bund se stejnou konstrukcí, ale rozlišnou velikostí a prodyšností oděvu. Rychlost ventilace oděvu byla měřena na bázi metody LH steady-state systém, při měření tepelné izolace byl využit tepelný manekýn. Cílem studie bylo navrhnout optimálně řešené otvory oděvu (dolního okraje bundy, lemu průramku a límce) a hodnocení tepelné izolace pro oděvní návrháře a konečné zákazníky.

Materiály použité při testování se skládaly ze třech bavlněných tkanin v keprové vazbě s různou prodyšností, rozdělenou na PM prodyšnou, PS polo-prodyšnou a IM neprodyšnou tkaninou. Tkaniny byly upraveny bělením. Na tkaninu Polo- prodyšnou a neprodyšnou byl nanesen tenký zátěr. Velikostní sortiment pracovních bund se sestával ze třech velikostí 170, 175, 180 charakterizující výšku v centimetrech [10].

Z výsledků studie vyplývá, že lokální tepelná izolace byla snížena vlivem rychlosti větru. Nejvyšší lokální tepelná izolace byla naměřena pro velikost bundy 170, menší při velikosti 180 a nejmenší pro velikost 175 s výjimkou oděvů neprodyšných. Pro naměřené hodnoty při rychlosti vzduchu 0,3 m/s byla nejvyšší lokální tepelná izolace zjištěna u velikostí 170 a 175 neprodyšných bund následované bundami prodyšnými. Nejmenší lokální tepelná izolace byla naměřena pro velikost 180 neprodyšné bundy [10].

Pro rychlost vzduchu 1,1 m/s vykazovala největší lokální tepelnou izolaci prodyšná bunda, následovaná polo-prodyšnou a neprodyšnou bundou. Pozitivní korelaci mezi sebou vykazovaly vlastnosti velikost a prodyšnost. To potvrzuje, že při výběru bundy nerozhoduje pouze její velikost, ale i prodyšnost materiálu a to hlavně u bund s větší velikostí [10].

Vliv zapnutých nebo rozepnutých oděvních otvorů (dolní okraj bundy, lem průramku a límec) na lokální tepelnou izolaci. V případě prodyšných bund tepelná izolace prvé paže klesla, pokud byl lem průramku zapnut. V případě, že byly zapnuty i lem dolního okraje a límec tepelná izolace vzrostla. U polo- prodyšných bund se zapnutými oděvními otvory tepelná izolace vzrostla. Důvodem zvýšení tepelné izolace může být snížený průtok vzduchu následkem uzavření oděvních otvorů. Pro neprodyšné bundy byl celkový výsledek stanovit obtížnější, protože velikost oděvu ovlivnila lokální tepelný odpor více než u ostatních prodyšností. Tepelná izolace měřená na pravé paži u poloviny vzorků klesla, u poloviny vzrostla. Měřeno na hrudi tepelná izolace prodyšné a polo-prodyšné klesla, v případě neprodyšné byla stejná nebo klesla [10].

Uzavření oděvních otvorů, ovlivňuje lokální tepelnou izolaci, která byla také ovlivněna prodyšností a velikostí oděvu. V práci byl vypočítán průměr lokální tepelné izolace různých velikostí oděvu. Z výsledků vyplývá, že velikost s největší lokální tepelnou izolací byla 180 [10].

Čelní nárazy větru mohou změnit lokální mikroklima oděvu (hlavně na hrudi) a mechanismus lokálního větrání oděvu. Při výběru pracovní bundy by měl být kladen důraz na vlastnosti oděvu, převážně pak na prodyšnost a splývavost. Velikost oděvu není určující vzhledem k lokální tepelné izolaci. Nicméně povětrnostní podmínky na pracovišti by měly být zohledněny při výběru oděvu [10].

6.4 Popis přestupu tepla a hmoty skrz model tvořený jednovrstvým textilním systémem.

Část druhá: tepelný a výparný odpor.

V první části studie byl vymyšlen model počítající tepelný a výparný odpor. V této studii napsané Ding et al [11] bude sledován vliv vlastností materiálu a vzduchové mezery na vypočítaný tepelný a výparný odpor. Vzduchová mezera přispívá ke zlepšení tepelného a výparného odporu. Proto bude důležité zjištění optimální tloušťky vzduchové mezery. Práce poskytuje základ pro optimalizaci textilních vlastností za účelem zlepšení funkcí oděvu. Model napodobuje přenos tepla a hmoty skrz systém složený z lidské kůže, vzduchové mezery, jedné vrstvy textilie, který reaguje na měnící se vnější podmínky teploty vzduchu, vlhkosti, rychlosti vzduchu. Cílem bylo uplatnit výsledky získané ze studie k navržení vysoce funkčního oděvního systému.

Parametry textilie k výpočtu tepelného a výparného odporu [11]:

Teplota okolí, [°C] - (-50°C – 100°C)- suché prostředí, (0°C - 100°C)- mokré prostředí

Rychlost vzduchu okolí, [m/s] - (1 m/s - 30 m/s)

Relativní vlhkost okolí, [100%] - (0%- 100%)

Tloušťka vzduchové mezery mezi textilií a pokožkou, [mm] - (0,001 mm- 30 mm)

Tloušťka textilie, [mm] - (0,001 mm - 6 mm)

Tepelná vodivost vlákna, [W/m.K] - (0,01 W/m.K - 1 W/m.K)

Porozita textilie, [-] - (0,1- 0,99)

Emisivita textilie, [-] - (0,1- 0,99)

Vodivost povrchu textilie, [m²/s] - (10⁻⁶ m²/s - 10⁻⁴ m²/s)

Ve studii bylo počítáno s nucenou konvekcí, kde mezní vrstva vzduchu vede teplo, kterou může zvýšit vzrůstající rychlost vzduchu, zvláště pokud by se změnilo laminární proudění na turbulentní. Při závislosti tepelného odporu na rychlosti vzduchu, pro textilie se vzduchovou mezerou 6 mm, R_{tc} klesá nejvýznamněji při rychlosti vzduchu 5 m/s, pokles nastane už při 1 m/s. Při 26,5 m/s nastane zlom a proudění přechází do turbulentního přes povrch textilie. Celkově se tepelný odpor změnil zvýšením rychlosti vzduchu z 1 m/s na 30 m/s o 7, 73 %. Snížení nastává v důsledku ochlazení lidské kůže, což bylo potvrzeno experimentálně v jiných studiích [11].

Působením změny rychlosti vzduchu současně se změnou teploty na textiliích s různou tloušťkou vzduchové vrstvy, obecně platí: se vzrůstající vzduchovou vrstvou se tepelná izolace zlepšuje. Avšak při nízkých teplotách např. teplota $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ oděvní systém se vzduchovou vrstvou o tloušťce 12 mm vykazuje horší tepelnou izolaci než při tloušťce 6 mm, pokud rychlost vzduchu převyšuje 6 m/s [11].

Výparný odpor využívá k výpočtu stejné parametry jako tepelný. Vliv rychlosti vzduchu na výparný odpor při různé tloušťce vzduchové vrstvy. Obecně platí, s rostoucí rychlostí vzduchu klesá výparný odpor pro všechny tloušťky vzduchové vrstvy. K relativně velkému poklesu došlo mezi rychlostmi vzduchu 0 až 5 m/s [11].

Výsledky shrnující celou studii uvádí že, tloušťka vzduchové vrstvy výrazně ovlivňuje tepelný a výparný odpor. Zvyšující se vzduchová vrstva může vést k rychlému nárůstu tepelného a výparného odporu. Tento účinek omezuje přirozená konvekce, která nastává v případě překročení kritické tloušťky vzduchové vrstvy a pokud teplota okolního prostředí byla nižší než teplota lidské kůže [11].

Vodivost povrchu textilie projevila vliv na výparný odpor, se zvyšující se vodivostí povrchu byl výparný odpor snížen o 20 %. Tato data nebyla experimentálně podložena.

Při zvyšující se rychlosti vzduchu platí, že v podmínkách laminárního proudění výparný a tepelný odpor rychle klesá do rychlosti vzduchu 5 m/s. Přejdem k turbulentnímu proudění, zapříčiněného vyšší rychlostí vzduchu, pokles hodnot pokračuje [11].

V závislosti na podmínkách okolního prostředí by měla být věnována pozornost oděvním vlastnostem. Při studeném počasí budou výhodné vlastnosti větší tloušťka vzduchové vrstvy než textilie, nízká vodivost vláken, vysoká porozita a nízká emise textilie. Nicméně tloušťka vzduchové vrstvy nesmí překročit kritickou hodnotu uvedenou v práci. K oděvnímu komfortu přispívá funkce textilie odvádět pot, vhodná vlastnost podporující tuto funkci byla sledována vysoká porozita, která poskytuje vysokou tepelnou odolnost a schopnost rozptýlit vlhkost [11].

6.5 Zjednodušený model pro přestup tepla prodyšnou textilií za použití pohyblivého válce

Studie byla napsána Ghali [12] experimentálně zkoumá platnost zjednodušených modelů přenosu tepla dle Ghaddar a Lotens. Ghaddar studoval účinek ventilace vyvolané houpavými pohyby při rovnoměrné rychlosti větru. Model vychází z transportu tepla a vlhkosti člověka při pěší chůzi. Lidská chůze se vyznačuje periodickým chováním spojeným s ventilací při opakování stejných pohybů. Ghaddar vytvořil jednoduchý model, který vychází z pohybu člověka při chůzi, vzduchové mezery oblečeného člověka (přiléhavé nebo volné oblečení), prodyšnosti, rychlosti chůze (počet kroků za min.), rychlosti vzduchu vnějšího prostředí. Lotens model byl empiricky odvozen z rychlosti ventilace skrz oděvní otvory jako funkce prodyšnosti textilie a rychlosti vzduchu vnějšího prostředí [12].

Experiment probíhal za řízených podmínek v klimatické komoře při teplotě vzduchu 25°C, relativní vlhkosti 50 %, rychlosti proudění vzduchu menší než 0,05 m/s, nízkých otáčkách v aerodynamickém tunelu s rychlostí vzduchu mezi 2 a 4 m/s a frekvenci pohybu válce mezi 40 a 80 rpm [12].

Válec použitý v experimentu byl sestaven z vnějšího a vnitřního válce na jedné straně otevřený. Vnitřní válec simuluje lidskou končetinu. Na válci byla umístěna testovaná textilie ze 100 % bavlněného materiálu, neupravovaná o tloušťce 1 mm a prodyšnosti 0,05 m³/s/m² [12].

Výsledky práce uvádí tepelnou ztrátu v suchém prostředí, za frekvence houpání 40, 60, 80 rpm ve dvou režimech otevřený a uzavřený. Chyba přístroje při otevřeném režimu činila 14 %, při uzavřeném 8 %. Tepelná ztráta při frekvenci pohybu 80 rpm a uzavřeném režimu vzrostla o 72,5 % při rychlosti vzduchu 0 m/s, 236 %- 2 m/s, 261,2- 4m/s, srovnáním při měření přístroje v klidném stavu bez simulace větru. Pokud byla frekvence pohybu 40 rpm tepelná ztráta se zvýšila v porovnání s měřením v klidovém stavu bez simulace větru o 37,5 %- 0 m/s, 206 %- 2 m/s, 232 %- 4 m/s. V klidovém stavu přístroje se tepelná ztráta zvýšila o 80 %- 2 m/s, 203 %- 4 m/s srovnáním s měřením bez simulace větru. Porovnáním uzavřeného a otevřeného režimu byla tepelná ztráta při otevřeném režimu vyšší a to mezi 11 a 13 % v závislosti na frekvenci pohybu při nulové rychlosti vzduchu a 21 a 23 % při 4 m/s [12].

Měřicí zařízení lze také použít ve vlhkém prostředí, podmínky měření zůstávají stejné jako u prostředí suchého. Testováním ve vlhkém prostředí byly tepelné ztráty 2,5 při nulové rychlosti vzduchu a vzrostly na 2,9 při rychlosti 4 m/s. Rozdíl mezi otevřeným a uzavřeným režimem se pohyboval v rozmezí 20 a 40 % [12].

Testovací zařízení bylo sledováno jako vhodné k měření tepelných ztrát v důsledku zvyšující se rychlosti větru. Tepelné ztráty zapříčiněné zvyšující se rychlostí vzduchu a frekvencí pohybu byly dvakrát až třikrát větší ve srovnání s klidovým stavem [12].

6.6 Vliv proudění vzduchu na tepelné vlastnosti textilií

Maierová [16] se ve své bakalářské práci zabývá vlivem proudění vzduchu na komfortní vlastnosti textilií používaných pro sportovní účely. V teoretické části definuje komfort textilií a tepelnou vodivost. Dále popisuje přístroje použité v experimentální části, kterými byli Permetest, Alabeta a FX 3000. Materiály použité při měření se skládaly z tkanin o různém materiálovém složení, vazbách a hodnotách dostavy. Vazby použité při měření byly plátňové, keprové a atlasové. Materiálové složení textilií bylo polypropylen, polyester, lyocel.

Experiment tvoří dvě části, v jedné pisatelka zkoumala materiály měřením, druhou část tvořil dotazník. Naměřena byla relativní paropropustnost, výparný odpor, prodyšnost, tepelná jímavost. Měření relativní paropropustnosti a výparného odporu bylo realizováno při dvou rychlostech proudění vzduchu 1 a 2 m/s [16].

Z výsledků vyplývá, že nejlepší vlastnosti výparného odporu měla textilie s plátňovou vazbou a nízkou dostavou. Nejhorší výsledky měly textilie s vysokou dostavou a atlasovou vazbou. Z hlediska materiálového složení měl nejhorší výsledky lyocel, naopak nejlepší polyester. Při měření s rozdílným prouděním vzduchu se prokázal trend snižující se relativní paropropustnosti a zvyšující se výparný odpor při proudění vzduchu 2 m/s. Průměrně byl rozdíl výparného odporu měřeného při rychlostech proudění vzduchu 1 a 2 m/s 2 [Pa.m²/W] [16].

7 Multifunkční textilie

Textilie charakterizována více funkcemi, kterými jsou voděodolnost, paropropustnost, tepelná izolace, větru odolnost, používaná hlavně k výrobě vnější vrstvy sportovního oblečení. Materiály používané k těmto účelům jsou membránové a zátěrové materiály [1].

7.1 Zátěry

Materiály na bázi polyuretanu, akrylu nebo polyvinylchloridu. Aplikace spočívá v nanesení přímo na vhodnou textilií (tzv. trvalá impregnace). Zátěry se vyznačují větší tloušťkou než membrány a horší prodyšností, lze je dělit na prodyšné a neprodyšné. Prodyšné zátěry se dále dělí na hydrofobní, hydrofilní, mikroporézní [13].

