

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Liberec 2013

Kateřina Gombošová

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: B3107 Textil
Textilní Marketing

**VLIV VZDUCHOVÉ MEZERY NA
PAROPRUPUSTNOST TEXTILIÍ**

**THE INFLUENCE OF AN AIR GAP ON VAPOR
PERMEABILITY OF TEXTILES**

Kateřina Gombořov

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Iveta Vyskočilov

Rozsah práce:

Počet stran textu ...42

Počet obrzk22

Počet tabulek5

Počet stran příloh...3

Zadání bakalářské práce

(vložit originál)

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním bakalářské práce v Univerzitní knihovně TUL.

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

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že s o u h l a s í m s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užit své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci dne 23. 5. 2013

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucí bakalářské práce Ing. Ivetě Vyskočilové za cenné připomínky a pomoc při řešení problémů. Dále bych chtěla poděkovat všem svým kamarádům a rodině za podporu během celého mého studia.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem vlhkosti na hodnoty paropropustnosti a výparného odporu mezi hlavicí přístroje a měřeným vzorkem, tedy pokud materiál leží v simulovaných podmínkách přímo na pokožce (hlavicí přístroje), nebo pokud je vzdálený od ní. Dále práce řeší vliv vzduchové mezery mezi pokožkou (hlavicí přístroje) a mezi měřeným vzorkem. Vzduchová mezera byla vytvořena pomocí mezikruží a 3D textilií o různé tloušťce. Měření probíhalo na přístroji Permetest. Práce také popisuje základní poznatky o termofyziologickém komfortu textilií, dále se zabývá metodami měření termofyziologického komfortu a odvodu vlhkosti z povrchu lidského těla. Cílem práce bylo vyhodnotit vliv vzduchové mezery na hodnoty paropropustnosti RWVP a výparného odporu RET a naměřená data graficky vyhodnotit.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Propustnost pro vodní páry

Výparný odpor

Přístroj Permetest

mezikruží

termofyziologický komfort

ANNOTATION

This thesis addresses the influence of humidity on the levels of vapor permeability and evaporation resistance between the head of the machine and the tested sample, comparing the simulated situations of the material being directly on skin (represented by the head of the machine) and having some distance from it. Furthermore, it examines the influence of an air gap on the space between skin (head of the machine) and the tested sample. The air gap has been created using a ring and 3D textiles of various thickness. The measuring has been done using a Permetest machine. The thesis also lists basic facts about thermo-physiological comfort of textiles, then describes various methods of testing for thermo-physiological comfort and the transmission of humidity away from the surface of the human body. The goal of this thesis was to measure the influence of an air gap on the values of RWVP – vapor permeability and RET – evaporation resistance, then to evaluate the obtained data graphically.

KEY WORDS:

Permeability to water vapor

Evaporative resistance

Device Permetest

Ring

thermo – physiological comfor

Obsah

ANOTACE	3
1 Úvod	9
2 Teoretická část.....	10
2.1 Komfort.....	10
2.2 Druhy komfortu	10
2.2.1 Vlhkost vzduchu pod oděvem	10
2.2.2 Teplota vzduchu pod oděvem.....	11
2.2.3 Subjektivní hodnocení fyziologického komfortu (diskomfortu).....	12
2.3 Tělesná termoregulace	13
2.4 Vliv teploty prostředí a doby pobytu v něm na lidské tělo.....	14
2.5 Způsoby přenosu tepla mezi člověkem a okolím.....	15
2.5.1 Přenos tepla kondukcí (vedením)	15
2.5.2 Přenos tepla prouděním (konvekci).....	16
2.5.3 Přenos tepla zářením (radiací)	17
2.5.4 Přenos tepla evaporací (odpařováním potu)	18
2.5.5 Přenos tepla respirací (dýcháním)	18
2.6 Odvod kapalné vlhkosti z povrchu lidského těla	18
2.6.1 Difuzní odvod vlhkosti	18
2.6.2 Kapilární odvod vlhkosti	19
2.6.3 Sorpční odvod vlhkosti.....	19
2.7 Metody hodnocení termofyziologického komfortu	20
2.7.1 Gravimetrická metoda	20
2.7.2 Metoda dreo.....	20
2.7.3 Skin model.....	21

2.7.4	Zkouška za stacionárních podmínek.....	21
2.7.5	Zkouška za nestacionárních podmínek.....	21
2.8	Přístroj Permetest.....	22
2.9	Výpočet relativní propustnosti pro vodní páry	23
2.9.1	Stanovení relativní propustnosti pro vodní páry	23
2.9.2	Tepelný odpor.....	23
2.10	Potíací torzo	24
2.11	Tepelný manekýn	25
3	Experimentální část	26
3.1	Popis Experimentu.....	26
3.2	Použité materiály	26
3.2.1	3D textilie	28
3.2.2	Mezikruží.....	28
3.3	Příprava vzorků pro měření	29
3.4	Měření na přístroji Permetest.....	29
3.5	Měření celkového tepelného toku.....	30
4	Diskuse	31
4.1	Vliv obsahu hmotnostní vlhkosti a vzduchové mezery na hodnoty RWVP a RET u materiálu 100 % bavlna	31
4.2	Vliv vzduchové mezery různého materiálového složení a stejné dostavy útku na hodnoty RWVP a RET pomocí mezikruží	33
4.3	Vliv vzduchové mezery různé dostavy útku a stejného materiálového složení bavlna - polypropylen na hodnoty RWVP a RET pomocí mezikruží	35
4.4	Vliv vzduchové mezery různého materiálového složení a stejné dostavy útku na hodnoty RWVP a RET pomocí 3D textilií.....	37
4.5	Vliv vzduchové mezery vytvořenou pomocí mezikruží a 3D textilií u různého materiálového složení na hodnoty RWVP a RET	38

4.6	Vliv vzduchové mezery vytvořené pomocí mezikruží a 3D textilií s různou dostavou útku a stejného materiálového složení 50PP/50CO na hodnoty RWVP a RET	41
5	Závěr.....	43
6	Literatura	45
7	Seznam příloh.....	46

Seznam zkratk

α	koeficient přestupu tepla [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]
λ	tepelná vodivost [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$]
τ	doba expozice
τ_1	transmitace [bezrozměrné]
G_0	hmotnost před expozicí [kg]
G_1	hmotnost po expozici [kg]
h	tloušťka vzduchové mezery
p	relativní propustnost pro vodní páry [%]
P_a	parciální tlak vodní páry ve vzduchu [Pa]
P_k	parciální tlak páry u pokožky [Pa]
PP	polypropylen
CO	bavlna
Dú	dostava útku [n/1 cm]
q	tok tepla [W/m^2]
q_0	tepelný tok měřený bez vzorku [W/m^2]
q_1	tepelný tok měřený se vzorkem [W/m^2]
R_{et}	výparný odpor [$\text{m}^2 \cdot \text{Pa}/\text{W}$]
RWVP	chladičí tepelný tok [%]
t_1	teplota vnější vrstvy oděvu [$^{\circ}\text{C}$]
t_m	teplota povrchu měřicí hlavice [$^{\circ}\text{C}$]
t_o	teplota okolí [$^{\circ}\text{C}$]
U	vlhkost [%]

1 ÚVOD

Stále se na textilním trhu objevují levné a nekvalitní výrobky, které z velké části pocházejí z Asie a tím vytlačují výrobky kvalitnější a dražší. Před několika lety spousta zákazníků při nakupování ovlivňovala cena oděvů, nikoliv funkčnost a životnost. Pod pojmem „ funkční oblečení “ si většina zákazníků spíše představila oděvy sloužící pro sport, nikoliv