Hydrofobní jsou vyráběné pomocí nánosu na bázi polysiloxanů, vyznačují se univerzálním použitím na všechny typy vláken a příjemným silikonovým omakem. Hydrofóbnost zajišťuje orientace methylových skupin v chemickém řetězci [13].

Hydrofilní zátěry na bázi modifikovaného polyuretanu, polyvinilalkoholu nebo polyoxidu umožňující difuzi vodní páry skrz amorfní oblasti. Komponenty hydrofilní a hydrofobní musí být v rovnováze, z důvodu zajištění dostatečné propustnosti pro vodní páry [13].

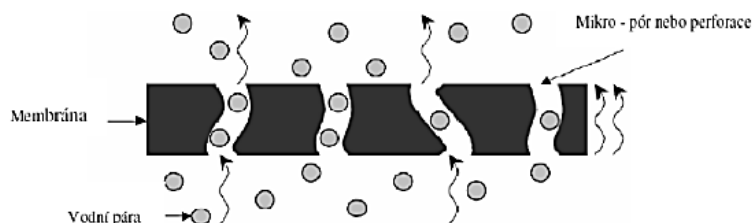
Mikroporézní zhotovené pomocí polyuretanové pěny nebo aminokyselinových polymeru, která je nanesena přímo na textilií o tloušťce 25- 50 μm . Při nanášení je uvolňován oxid uhličitý, který vytváří pórovitou strukturu pěny s póry o velikosti 0,2- 0,3 μm . Takto velké póry propouštějí vodní páru, ale nepropouští tekutou vodu [13].

Neprodyšné zátěry kompaktní povrstvení pružným pevným filmem, většinou vyráběné pro technické účely. V oděvnictví především využity jako kolenní chrániče a loketní [13].

7.2 Membrány

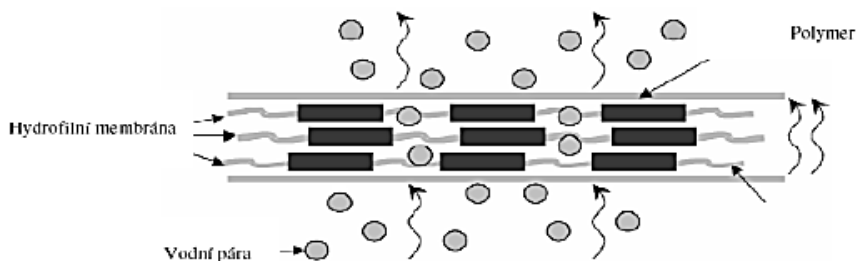
Membrány na rozdíl od zátěru se nenanášejí na textilií, ale je vytvářen velmi tenký film (fólie) polymerního materiálu, který je odolný proti pronikání tekuté vody, avšak propouští vodní páru. Lze je rozdělit na mikroporézní a neporézní membránu.

Mikroporézní membrána vyvinutá firmou Gore-tex, obsahuje póry, které jsou 20 000 krát menší než kapka vody a přitom 700 krát větší než molekula páry. Zatímco kapka vody nemůže membránou proniknout, vodní pára proniká snadno. Tím je zajištěna paropropustnost, chaotickým rozmístěním pórů vyobrazených na obrázku 2 s lomenými drahami, z důvodu větru odolnosti [13].



Obr. 2.: Princip funkce mikroporézní membrány [13].

Neporézní membrána odvádí vlhkost za pomoci chemicko- fyzikálních principů ukázaných na obrázku 3. Kondenzovaná voda ulpívající na membráně je rozváděna do vlastního materiálu, chemicky je voda vstřebána do materiálu a dále transportována na povrch [13].



Obr. 3.: Princip funkce neporézní membrány [13].

7.3 Typy membrán dle konstrukce

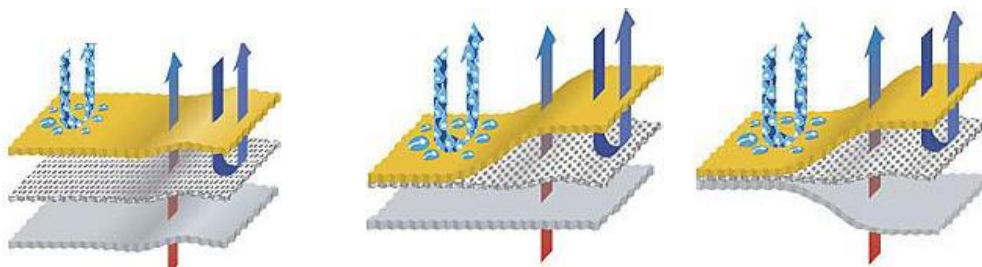
Membrána je tenký film asi okolo 10 μm , musí tedy být vhodně včleněna do oděvního systému, aby nedošlo k poškození, proto se laminuje na vhodný materiál. Druhy konstrukce membrán jsou čtyři, dvouvrstvý laminát, dvou a půl vrstvý, třívrstvý laminát a z-liner zobrazeny na obrázku 4.

Z-liner materiál není laminát, jelikož je membrána volně vložena mezi vrchový díl a podšívku. Vhodný pro městské použití oděvu, dobrá splývavost, vyšší prodyšnost, příjemný omak.

Dvouvrstvý laminát je membrána laminovaná zpravidla na vrchový materiál a volně překrytá podšívkou.

Dvou a půl vrstvý laminát je odlehčená verze třívrstvého laminátu. Membrána je laminována na vrchový materiál a z druhé strany je chráněna nánosem, který supluje podšívku.

Třívrstvý laminát membrána laminovaná na vrchový materiál i podšívku. Nejedolnější typ membrány, s větší tuhostí než u dvouvrstvého laminátu [13].



Obr. 4.: Z-liner

Dvouvrstvý laminát

Třívrstvý laminát [13]

8 Popis experimentu

Výzkum byl realizován za účelem analýzy vlivu rychlosti proudění vzduchu na termofyzikální vlastnosti laminovaných textilií. Cílem bylo sledovat termofyzikální vlastností různých typů laminovaných textilií při různé rychlosti proudění vzduchu. Experiment byl realizován na třech typech textilií, membrána laminovaná na tkaninu a pleteninu, zátěr nanesený na tkaninu.

8.1 Popis vzorků tkanin

Testovaný soubor vzorků byl složen z 31 textilií, dodány firmou Sunshinetex sídlící v Číně. Společnost se zabývá výrobou funkčních textilií, používaných jako pracovní, volnočasové a sportovní oděvy. Pro experiment byly vybrány textilie používané pro sportovní účely letních a jarních bund. Jednalo se o tři typy materiálů membrána laminovaná na tkaninu (typ 1), membrána laminovaná na pleteninu (typ 2), zátěr nanesený na tkaninu (typ 3). Materiálové složení membrány a zátěru bylo PU. Exaktní postup laminace nebylo možné zjistit, avšak základní rozbor materiálu jsou uvedeny v tabulkách 1-3. Obrázky použitých materiálu jsou v příloze č. 1.

8.1.1 Typ 1

Vzorky typu 1 jsou tkaniny laminované neporézní (hydrofilní) membránou s materiálovým složením PU. Vyznačují se dvojitým typem laminace dvou a dvou a půl vrstvá. Dvou a půl vrstvý laminát je tvořen potiskem vnější strany membrány nahrazuje tak podšívku. Složení ani postup potisku nebylo možno zjistit. Vzorky zobrazeny v tabulce 1 jsou uvedeny pod výrobními názvy.

Vzorky s 2,5-vrstvou laminací nemají stejné materiálové složení ani vazbu, jako vzorky s 2-vrstvým laminátem. Přesto budou porovnávány, jelikož vlastnosti struktury tkaniny jsou potlačeny typem laminace a membrány.

Tab. 1.: Rozbor testovaných vzorků typu 1

Vzorek	Materiálové složení 100%	Vazba	Plošná hmotnost [g/m ²]	Tloušťka [mm]	Dostava nití/10cm		Typ laminace
					Osnova	Útek	
75D	PES	Kepr 1/2 Z	82,9	0,13	430	350	dvouvrstvý
H3L-1695	PES	Kepr 1/2 Z	245,3	0,43	320	250	dvouvrstvý
260T	PES	Kepr 2/2 Z	92,9	0,27	480	340	dvouvrstvý
150D	PES	Kepr 2/2 S	228,1	0,27	300	230	dvouvrstvý
H2L-1698	PES	Kepr 1/2 Z	242,6	0,42	320	250	dvouvrstvý
210D	PA	Plátno	149,9	0,21	220	230	dvou a půl vrstvý
500D	PA	Plátno	247,7	0,31	220	180	dvou s půl vrstvý
15D	PA	Plátno	43,6	0,05	480	420	dvou a půl vrstvý
H2.5L-3689	PA	Plátno	64,1	0,09	450	370	dvou a půl vrstvý
20D	PA	Plátno	73,6	0,13	570	450	dvou a půl vrstvý

8.1.2 Typ 2

Vzorky typu 2 jsou pleteniny laminované neporézní (hydrofilní) membránou s materiálovým složením PU. Vyznačují se dvojitým typem laminace dvouvrstvá a dvou a půl vrstvá. Dvou a půl vrstvý laminát je tvořen potiskem membrány. Složení ani postup potisku nebylo možno zjistit. Vzorky zobrazeny v tabulce 2 jsou uvedeny pod výrobními názvy.

Tab. 2.: Rozbor testovaných vzorků typu 2

Vzorek	Materiálové složení 100%	Typ pleteniny	Plošná hmotnost g/m ²	Tloušťka mm	Hustota/10cm		Typ laminace
					řádků	sloupků	
40G	PES	interlok	97,5	0,17	280	450	dvouvrstvý
30D	PES	interlok	87,7	0,25	250	480	dvouvrstvý
30D40G2	PES	interlok	95,9	0,19	280	500	dvouvrstvý
H2L-1942	PES	interlok	99	0,18	280	470	dvouvrstvý
H2L-1669	PES	interlok	159,1	0,3	250	410	dvouvrstvý
30D40G	PES	interlok	69,4	0,19	280	450	dvouvrstvý
30D40G1	PES	interlok	97,3	0,19	280	450	dvouvrstvý
H2L-1259	PES	interlok	95,13	0,21	280	490	dvou a půl vrstvý
20 D	PES	interlok	94,7	0,25	240	460	dvou a půl vrstvý
30D1	PES	interlok	92,8	0,27	240	440	dvou a půl vrstvý
H2.5L-3677	PES	interlok	101,6	0,26	320	460	dvou a půl vrstvý
H2.5L-3685	PES	interlok	89,3	0,27	250	440	dvou a půl vrstvý

8.1.3 Typ 3

Vzorky typu 3 jsou tkaniny povrstvené zátěrem s materiálovým složením PU. Zátěry jsou dvojího typu prodyšné a neprodyšné. Vzorky zobrazeny v tabulce 3 jsou uvedeny pod výrobními názvy.

Tab. 3.: Rozbor testovaných vzorků typu 3

Vzorek	Materiálové složení 100%	Vazba	Plošná hmotnost	Tloušťka	Dostava nití/10cm		Typ zátěru
					osnova	útek	
150D	PES	plátno	156	0,22	340	260	prodyšný
300D1	PES	plátno	193,9	0,27	220	220	prodyšný
300D2	PES	plátno	203,4	0,33	220	220	prodyšný
245T	PES	plátno	145,9	0,14	430	350	prodyšný
270T	PES	plátno	115,7	0,15	480	360	prodyšný
POF0002	PES	plátno	192,6	0,19	330	270	neprodyšný
POF0007	PES	plátno	180,1	0,24	220	200	neprodyšný
300D3	PES	plátno	185,9	0,2	220	200	neprodyšný
300D	PES	plátno	187,6	0,21	220	220	neprodyšný

8.2 Experimentální měření relativní paropropustnosti a výparného odporu textilií

S cílem zjištění komfortních vlastností byl soubor vzorků podroben měření na přístroji Permetest, popis přístroje je uveden v kapitole 5.2. Zjišťována byla relativní paropropustnost, výparný odpor při dvou rychlostech proudění vzduchu 1m/s a 2 m/s. Standardně se měření provádí při rychlosti 1 m/s, odpovídající normě ČSN EN 31092.

Měření probíhalo v klimatizovaných prostorách Technické univerzity v Liberci. Podmínky měření byly konstantní, protože přístroj je oddělen kabinou a teplota vzduchu v ní dosahuje 24 °C a vlhkost okolo 39 %. Vzorky byly klimatizovány po 24 hod před začátkem měření. Jelikož je stanoveno, že čím vyšší je relativní paropropustnost tím nižší je výparný odpor a naměřené hodnoty této podmínce odpovídají, bude vyhodnocen pouze jeden naměřený parametr. A to výparný odpor, protože je parametr normovaný (ČSN EN 31092), norma byla popsána v kapitole 5.1. Pro vyhodnocení výparného odporu se udávají hodnoty [2]:

Ret < 6 - velmi dobrá

Ret 6 - 13 - dobrá

Ret 13 -20 - uspokojivá

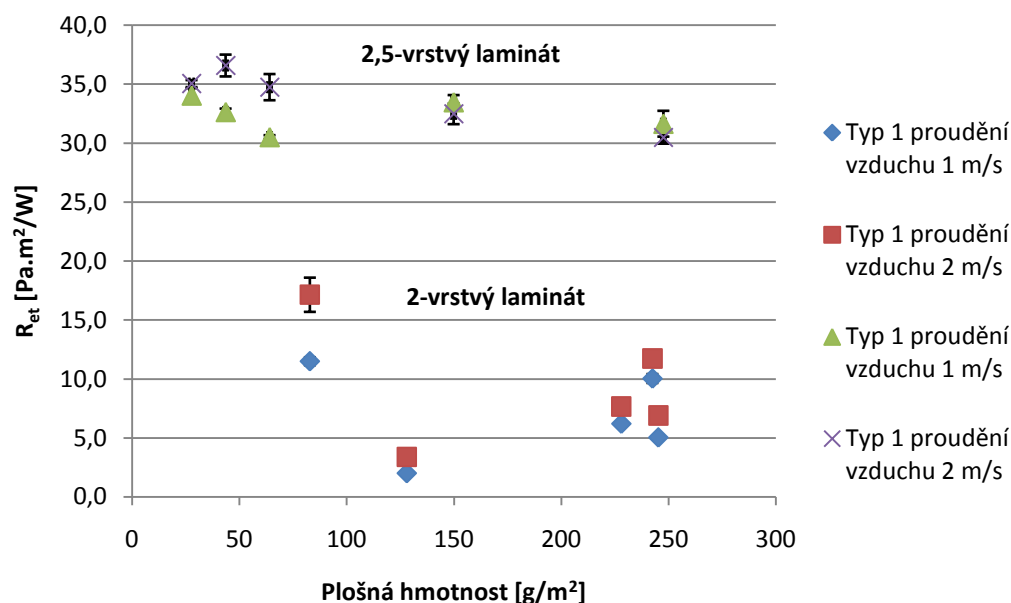
Ret > 20 - neuspokojivá

Každý ze vzorků prošel třemi měřeními a z výsledků byl stanoven aritmetický průměr, směrodatná odchylka, absolutní rozdíl mezi rychlostí vzduchu 1 a 2 m/s. Výsledky testovaných parametrů se základní statistikou jsou uvedeny v tabulkách a grafech.

8.2.1 Výsledky měření vzorků typu 1

Tab. 4.: Vyhodnocení experimentálně naměřených hodnot na přístroji Permetest vzorků typu 1 (x - aritmetický průměr, s - směrodatná odchylka)

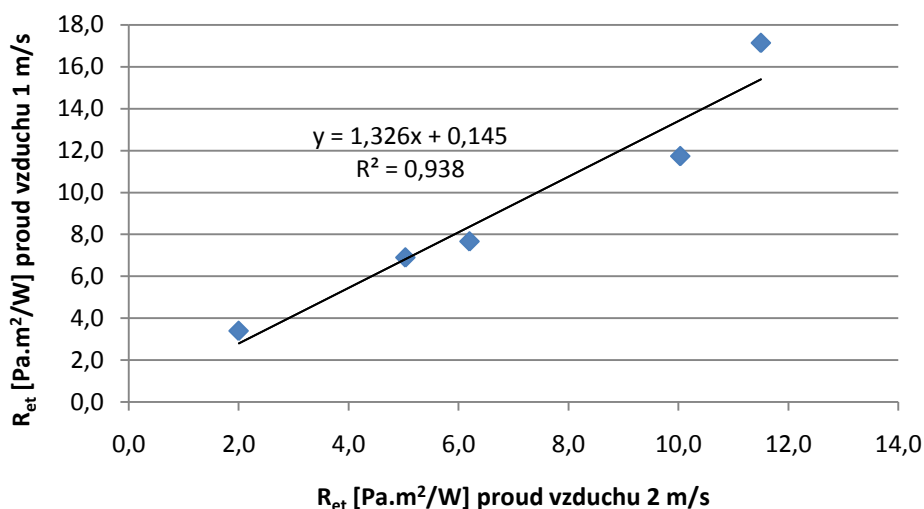
Vzorky	Relativní paropropustnost [%]					Výparný odpor [$\text{Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$]				
	1 m/s		2 m/s		Absolutní rozdíl	1 m/s		2 m/s		Absolutní rozdíl
	x	s	x	s		x	s	x	s	
260T	79,7	0,368	68,9	0,544	10,8	2	0,082	3,4	0,082	1,4
H3L-1695	60,8	0,732	51,5	0,852	9,3	5	0,170	6,9	0,216	1,9
150D	55,8	0,535	49,1	0,492	6,7	6,2	0,082	7,7	0,125	1,5
H2L-1698	44,3	0,047	38,4	0,898	5,9	10	0,330	11,7	0,602	1,7
75D	39,9	0,785	30,4	1,314	9,5	11,5	0,294	17,1	1,281	5,6
H2.5L-3689	21,2	0,419	14,5	0,047	6,7	30,5	0,141	34,7	2,238	4,2
15D	20,3	0,408	14	0,519	6,3	31,6	0,967	36,6	0,464	3,9
500D	19,7	0,094	18,6	0,094	1,1	32,6	0,249	30,5	1,143	1,2
210D	19,0	0,368	17,5	0,249	1,5	33,5	0,525	32,5	0,772	1
20D	18,5	0,125	17,3	0,125	1,1	34	0,544	35	0,262	1



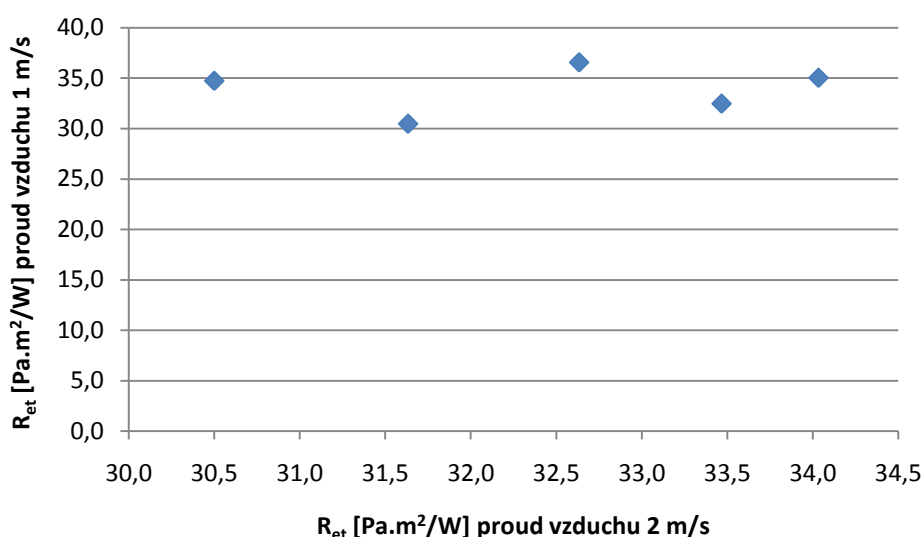
Obr. 5.: Výsledky výparného odporu vzorků typu 1

Z hodnot uvedených v tabulce 4 lze pozorovat experimentálně naměřený výparný odpor vzorků typu 1. Z naměřených hodnot lze sledovat vzrůstající hodnoty výparného odporu při zvyšující se rychlosti proudu vzduchu, materiály tedy vykazují klesající trend ve schopnosti propouštět páru. Absolutní rozdíl výparného odporu po zvýšení rychlosti proudu vzduchu je průměrně 2 [Pa.m²/W]. Vzorky 75D, 15D, H2.5L-3689 vykazují absolutní rozdíl mezi prouděním vzduchu 1 a 2 m/s 4 [Pa.m²/W].

Vzorky s dvou a půl vrstevným laminátem disponují horším výparným odporem než dvouvrstvé lamináty, zobrazuje obrázek 5. Vzorky jsou opatřeny neporézní membránou, a tudíž nedošlo k zalepení pórů. Vzhledem k tomu lze usuzovat na hydrofóbní potisk, kterým je tvořena vrstva nahrazující podšívku.



Obr. 6 Závislost výparného odporu při proudění vzduchu 1 m/s na výparném odporu při proudění vzduchu 2 m/s vzorky typu 1- 2-vrstvý laminát



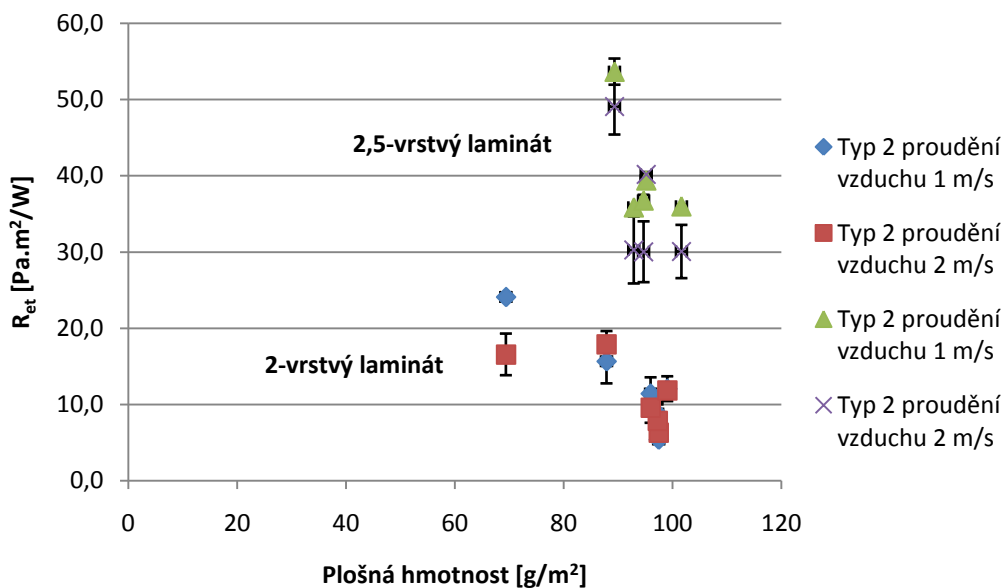
Obr. 7.: Vztah mezi výparným odporem při proudění vzduchu 1 m/s a výparným odporem při proudění vzduchu 2 m/s vzorky typu 2- 2,5-vrstvý laminát

Rovněž byla zkoumána závislost mezi výparným odporem při proudění vzduchu 1 m/s a výparným odporem při proudění vzduchu 2 m/s, kterou ukazují obrázky 6, 7. Lze konstatovat, že vzorky typu 1- 2-vrstvý laminát jsou závislé hodnoty. Potvrzuje to i koeficient determinace, jež dosahuje hodnoty 0,938. Zatímco hodnoty vzorků typu 1 dvou a půl vrstvý laminát zobrazené na obrázku 7 jsou nezávislé.

8.2.2 Výsledky měření vzorků typu 2

Tab. 5.: Vyhodnocení experimentálně naměřených hodnot na přístroji Permetest vzorků typu 2 (\bar{x} - aritmetický průměr, s - směrodatná odchylka)

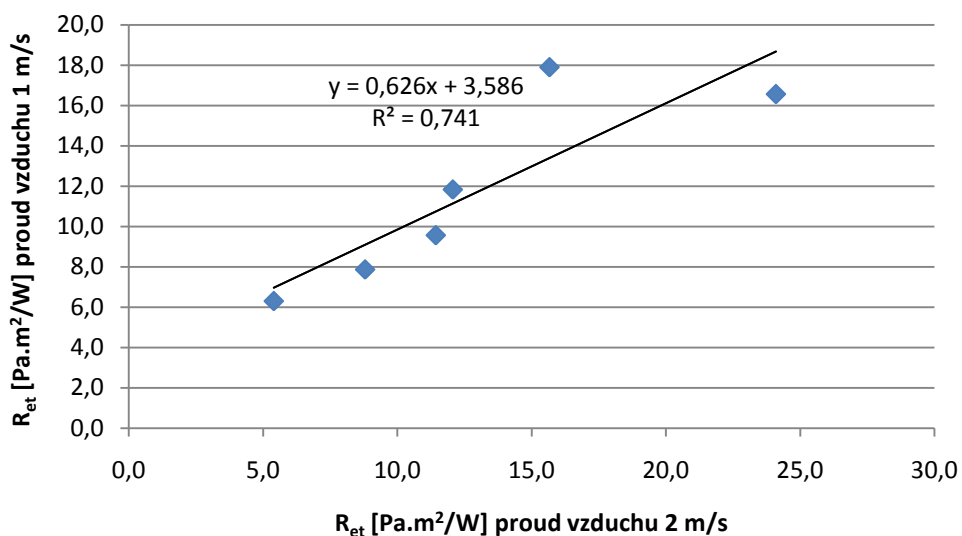
Vzorky	Relativní paropropustnost [%]					Výparný odpor [Pa.m ² /W]				
	1 m/s		2 m/s		Absolutní rozdíl	1 m/s		2 m/s		Absolutní rozdíl
	x	s	x	s		x	s	x	s	
40G	59,7	0,330	48,1	1,143	16,7	5,4	0,082	6,3	0,942	0,9
30D40G1	48,6	3,184	59	5,437	10,6	8,8	1,071	7,9	2,145	0,9
30D40G2	43,8	0,741	55,8	4,271	6,3	11,4	1,879	9,6	1,744	1,9
H2L- 1942	39,5	2,860	50	0,680	1,9	12,1	1,438	11,8	0,309	0,2
30D	33,9	3,499	20,8	1,357	14,3	15,7	2,563	17,9	1,530	2,2
30D40G	24,6	0,340	36,7	0,544	31,2	24,1	0,294	16,6	2,732	7,5
30D1	18,1	0,205	27,6	0,450	15,6	35,9	0,262	30,3	4,393	5,6
H2.5L- 3677	17,8	0,094	26,5	0,249	16,5	36	0,216	30,1	3,494	5,9
20D	17,1	0,170	25,0	0,170	18,3	36,8	0,655	30,0	3,526	6,7
H2L- 1259	16,7	0,294	15,7	0,694	1,9	39,4	0,712	40,2	0,287	0,8
H2.5L- 3685	11,3	0,374	9,9	0,531	8,6	53,7	1,517	49,1	3,227	4,6



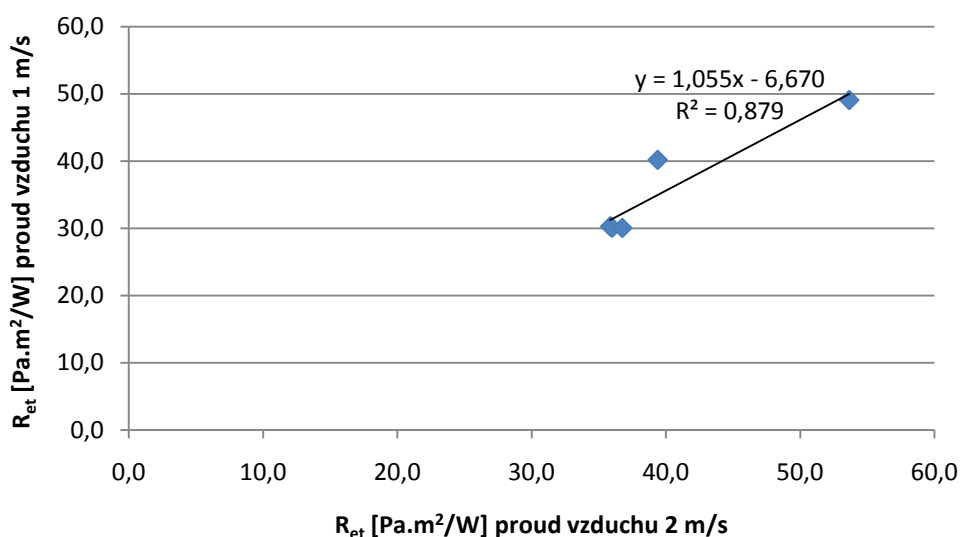
Obr. 8.: Výsledky výparného odporu vzorků typu 2

Hodnoty naměřeného výparného odporu jsou zaznamenány v tabulce 5. Z uvedených hodnot lze vyčíst, že výparný odpor po zvýšení proudění vzduchu klesá. Pro hodnoty vzorku 40G, 30D, H2L-1259 se výparný odpor zvyšoval, avšak vzhledem vyšší variabilitě není zvýšení výparného odporu významné. Absolutní rozdíl je ovlivněn vyšší variabilitou, která není příliš žádoucí, protože může ovlivnit průměrnou hodnotu výparného odporu. Avšak pro pleteniny je vyšší variabilita typická.

Obrázek 8 zobrazuje výparný odpor vzorků typu 2 s 2-vrstvým laminátem a 2,5-vrstvým laminátem. Podobný jev jako u vzorků typu 1 vykazuje 2,5-vrstvý laminát, který disponuje horším výparným odporem než 2-vrstvý laminát.



Obr. 9.: Závislost výparného odporu při proudění vzduchu 1 m/s na výparném odporu při proudění vzduchu 2 m/s vzorky typu 2- 2-vrstvý laminát



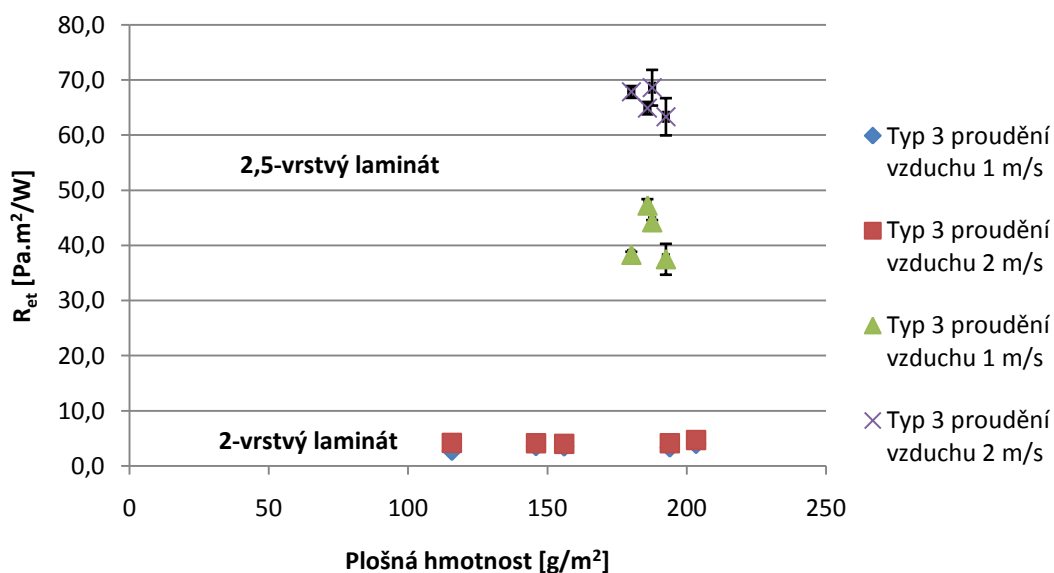
Obr. 10.: Závislost výparného odporu při proudění vzduchu 1 m/s na výparném odporu při proudění vzduchu 2 m/s vzorky typu 2- 2,5-vrstvý laminát

Sledovaná závislost mezi výparným odporem při proudění vzduchu 1 m/s a výparným odporem při proudění vzduchu 2 m/s. Ukázal pro vzorky typu 2 s 2-vrstvým laminátem a i 2,5-vrstvým laminátem střední závislost, kterou demonstruje regresní analýza zobrazená na obrázku 9 a 10. A to i přes vyšší variabilitu než u vzorků typu 1.

8.2.3 Výsledky měření vzorků typu 3

Tab. 6.: Vyhodnocení experimentálně naměřených hodnot na přístroji Permetest vzorků typu 3 (\bar{x} - aritmetický průměr, s - směrodatná odchylka)

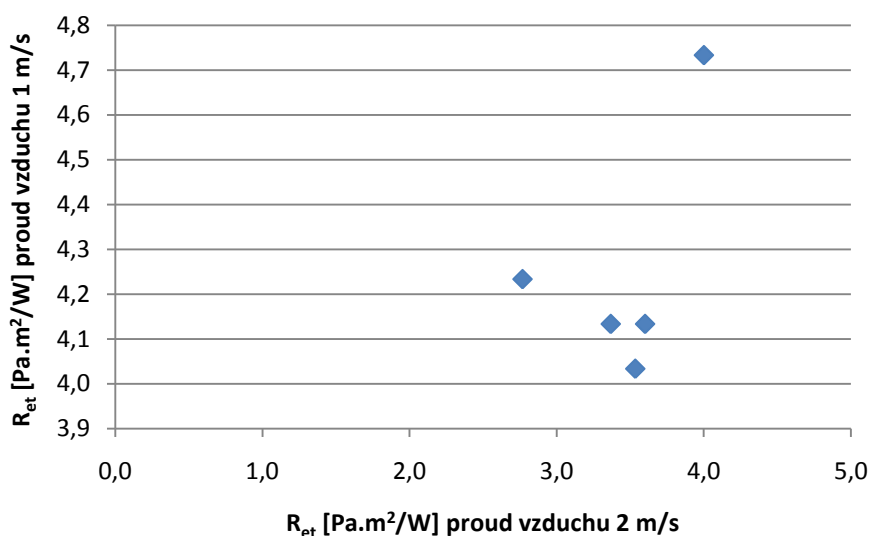
Vzorky	Relativní paropropustnost [%]					Výparný odpor [$\text{Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$]				
	1 m/s		2 m/s		Absolutní rozdíl	1 m/s		2 m/s		Absolutní rozdíl
	\bar{x}	s	\bar{x}	s		\bar{x}	s	\bar{x}	s	
270T	75,2	1,239	60,6	1,584	14,7	2,8	0,170	4,2	0,309	1,5
300D1	70	0,330	61,1	2,055	8,9	3,4	0,047	4,1	0,330	0,8
150D	69,7	1,134	61,7	2,480	8,0	3,5	0,531	4	1,034	0,5
245T	68,9	3,633	57,3	4,962	11,6	3,6	0,216	4,1	0,419	0,5
300D2	66,4	0,535	57,4	1,393	9,0	4	0,082	4,7	0,262	0,7
POF0002	16,9	0,957	7,9	0,327	9,0	37,5	2,475	63,3	2,983	25,8
POF0007	16,7	0,170	7,4	0,047	9,3	38,3	0,497	67,8	0,946	29,5
300D	15,2	0,245	7,9	0,094	7,3	44,2	0,356	68,6	2,858	24,4
300D3	15,1	0,216	8,4	0,424	6,7	47,2	1,034	64,9	0,993	17,7



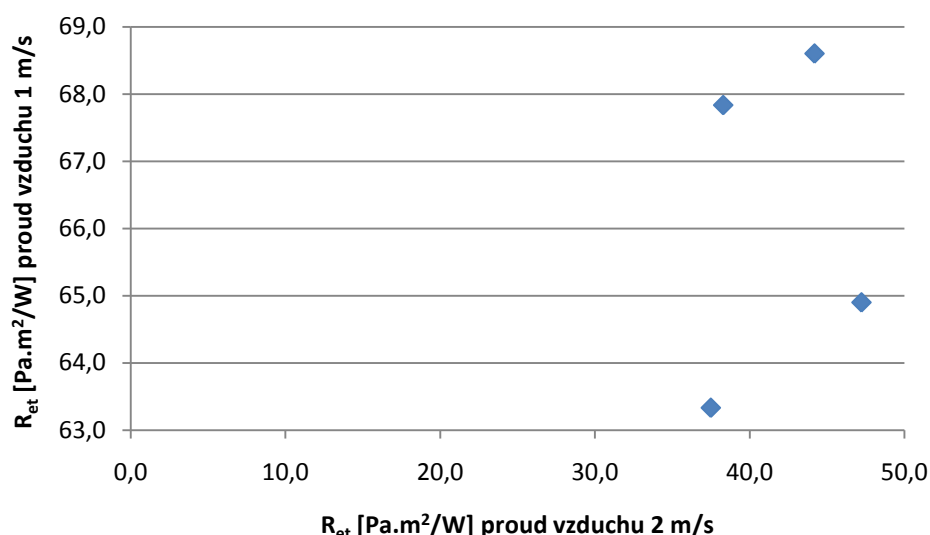
Obr. 11.: Výsledky výparného odporu vzorků typu 3

V tabulce 6 jsou zaznamenány hodnoty výparného odporu vzorků typu 3. Z naměřených dat je patrné, že při zvyšování rychlosti proudění vzduchu se výparný odpor zvyšuje. Tento jev byl zaznamenán také u vzorků typu 1. Absolutní rozdíl výparného odporu po zvýšení rychlosti proudění vzduchu je průměrně $0,8 \text{ [Pa.m}^2/\text{W]}$ pro vzorky typu 3 s prodyšným zátěrem. Pro vzorky typu 3 s neprodyšným zátěrem je absolutní rozdíl výparného odporu po zvýšení rychlosti proudění vzduchu průměrně $24,4 \text{ [Pa.m}^2/\text{W]}$. Významný rozdíl výparného odporu při proudění vzduchu 1 m/s a výparného odporu při proudění vzduchu 2 m/s je způsoben nejspíše neprodyšností zátěru, jelikož při zvýšení rychlosti proudění vzduchu se rychlost odpařování zvyšuje, jež v důsledku její neprodyšnosti neproniká textilií, a tudíž zvyšuje hodnoty výparného odporu.

Jak bylo očekáváno neprodyšný zátěr má nevyhovující hodnoty výparného odporu, zobrazeno na obrázku 11. Překvapující jsou výsledky prodyšného zátěru, který vykazuje vynikající hodnoty výparného odporu, lepší než pro membrány. Může to být způsobeno hydrofilní membránou, ve které je přenos vodních par realizován pomaleji, z toho důvodu je permetest podhodnocuje.



Obr. 12.: Vztah mezi výparným odporem při proudění vzduchu 1 m/s a výparným odporem při proudění vzduchu 2 m/s vzorky typu 3- 2-vrstvý laminát



Obr. 13.: Vztah mezi výparným odporem při proudění vzduchu 1 m/s a výparným odporem při proudění vzduchu 2 m/s vzorky typu 3- 2,5-vrstvý laminát

Na obrázcích 12, 13 je zobrazen vztah mezi výparným odporem Při proudění vzduchu 1 m/s a výparným odporem při proudění vzduchu 2 m/s. Z obrázků je patrné, že pro vzorky typu 3 s prodyšným i neprodyšným zátěrem jsou hodnoty na sobě nezávislé.

8.3 Experimentální měření tepelného odporu textilií

S cílem zjištění termofyzikálních vlastností byl soubor vzorků podroben měření na přístroji Permetest a Alambeta, popis přístrojů je uveden v kapitole 5.2. a 5.3 Zjišťován byl tepelný odpor a závislost mezi metodou měření na Alambetě a Permetestu. Stanovení tepelného odporu na přístroji Alambeta a Permetest je rozdílné hlavní změnou je proud vzduchu ofukující povrch měřeného vzorku realizovaný na přístroji Permetest, přičemž přístroj Alambeta takovou funkci nemá. Lze tedy stanovit, že přístroj Alambeta provádí měření při proudění vzduchu 0 m/s a přístroj Permetest při proudění vzduchu 1 m/s.

Měření na přístroji Permetest probíhalo za standardních podmínek, to znamená se suchou hlavicí, po měření bez vzorku následovalo měření se vzorkem. Takto měřené vzorky však vykazovaly záporné hodnoty, což bylo způsobeno menším tepelným odporem, než u retenčního vzorku. Aby bylo tomuto jevu zabráněno, byla přes vzorek položena nepropustná PU folie.

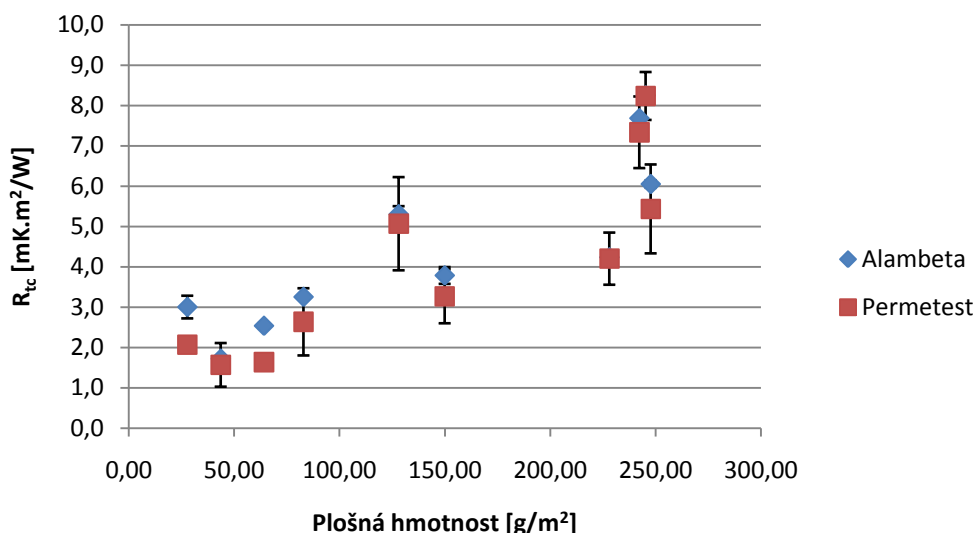
Měření probíhalo v klimatizovaných prostorách Technické univerzity v Liberci. Jelikož jsou oba přístroje ve stejné laboratoři, byly zajištěny obdobné podmínky měření teplota vzduchu 24 °C a vlhkost okolo 39 %.

Každý ze vzorků prošel třemi měřeními a z výsledků byl stanoven aritmetický průměr, směrodatná odchylka, absolutní rozdíl mezi měřeními metodami. Výsledky testovaných parametrů se základní statistikou jsou uvedeny v tabulkách a grafech.

8.3.1 Výsledky měření vzorků typu 1

Tab. 7.: Vyhodnocení tepelného odporu vzorků typu 1 (\bar{x} - aritmetický průměr, s - směrodatná odchylka)

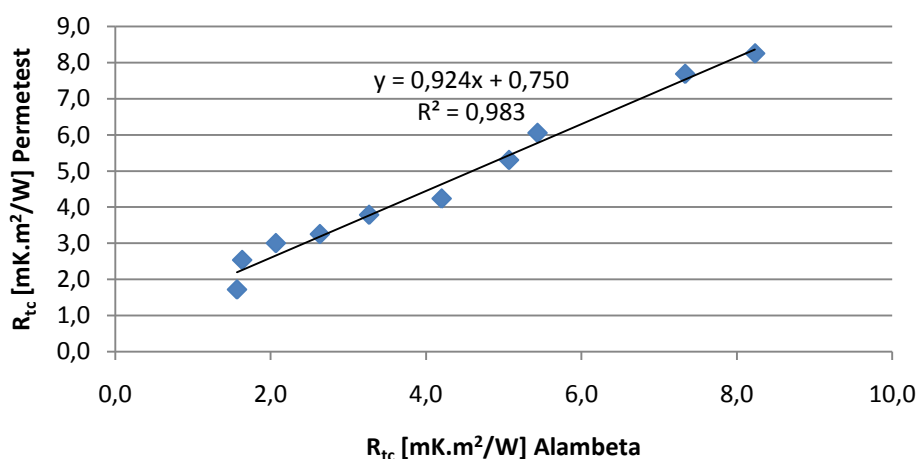
Vzorky	Alambeta [mK.m ² /W]		Permetest [mK.m ² /W]		Absolutní rozdíl [mK.m ² /W]	Tloušťka [mm]	Plošná hmotnost [g/m ²]
	x	s	x	s			
15D	1,7	0,024	1,6	0,48	0,2	0,05	43,64
H2.5L- 3689	2,5	0,062	1,6	0,170	0,9	0,09	64,12
20D	3,0	0,25	2,1	0,17	0,9	0,13	27,77
75D	3,3	0,041	2,6	0,74	0,6	0,13	82,91
210D	3,8	0,184	3,3	0,59	0,5	0,21	149,92
150D	4,2	0,023	4,2	0,57	0,0	0,27	228,06
260T	5,3	0,178	5,1	1,02	0,2	0,27	128,08
500D	6,1	0,082	5,4	0,97	0,6	0,31	247,68
H2L- 1698	7,7	0,062	7,3	0,79	0,4	0,42	242,29
H3L- 1695	8,3	0,147	8,2	0,53	0,2	0,43	245,29



Obr. 14.: Výsledky tepelného odporu vzorků typu 1

Z nashromážděných výsledků uvedených v tabulce 7 je zřejmé, že hodnoty tepelného odporu klesají při měření na přístroji Permetest. Absolutní rozdíl činí průměrně okolo 1 [mK.m²/W]. Jelikož hodnoty měřené na přístroji permetest vykazují vyšší variabilitu není absolutní rozdíl významný.

Na obrázku 14 lze pozorovat vliv plošné hmotnosti na tepelný odpor se zvyšující se plošnou hmotností roste tepelný odpor. Proto nejlepší tepelný odpor mají vzorky H2L-1698, H3L-1695. Parametry textilií neovlivňují tepelný odpor jako výparný odpor, jelikož vzorky typu 1 s 2,5-vrstvými laminát (barevně označeny v tabulce 7) mají nízkou plošnou hmotnost i tloušťku.



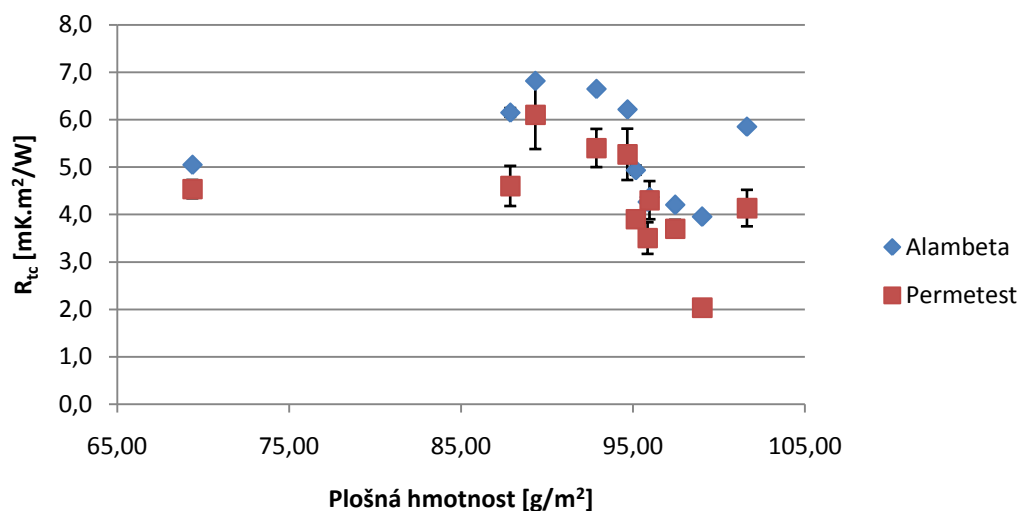
Obr. 15.: Závislost tepelného odporu měřeného na přístroji Alambeta na tepelném odporu měřeném na přístroji Permetest vzorků typu 1

Také byla sledována závislost mezi tepelným odporem měřeným na přístroji Alambeta a tepelným odporem měřeným na přístroji Permetest. Z obrázku 15 vyplývá, že mezi měřeními na jednotlivých přístrojích je silná lineární závislost potvrzená regresní analýzou.

8.3.2 Výsledky měření vzorků typu 2

Tab. 8.: Vyhodnocení tepelného odporu vzorků typu 2 (\bar{x} - aritmetický průměr, s - směrodatná odchylka)

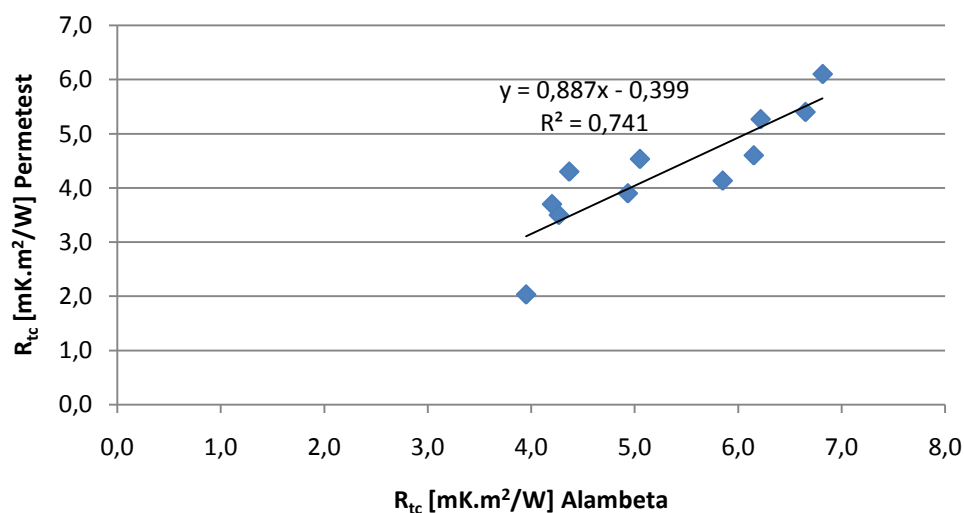
Vzorky	Alambeta [mK.m ² /W]		Permetest [mK.m ² /W]		Absolutní rozdíl [mK.m ² /W]	Tloušťka [mm]	Plošná hmotnost [g/m ²]
	\bar{x}	s	\bar{x}	s			
H2L-1942	4,0	0,041	2,0	0,125	1,9	0,18	99,02
40G	4,2	0,000	3,7	0,163	0,5	0,17	97,45
30D40G1	4,3	0,024	3,5	0,294	0,8	0,19	95,9
30D40G2	4,4	0,024	4,3	0,356	0,1	0,19	95,96
H2L-1259	4,9	0,085	3,9	0,082	1,0	0,21	95,16
30D40G	5,1	0,041	4,5	0,170	0,5	0,19	69,37
H2.5L-3677	5,9	0,041	4,1	0,340	1,7	0,26	101,63
30D	6,2	0,082	4,6	0,374	1,6	0,25	87,86
20D	6,2	0,024	5,3	0,478	0,9	0,25	94,67
30D1	6,7	0,041	5,4	0,356	1,3	0,27	92,87
H2.5L-3685	6,8	0,024	6,1	0,638	0,7	0,27	89,32



Obr. 16.: Výsledky tepelného odporu vzorků typu 2

Tabulka 8 popisuje naměřené hodnoty tepelného odporu vzorků typu 2. Mezi hodnotami naměřenými na přístroji Alambeta a Permetest lze sledovat rozdíl. Hodnoty naměřené na přístroji Permetest mají klesající trend v porovnání s přístrojem Alambeta. Absolutní rozdíl činí okolo 1,5 [mK.m²/W], je srovnatelný se vzorky typu 1.

Vzorky typu 2 nevykazují závislost na plošné hmotnosti, jak zobrazuje obrázek 16. Nejlepší tepelný odpor vykazují vzorky 30D, 20D, 30D1, H2.5L-3685, které jsou opatřeny 2,5-vrstvým laminátem. Nemusí to mít souvislost, jelikož tepelný odpor závisí na tloušťce ($r = h/\lambda$) a vzorky s 2,5-vrstvým laminátem vykazují nejvyšší tloušťku, což potvrzují data znázorněná v tabulce 8, kde jsou vzorky typu 2- 2,5-vrstvý laminát barevně označeny.



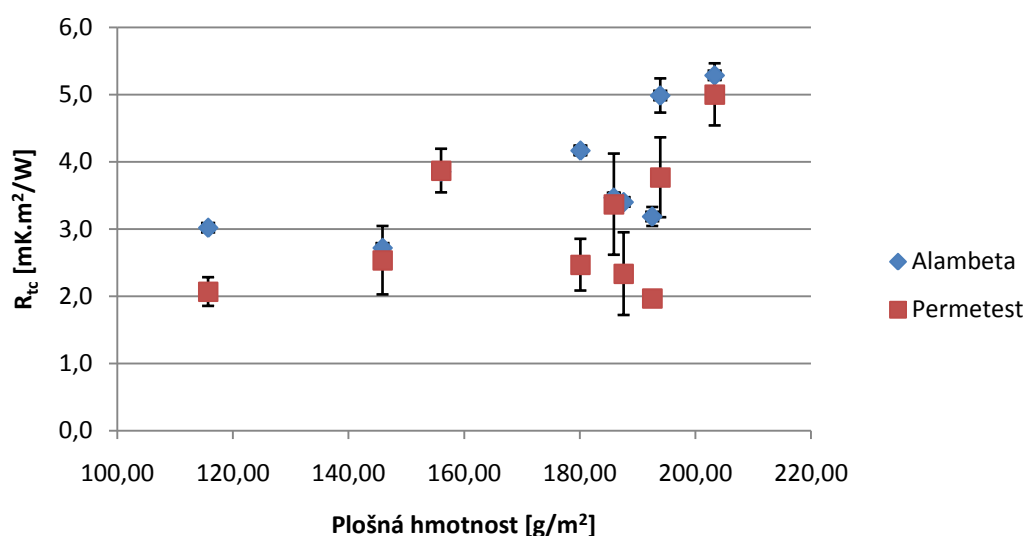
Obr. 17.: Závislost tepelného odporu měřeného na přístroji Alambeta na tepelném odporu měřeném na přístroji Permetest vzorků typu 2

Závislost tepelného odporu měřeného na přístroji Alambeta s tepelným odporem měřeným na přístroji Permetest zobrazuje obrázek 17. Z regresní analýzy vyplývá, že závislost je střední. Přesto, že každý s přístroji používá jiný způsob měření naměřené hodnoty na obou přístrojích, závisí na tloušťce, jak je patrné z tabulky 8.

8.3.3 Výsledky měření vzorků typu 3

Tab. 9.: Vyhodnocení tepelného odporu vzorků typu 3 (\bar{x} - aritmetický průměr, s - směrodatná odchylka)

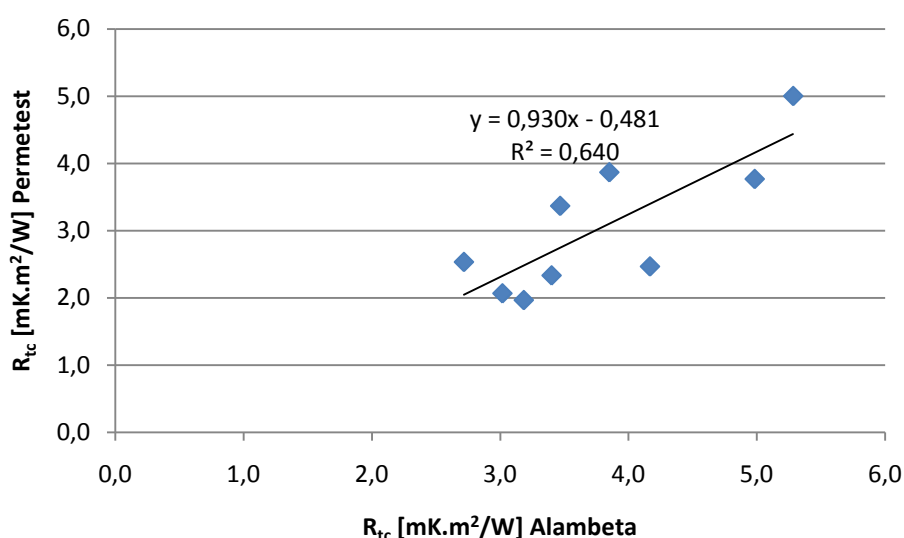
Vzorky	Alambeta [mK.m ² /W]		Permetest [mK.m ² /W]		Absolutní rozdíl [mK.m ² /W]	Tloušťka [mm]	Plošná hmotnost [mm]
	\bar{x}	s	\bar{x}	s			
245T	2,7	0,024	2,5	0,450	0,4	0,14	145,89
270T	3,0	0,024	2,1	0,189	0,8	0,15	115,72
POF0002	3,2	0,12	2,0	0,047	1,2	0,19	192,55
300D	3,4	0	2,3	0,544	0,5	0,21	187,60
300D3	3,5	0,062	3,4	0,665	0,8	0,2	185,91
150D	3,9	0,041	4,0	0,411	0,0	0,22	156,02
POF0007	4,2	0,062	2,5	0,340	1,6	0,24	180,12
300D1	5,0	0,22	3,8	0,525	1,5	0,27	193,94
300D2	5,3	0,022	4,1	1,266	0,2	0,33	203,35



Obr. 18.: Výsledky tepelného odporu vzorků typu 3

Hodnoty vzorků typu 3 vykazují stejný trend jako skupiny vzorků typu 1 a 2. Při měření na přístroji Permetest jsou hodnoty tepelného odporu menší než při měření na přístroji Alambeta. Také pro vzorky typu 3 je absolutní rozdíl kolem 1 [mK.m²/W]. Hodnoty tepelného odporu měřené na přístroji Permetest vykazují vyšší variabilitu a proto rozdíl mezi měřeními není významný.

Obrázek 18 zobrazuje hodnoty tepelného odporu měřeného na přístroji Alambeta a Permetest. Nejlepší tepelný odpor měly vzorky s největší tloušťkou 300D3, 300D1. Ani u vzorku typu 3 není tepelný odpor ovlivněn prodyšností a neprodyšností zátěru, jak lze pozorovat v tabulce 8, kde jsou vzorky s neprodyšným zátěrem barevně označeny.



Obr. 19 Závislost tepelného odporu měřeného na přístroji Alambeta na tepelném odporu měřeném na přístroji Permetest vzorků typu 3

Míra závislosti mezi tepelným odporem měřeným na přístroji Alambeta a tepelným odporem měřeným na přístroji Permetest není tak silná jako u vzorků typu 1 a 2, což ukazuje obrázek 19. Nejspíše je to způsobeno vyšším rozptylem dat přístroje Permetest.

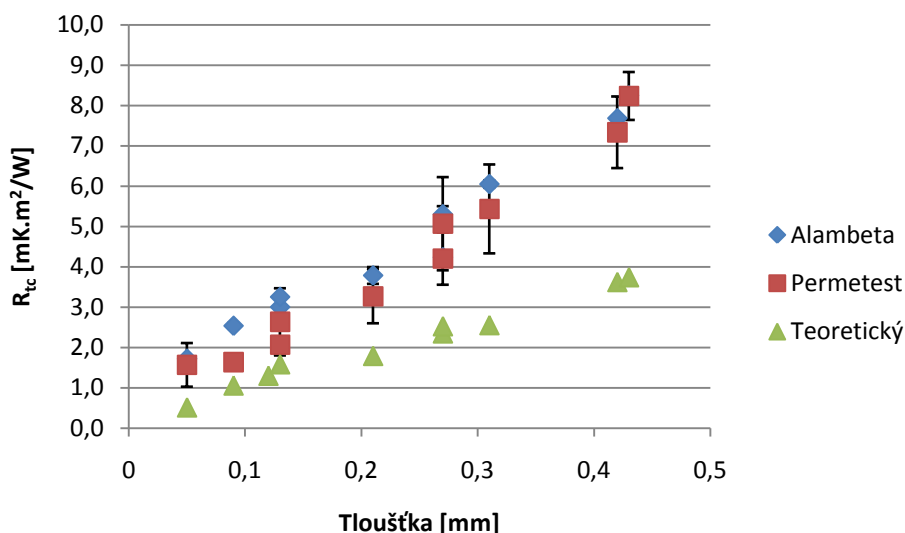
8.4 Teoreticky vypočítaný tepelný odpor textilií

Pro výpočet tepelného odporu byl zvolen obecný vzorec (16), vycházející z tepelné vodivosti a porozity. K výpočtu bylo nutné znát tepelnou vodivost vzduchu a všech vzorků. Tepelné vodivosti jsou tabulovány, pro vzduch se udává hodnota $0,024 \text{ [W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$, polyester $0,218 \text{ [W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$, polyamid $0,23 \text{ [W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$ a polyuretan $0,245 \text{ [W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$. Dále bylo nutno stanovit tloušťku membrány a tloušťku textilie bez membrány. Tloušťka membrány byla stanovena mikroskopicky, z naměřené tloušťky membrány byla vypočítaná tloušťka tkaniny bez membrány. A to odečtením tloušťky membrány od celkové tloušťky textilie. Z dalších parametru bylo nutné určit jemnost a průměr příze.

8.4.1 Výsledky měření vzorků typu 1

Tab. 10.: Výsledky tepelný odpor teoretický pro vzorky typu 1 (\bar{x} - aritmetický průměr, s - směrodatná odchylka)

Vzorky	Alambeta [mK.m ² /W]		Permetest [mK.m ² /W]		Teoretický [mK.m ² /W]	Tloušťka tkaniny [mm]	Tloušťka membrány [mm]	Absolutní rozdíl alambeta/ teoretický
	\bar{x}	s	\bar{x}	s				
15D	1,7	0,024	1,6	0,478	0,52	0,035	0,015	1,20
H2.5L- 3689	2,5	0,062	1,6	0,170	1,06	0,0697	0,020	1,47
20D	3,0	0,248	2,1	0,170	1,30	0,0917	0,028	1,70
75D	3,3	0,041	2,6	0,736	1,59	0,116	0,014	1,66
210D	3,8	0,184	3,5	0,531	1,79	0,1877	0,022	1,99
150D	4,2	0,024	4,2	0,531	2,35	0,2305	0,040	1,88
260T	5,3	0,178	5,3	0,236	2,53	0,2383	0,032	2,77
500D	6,1	0,082	6,0	0,638	2,56	0,2902	0,020	3,49
H2L- 1698	7,7	0,062	7,6	0,492	3,63	0,353	0,067	4,06
H3L- 1695	8,3	0,147	8,4	0,294	3,74	0,395	0,035	4,51



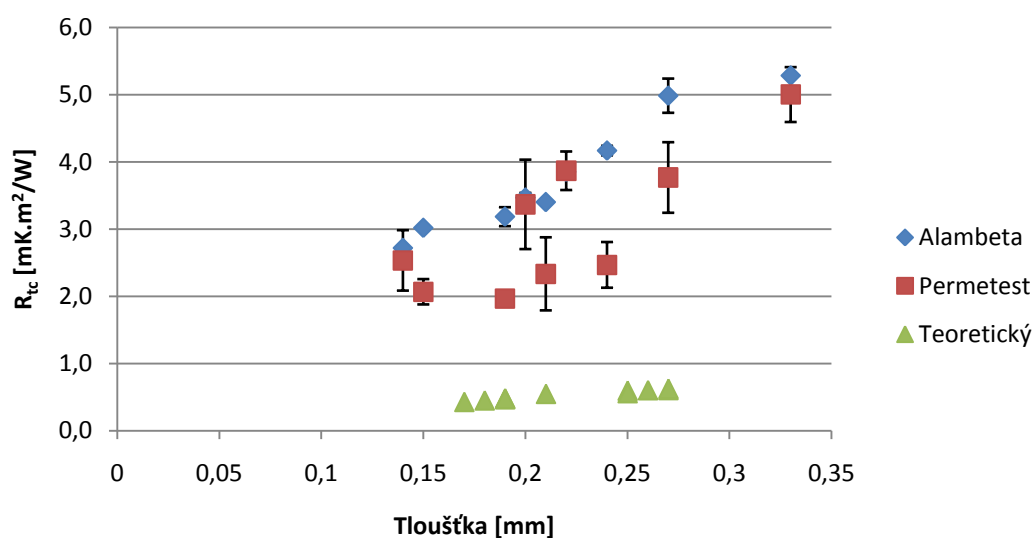
Obr. 20.: Výsledky tepelného odporu vzorků typu 1

Z obrázku 20 je zřejmé, že teoretický tepelný odpor je nižší než naměřený. Rozdíl mezi naměřeným a teoretickým je uvedený v tabulce 10. Absolutní rozdíl byl stanoven k přístroji Alambeta. Nejnižšího rozdílu nabývají tkaniny s malou tloušťkou. Hodnoty jsou přibližné k hodnotám přístroje Permetest, který podhodnocuje tepelný odpor. Hodnoty absolutního rozdílu u vzorků, které disponují nejmenším tloušťkou, jsou okolo 2 [mK.m²/W]. Rozdíl mezi naměřenými hodnotami je 1krát horší než pro přístroj Permetest. Vzorky s větší tloušťkou vykazovaly absolutní rozdíl okolo 4 [mK.m²/W].

8.4.2 Výsledky měření vzorků typu 2

Tab. 11.: Výsledky tepelný odpor teoretický pro vzorky typu 2 (\bar{x} - aritmetický průměr, s - směrodatná odchylka)

Vzorky	Alambeta [mK.m ² /W]		Permetest [mK.m ² /W]		Teoretický [mK.m ² /W]	Tloušťka tkaniny [mm]	Tloušťka membrány [mm]	Absolutní rozdíl alambeta/ teoretický
	\bar{x}	s	\bar{x}	s				
H2L-1942	4,0	0,041	2,0	0,125	0,449	0,159	0,021	3,5
40G	4,2	0,000	3,7	0,163	0,427	0,150	0,020	3,8
30D40G1	4,3	0,024	3,5	0,294	0,481	0,167	0,023	3,8
30D40G2	4,4	0,024	4,3	0,356	0,467	0,169	0,021	3,9
H2L-1259	4,9	0,085	3,9	0,082	0,546	0,182	0,028	4,4
30D40G	5,1	0,041	4,5	0,170	0,472	0,168	0,022	4,6
H2.5L-3677	5,9	0,041	4,1	0,340	0,601	0,238	0,022	5,2
30D	6,2	0,082	4,6	0,374	0,595	0,226	0,024	5,6
20D	6,2	0,024	5,3	0,478	0,557	0,229	0,021	5,7
30D1	6,7	0,041	5,4	0,356	0,602	0,250	0,020	6,0
H2.5L-3685	6,8	0,024	6,1	0,638	0,623	0,247	0,024	6,2



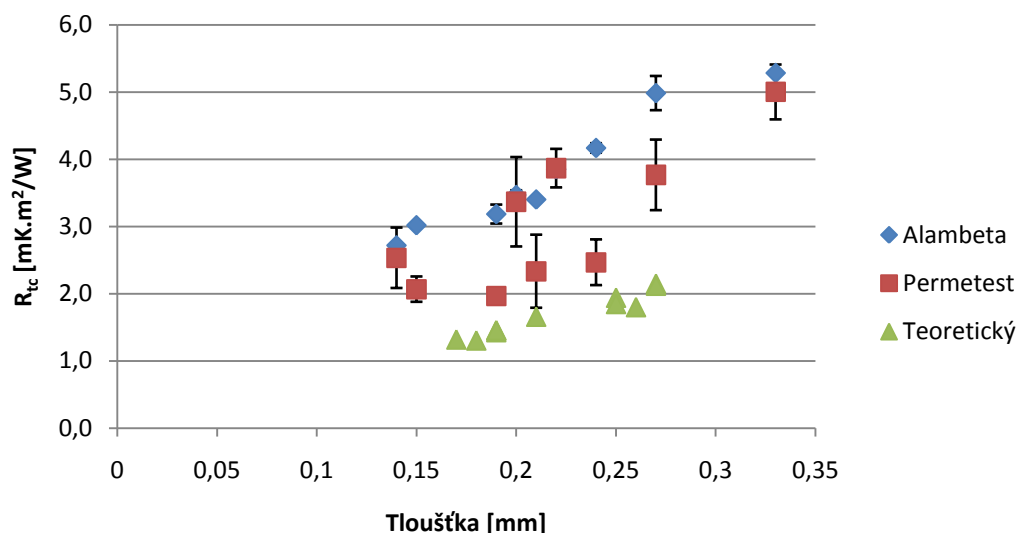
Obr. 21.: Výsledky tepelného odporu vzorků typu 2

Hodnoty tepelného odporu stanoveného teoreticky a naměřené zobrazuje obrázek 21. Porovnáním vypočítaných a naměřených hodnot se tepelný odpor liší. Absolutní rozdíl uvedený v tabulce 11 u tenkých vzorků dosahuje hodnoty okolo 4 [mK.m²/W] a u materiálů s větší tloušťkou okolo 6 [mK.m²/W]. Tepelný odpor dosahuje mnohonásobně nižších hodnot než pro tkaniny. Nejpravděpodobněji je to způsobeno výpočtem porozity, který je pro pleteniny obtížněji stanovitelný než pro tkaniny. Použitý model nebyl dostatečně komplexní, aby dokázal predikovat složitou strukturu pletenin.

8.4.3 Výsledky měření vzorků typu 3

Tab. 12.: Výsledky tepelný odpor teoretický pro vzorky typu 3 (*x*- aritmetický průměr, *s*- směrodatná odchylka)

Vzorky	Alambeta [mK.m ² /W]		Permatest [mK.m ² /W]		Teoretický [mK.m ² /W]	Tloušťka tkaniny [mm]	Tloušťka membrány [mm]	Absolutní rozdíl alambeta/ teoretický
	<i>x</i>	<i>s</i>	<i>x</i>	<i>s</i>				
245T	2,7	0,024	2,5	0,450	1,3	0,116	0,024	1,4
270T	3,0	0,024	2,1	0,189	1,3	0,120	0,030	1,7
POF0002	3,2	0,125	2,0	0,047	1,8	0,162	0,028	1,6
300D	3,4	0,000	2,3	0,544	2,1	0,183	0,027	1,3
300D3	3,5	0,062	3,4	0,665	1,9	0,182	0,018	1,9
150D	3,9	0,041	3,9	0,287	2,1	0,203	0,017	2,1
POF0007	4,2	0,062	2,5	0,340	2,3	0,220	0,020	2,6
300D1	5,0	0,225	3,8	0,525	2,5	0,250	0,020	2,5
300D2	5,3	0,024	5,0	0,408	3,0	0,312	0,018	3,0



Obr. 22.: Výsledky tepelného odporu vzorků typu 3

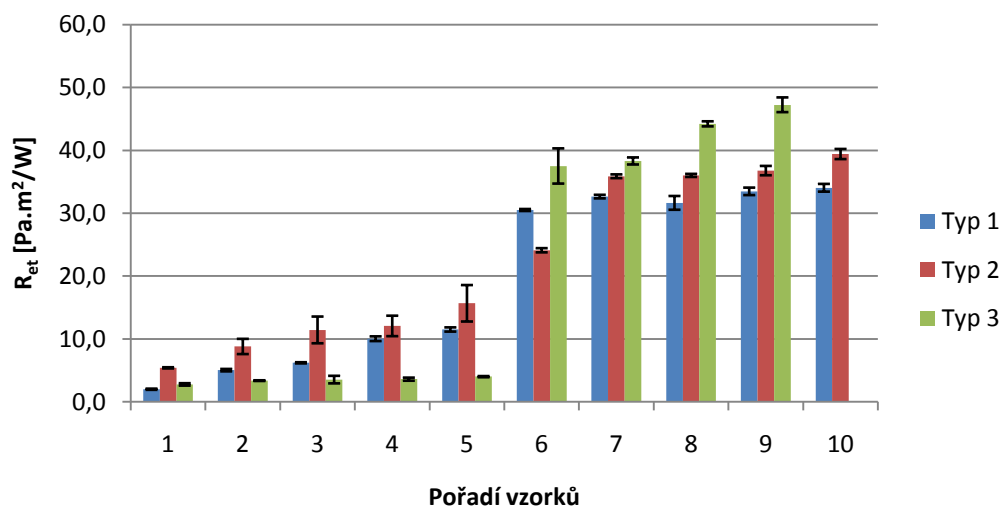
Hodnoty tepelného odporu stanoveny teoreticky a naměřeny jsou porovnány v tabulce 12. Z porovnání vyplývá, že hodnoty stanovené teoreticky tepelný odpor podhodnocují. Absolutní rozdíl je stejný jako pro vzorky typu 1 okolo 2 [mK.m²/W] pro tenké materiály. Pro materiály s větší tloušťkou je absolutní rozdíl okolo 3 [mK.m²/W]. Protože tkaniny laminované zátěrem měly všechny menší tloušťku průměrně 0,2 mm, je absolutní rozdíl menší než pro vzorky typu 1.

9 Diskuze výsledků

Výzkum byl realizován za účelem analýzy vlivu rychlosti proudu vzduchu na komfortní vlastnosti laminovaných textilií. Cílem bylo sledovat komfortní vlastnosti různých typů laminovaných textilií při různé rychlosti proudu vzduchu. Experiment byl realizován na třech typech textilií- membrána laminovaná na tkaninu (typ 1), membrána laminovaná na pleteninu (typ 2), zátěr nanesený na tkaninu (typ 3). Dále se vzorky rozlišovaly pro lamináty s membránou na 2-vrstvý a 2,5-vrstvý laminát.

Experiment byl rozdělen do tří částí. Měřena byla relativní paropropustnost, výparný odpor na přístroji permetest. Z termofyziologických vlastností tepelný odpor na přístrojích Permetest a Alambeta. Také byl stanoven teoretický tepelný odpor a porovnán s naměřenými hodnotami.

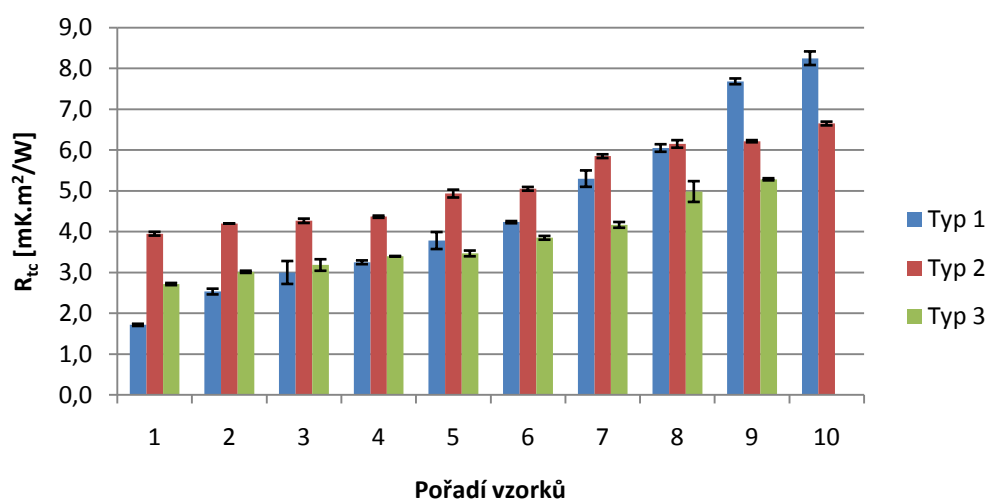
Porovnání naměřeného výparného odporu při proudění vzduchu 1 m/s zobrazuje obrázek 23. Naměřený výparný odpor při proudění vzduchu 1 m/s byl nejlepší pro vzorky typu 3 s prodyšným zátěrem, kde se pohyboval okolo 4 [Pa.m²/W]. S porovnání vzorků s 2,5-vrstvým laminátem a 2-vrstvým laminátem vyšly vzorky s 2,5-vrstvým laminátem podstatně hůře jejich výparný odpor činil průměrně 30 [Pa.m²/W]. Ret vzorků typu 1 se rovnoměrně pohybovalo okolo 30, ale Ret vzorků typu 2 mnohem více kolísalo.



Obr. 23.: Výsledky výparného odporu při prodění vzduchu 1 m/s všech měřených vzorků

Při změně rychlosti proudění vzduchu z 1 m/s na 2 m/s se výparný odpor zvyšoval pro vzorky typu 1 a 3. U vzorků typu 2 se výparný odpor snižoval, nejpravděpodobněji je to způsobeno strukturou pletenin. Nejlépe se zvýšením rychlosti proudu vzduchu vyrovnaly vzorky typu 3 s prodyšným zátěrem, kde absolutní rozdíl činil okolo 1 [Pa.m²/W]. Vzorky 150D a 245T dosahovaly hodnoty absolutního rozdílu 0,5 [Pa.m²/W]. Nejhorší výsledky zaznamenaly taktéž vzorky typu 3 s neprodyšným zátěrem.

Pro výsledky tepelného odporu nejlepších hodnot celkově dosáhly vzorky typu 2. Avšak dva vzorky typu 1 dosáhly lepších hodnot, jak je patrné z obrázku 24. Byly to vzorky s největší tloušťkou H3L-1695 a H2L-1698.



Obr. 24.: Výsledky tepelného odporu z přístroje Alambeta všech měřených vzorků

Sledován byl také rozdíl mezi měřením tepelného odporu na přístroji Alambeta a přístroji Permetest. Bylo zjištěno, že tepelný odpor se liší, naměřené hodnoty na přístroji Permetest jsou nižší než na přístroji Alambeta. Způsobuje to chladivý efekt přístroje Permetest, který je ovlivněn prouděním vzduchu, protože povrch měřeného vzorku je ofukována proudem vzduchu 1 m/s.

Nejmenší absolutní rozdíl mezi měřením na přístroji Alambeta a Permetest měly vzorky typu 1. Přesto rozdíly mezi jednotlivými typy vzorků nebyly výrazné průměrně 1 [mK.m²/W]. Hodnoty naměřené na přístroji Permetest vykazovali vyšší variabilitu. Proto se dá říct, že rozdíly byly srovnatelné u všech typů vzorků.

Třetím zkoumaným jevem byl teoreticky stanovený tepelný odpor. Při porovnání teoreticky stanoveného tepelného odporu a naměřeného se ukázalo, že je nevhodný pro vzorky typu 2. Jelikož vzorky typu 2 jsou pleteniny, jejichž struktura je složitější a teoretické modely ji prozatím nepopisují komplexně. Dobré výsledky zaznamenaly vzorky s nejnižší tloušťkou, u kterých absolutní rozdíl činil průměrně 2 [mK.m²/W].

Posuzovány byly geometrické vlastnosti vzorků, jelikož vyhodnocení bylo provedeno na plošné hmotnosti. K ověření míry závislosti byl použit Pearsonův korelační koeficient [14]. Míry závislosti mezi relativní paropropustností, výparným odporem na geometrických vlastnostech jsou zobrazeny v tabulce 13.

Tab. 13.: Míry závislosti mezi relativní paropropustností, výparným odporem na geometrických vlastnostech všech typů vzorků (P-relativní paropropustnost, Ret-výparná odpor, h- tloušťka, ps- plošná hmotnost)

Korelační koeficient		Typ 1		Typ 2		Typ 3	
y	x	2-vrstvý laminát	2,5-vrstvý laminát	2-vrstvý laminát	2,5-vrstvý laminát	2-vrstvý laminát	2,5-vrstvý laminát
P	h	0,176	-0,384	0,204	-0,238	-0,656	0,221
Ret	h	-0,268	-0,004	0,320	0,230	0,648	-0,241
P	ps	-0,021	-0,097	0,902	0,687	-0,798	0,014
Ret	ps	-0,133	-0,239	-0,922	-0,690	0,756	-0,058

Z výsledku uvedených v tabulce 13 je patrné, že geometrické vlastnosti nemají vliv na komfortní vlastnosti vzorků typu 1. Vzorky typu 2 vykazují silnou závislost komfortních vlastností na plošné hmotnosti 2-vrstvého laminátu a střední 2,5-vrstvého laminátu. Vzorky typu 3 jeví střední závislost komfortních vlastností na tloušťce i plošné hmotnosti 2-vrstvého laminátu.

Tab. 14.: Míry závislosti mezi geometrickými vlastnostmi a tepelného odporu všech typů vzorků (*R_{tc}*- tepelný odpor, *h*- tloušťka, *ps*- plošná hmotnost)

Korelační koeficient			Typ 1	Typ 2	Typ 3
y	x	Metoda			
R _{tc}	h	Alambda	0,982	0,962	0,968
R _{tc}	h	Permetest	0,984	0,747	0,796
R _{tc}	h	Teoretický	0,991	0,969	0,988
R _{tc}	ps	Alambda	0,852	-0,190	0,618
R _{tc}	ps	Permetest	0,868	-0,350	0,425
R _{tc}	ps	Teoretický	0,874	-0,062	0,791

Geometrické vlastnosti dle očekávání mají vliv na tepelný odpor. Jelikož je tloušťka hlavní vlastností, podle které se tepelný odpor řídí, všechny typy vzorku jsou na tloušťce závislé. Pro plošnou hmotnost to neplatí, vzorky typu 2 závislost nevykazují a vzorky typu 3 jen střední.

10 Závěr

Diplomová práce zkoumá vztah mezi komfortními vlastnostmi a změnou proudění vzduchu. V rešeršní části práce je definován oděvní komfort a popsány možnosti jeho hodnocení. V kapitole hodnocení komfortních vlastností s důrazem na změnu v povětrnostních podmínkách jsou uvedeny práce zkoumající změnu komfortních vlastností při zvýšení rychlosti proudění vzduchu. Například Gibson [8] a Maierová [16] uvádějí, že při zvýšení proudění vzduchu výparný odpor stoupá. Morrissey [9] a Havenith [10] ve svých pracích zkoumají vliv zvýšení rychlosti proudu vzduchu na tepelný odpor. Jejich práce deklarují, že po zvýšení proudu vzduchu tepelný odpor klesá. Další kapitola popisuje druhy multifunkčních textilií a možnosti jejich umístění v oděvním systému.

Experimentální část byla zaměřena na měření komfortních vlastností a to především výparného odporu, relativní paropropustnosti a tepelného odporu. Měření proběhlo na přístroji Permetest. Tepelný odpor byl navíc měřen také na přístroji Alambeta. Výzkum byl uskutečněn na třech typech laminovaných textilií, membrána laminovaná na tkaninu a pleteninu, zátěr nanesený na tkaninu. Vzorky laminované membránou se dělily na 2-vrstvý a 2,5-vrstvý, vzorky laminované zátěrem byly prodyšné a neprodyšné.

Bylo zjištěno, že z rostoucí rychlosti proudění vzduchu relativní paropropustnost klesá a výparný odpor stoupá, což potvrzují studie popsané v teoretické části. Zvýšení rychlosti proudění vzduchu způsobilo zvýšení rychlosti odpařování a tím i zvýšení výparného odporu. Tepelný odpor při zvýšení rychlosti proudění vzduchu klesá, opět to potvrzují práce popsané v teoretické části. Ke snížení tepelného odporu dochází z důvodu vedení tepla konvekcí přes vzduchovou mezeru, ve které zvýšením proudění vzduchu vzrůstá vedení tepla, což snižuje tepelný odpor. Ze zjištěných skutečností měření, lze říci, že při zvýšení rychlosti proudění vzduchu se komfortní vlastnosti zhoršují. Proto byl v diskuzi hledán typ vzorků, který nabýval nejmenšího absolutního rozdílu mezi měřeními standardním a při zvýšení proudění vzduchu. Pro výparný odpor se ukázaly s nejmenším absolutním rozdílem vzorky typu 3 s prodyšným zátěrem. Nejmenším absolutním rozdílem při standardním měření a povýšení rychlosti vzduchu pro tepelný odpor byly vzorky typu 1 s 2-vrstvým i 2,5-vrstvým laminátem.

Také byl teoreticky stanoven tepelný odpor, z důvodu tloušťky měřených vzorků, jelikož jsou vzorky v experimentu velmi tenké, jejich měření je nesnadné. Z výpočtu a porovnáním s naměřenými hodnotami se jevil teoretický model výpočtu vhodný pro velmi tenké tkaniny.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SHISHOO, R.: *Textiles in sport*. 1.vyd. Cambridge: Woodhead publishing Limited, 2005. 201 s. ISBN-13: 978-1-85573-922-2
- [2] HES, L., SLUKA, P. *Úvod do komfortu textilií*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2005, 109 s. ISBN 80-708-3926-0.
- [3] LAGMEIER, M a kol. *Základy lékařské fyziologie*. Vyd. 1. Praha: Granada publishing a. s., 2009, ISBN 978-80-247-2526-0.
- [4] MACHÁČKOVÁ, Adéla a Radim KOCICH. *Sdílení tepla a proudění* [online]. Ostrava: VŠB- Technická univerzita Ostrava, 2012 [cit. 2015-02-08]. ISBN 978-80-248-2576-2. Dostupné z:
http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/STP/STP_FINAL_LAST.pdf
- [5] POKORNÝ, Marek. *Sálání tepla* [online]. Praha: ČVUT, 2006 [cit. 2015-02-08]. Dostupné z: http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/specialiste/1/1-4_Salani_tepla.pdf
- [6] ČSN EN 31 092. *Textilie- Zjišťování fyziologických vlastností- měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám za stálých podmínek (zkouška pocení vyhřívanou destičkou)*. Dvůr Králové nad Labem: Český normalizační institut, 1996.
- [7] Interní norma 23-304-01/01. *Stanovení termofyziologických vlastností textilií*. Liberec: TUL, 2004.
- [8] GIBSON, P. W. Factors Influencing Steady-State Heat and Water Vapor Transfer Measurements for Clothing Materials. *Textile Research Journal* [online]. 1993, vol. 63, no. 12 [cit. 2015-02-20]. Dostupné z: doi: 10.1177/004051759306301208
- [9] MORRISEY, Mathew a René ROSSI. The effect of wind, body movement and garment adjustments on the effective thermal resistance of clothing with low and high air permeability insulation. *Textile Research Journal* [online]. 2014, vol. 84, no. 6, s. 583-592 [cit. 2015-04-05]. Dostupné z: doi: 10.1177/0040517513499431
- [10] KE, Ying a George HAVENITH et. al. Effects of wind and clothing apertures on local clothing ventilation rates and thermal insulation. *Textile Research Journal* [online]. 2014, vol. 84, no. 9, s. 941-952 [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: doi: 10.1177/0040517513512399
- [11] DING, Dan et.al. Characterizing the performance of a single-layer fabric system through a heat and mass transfer model – Part II: Thermal and evaporative resistances.

Textile Research Journal [online]. 2011, vol. 81, no. 9, s. 945-958 [cit. 2015-04-10].

Dostupné z: doi: 10.1177/0040517510395994

[12] GHALI, K et. al. Simplified Heat Transport Model of a Wind-permeable Clothed Cylinder Subject to Swinging Motion. *Textile Research Journal* [online]. 2009, vol. 79, no. 11, s. 1043-1055 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: doi: 10.1177/0040517508101460

[13] GOMBÍKOVÁ, Viera. KOD-FT-TUL. Oděvní komfort II.: *Fyziologické vlastnosti oděvních materiálů* [pdf přednáška]. 2012 [cit. 2015-03-10]. Dostupné z:

http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/prednasky/OM_prednaska7_2012.pdf

[14] FAKULTA TĚLESNÉ KULTURY, *Základy statistiky* [pdf přednáška]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: http://ftk.upol.cz/fileadmin/user_upload/FTK-katedry/institut-akt-ziv-stylu/Statistika/ZAKLADYstatistikySKRIPTA2.pdf

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

[16] MAIEROVA, M. Vliv proudění vzduchu na tepelné vlastnosti textilií. Diplomová práce. Liberec: Technická univerzita, 2011

[17] KOVÁŘ, R. *Struktura a vlastnosti plošných textilií* [online]. Liberec: Technická univerzita, 2002 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2003-02-17/11-54-33.pdf>

[18] KŘEMENÁKOVÁ, D. *Analysis of textile structures* [pdf přednáška]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: https://skripta.ft.tul.cz/databaze/list_kat.cgi?kat=KTT&skr=193&pro=

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1.: Měřicí jednotka s regulací teploty a přívodem vody [6].</i>	14
<i>Obr. 2.: Princip funkce mikroporézní membrány [13].</i>	29
<i>Obr. 3.: Princip funkce neporézní membrány [13].</i>	29
<i>Obr. 4.: Z-liner Dvouvrstvý laminát Třívrstvý laminát [13].</i>	30
<i>Obr. 5.: Výsledky výparného odporu vzorků typu 1</i>	36
<i>Obr. 6 Závislost výparného odporu při proudění vzduchu 1 m/s na výparném odporu ... při proudění vzduchu 2 m/s vzorky typu 1- 2-vrstvý laminát</i>	37
<i>Obr. 7.: Vztah mezi výparným odporem při proudění vzduchu 1 m/s a výparným odporem při proudění vzduchu 2 m/s vzorky typu 2- 2,5-vrstvý laminát.</i>	37
<i>Obr. 8.: Výsledky výparného odporu vzorků typu 2</i>	39
<i>Obr. 9.: Závislost výparného odporu při proudění vzduchu 1 m/s na výparném odporu při proudění vzduchu 2 m/s vzorky typu 2- 2-vrstvý laminát</i>	40

<i>Obr. 10.: Závislost výparného odporu při proudění vzduchu 1 m/s na výparném odporu při proudění vzduchu 2 m/s vzorky typu 2- 2,5-vrstvý laminát</i>	40
<i>Obr. 11.: Výsledky výparného odporu vzorků typu 3</i>	41
<i>Obr. 12.: Vztah mezi výparným odporem při proudění vzduchu 1 m/s a výparným odporem při proudění vzduchu 2 m/s vzorky typu 3- 2-vrstvý laminát.....</i>	42
<i>Obr. 13.: Vztah mezi výparným odporem při proudění vzduchu 1 m/s a výparným odporem při proudění vzduchu 2 m/s vzorky typu 3- 2,5-vrstvý laminát.....</i>	43
<i>Obr. 14.: Výsledky tepelného odporu vzorků typu 1</i>	45
<i>Obr. 15.: Závislost tepelného odporu měřeného na přístroji Alambeta na tepelném odporu měřeném na přístroji Permetest vzorků typu 1</i>	45
<i>Obr. 16.: Výsledky tepelného odporu vzorků typu 2.....</i>	47
<i>Obr. 17.: Závislost tepelného odporu měřeného na přístroji Alambeta na tepelném odporu měřeném na přístroji Permetest vzorků typu 2</i>	47
<i>Obr. 18.: Výsledky tepelného odporu vzorků typu 3.....</i>	48
<i>Obr. 19. Závislost tepelného odporu měřeného na přístroji Alambeta na tepelném odporu měřeném na přístroji Permetest vzorků typu 3</i>	49
<i>Obr. 20.: Výsledky tepelného odporu vzorků typu 1</i>	51
<i>Obr. 21.: Výsledky tepelného odporu vzorků typu 2.....</i>	52
<i>Obr. 22.: Výsledky tepelného odporu vzorků typu 3.....</i>	54
<i>Obr. 23.: Výsledky výparného odporu při proudění vzduchu 1 m/s všech měřených vzorků</i>	55
<i>Obr. 24.: Výsledky tepelného odporu z přístroje Alambeta všech měřených vzorků</i>	56

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1.: Rozbor testovaných vzorků typu 1</i>	32
<i>Tab. 2.: Rozbor testovaných vzorků typu 2.....</i>	33
<i>Tab. 3.: Rozbor testovaných vzorků typu 3.....</i>	34
<i>Tab. 4.:Vyhodnocení experimentálně naměřených hodnot na přístroji Permetest vzorků typu 1 (x- aritmetický průměr, s- směrodatná odchylka).....</i>	35
<i>Tab. 5.:Vyhodnocení experimentálně naměřených hodnot na přístroji Permetest vzorků typu 2 (x- aritmetický průměr, s- směrodatná odchylka).....</i>	38
<i>Tab. 6.: Vyhodnocení experimentálně naměřených hodnot na přístroji Permetest vzorků typu 3 (x- aritmetický průměr, s- směrodatná odchylka).....</i>	41
<i>Tab. 7.: Vyhodnocení tepelného odporu vzorků typu 1 (x- aritmetický průměr, s- směrodatná odchylka)</i>	44
<i>Tab. 8.: Vyhodnocení tepelného odporu vzorků typu 2 (x- aritmetický průměr, s- směrodatná odchylka)</i>	46

<i>Tab. 9.: Vyhodnocení tepelného odporu vzorků typu 3 (x- aritmetický průměr, s-směrodatná odchylka)</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 10.: Výsledky tepelný odpor teoretický pro vzorky typu 1 (x- aritmetický průměr, s-směrodatná odchylka)</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 11.: Výsledky tepelný odpor teoretický pro vzorky typu 2 (x- aritmetický průměr, s-směrodatná odchylka)</i>	<i>52</i>
<i>Tab. 12.: Výsledky tepelný odpor teoretický pro vzorky typu 3 (x- aritmetický průměr, s-směrodatná odchylka)</i>	<i>53</i>
<i>Tab. 13.: Míry závislosti mezi relativní paropropustností, výparným odporem na geometrických vlastnostech všech typů vzorků (P-relativní paropropustnost, Ret-výparná odpor, h- tloušťka, ps- plošná hmotnost).....</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 14.: Míry závislosti mezi geometrickými vlastnostmi a tepelného odporu všech typů vzorků (Rtc- tepelný odpor, h- tloušťka, ps- plošná hmotnost).....</i>	<i>58</i>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Vzhled testovaných vzorků

PŘÍLOHY

Příloha 1

Typ 1

Líc vzorku 260 T



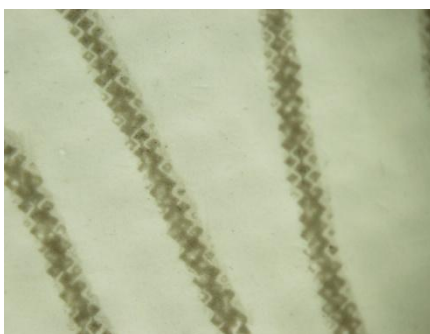
Rub vzorku 260T



Líc vzorku 150D



Rub vzorku 150D



Líc vzorku H2L-1698



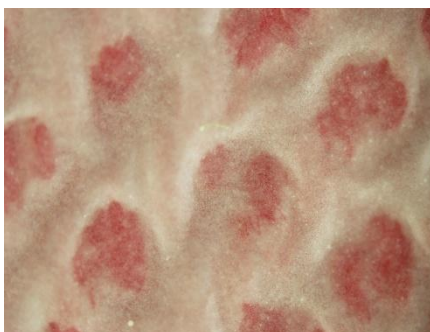
Rub vzorku H2L-1698



Líc vzorku H3L-1695



Rub vzorku H3L-1695



Líc vzorku 15D



Rub vzorku 15D



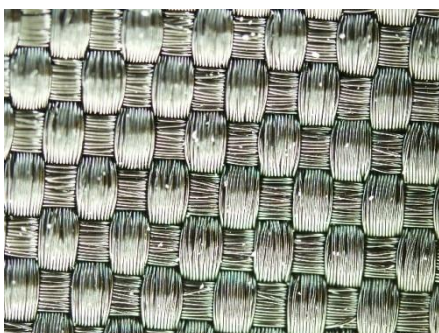
Líc vzorku H2-5L-3689



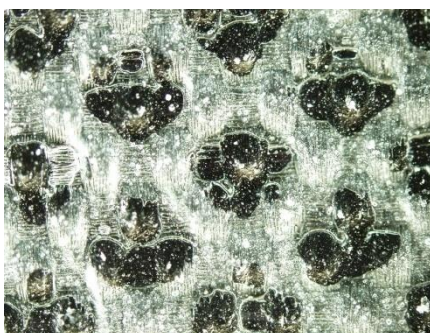
Rub vzorku H2-5L-3689



Líc vzorku 500D



Rub vzorku 500D



Líc vzorku 210 D



Rub vzorku 210D



Líc vzorku 75D



Rub vzorku 75D



Líc vzorku 20D



Rub vzorku 20D



Typ 2

Líc vzorku 40G



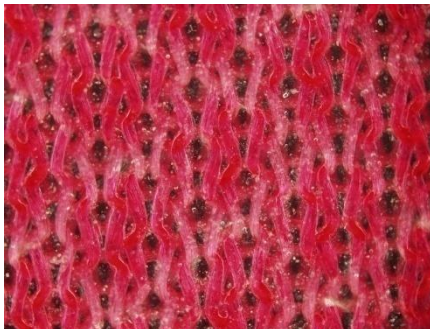
Rub vzorku 40G



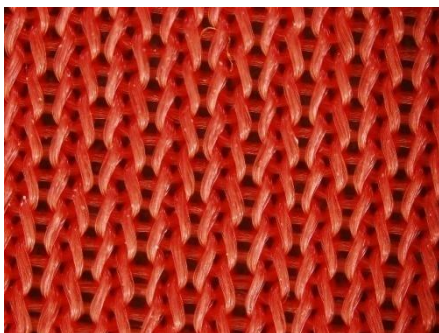
Líc vzorku H2L-1259



Rub vzorku H2L-1259



Líc vzorku 30D40G1



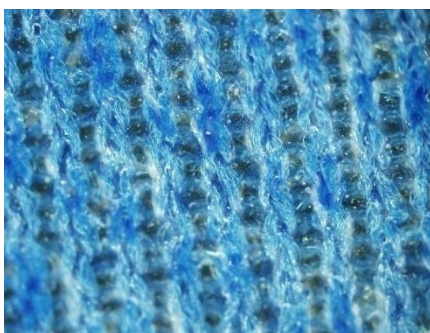
Rub vzorku 30D40G1



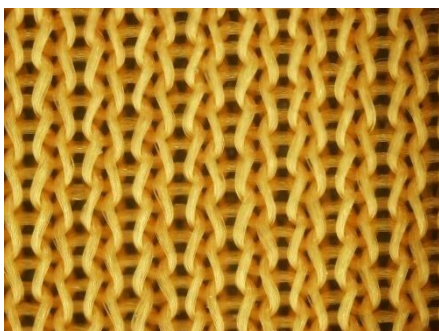
Líc vzorku 30D40G



Rub vzorku 30D40G



Líc vzorku 30D40G2



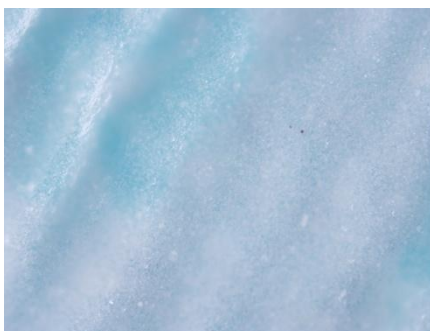
Rub vzorku 30D40G2



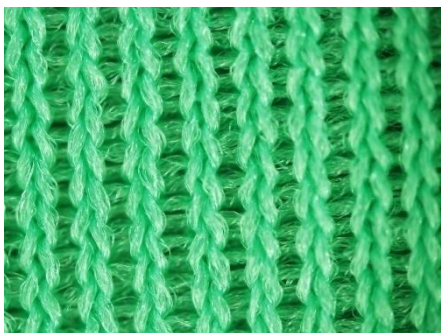
Líc vzorku H2L-1942



Rub vzorku H2L-1942



Líc vzorku H2.5L-3677



Rub vzorku H2.5L-3677



Líc vzorku H2.5L-3685



Rub vzorku H2.5L-3685



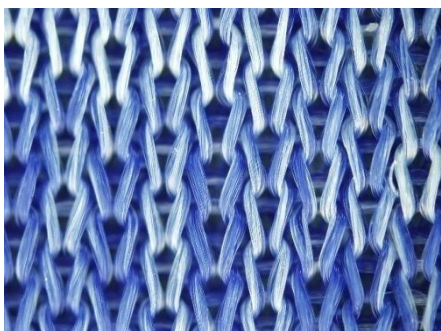
Líc vzorku 30D



Rub vzorku 30D



Líc vzorku 20D



Rub vzorku 20D

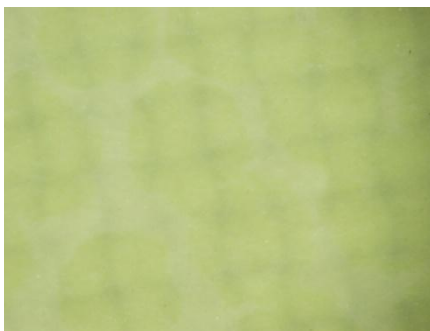


Typ 3

Líc vzorku 300D



Rub vzorku 300D



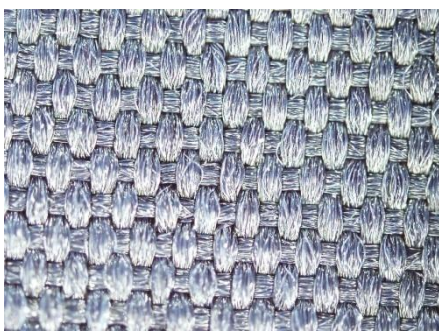
Líc vzorku 300D2



Rub vzorku 300D2



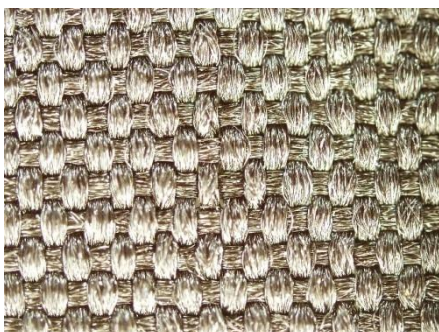
Líc vzorku 245T



Rub vzorku 245T



Líc vzorku 270T



Rub vzorku 270T



Líc vzorku 150D



Rub vzorku 150D



Líc vzorku P0F0002



Rub vzorku P0F0002



Líc vzorku P0F0007



Rub vzorku P0F0007

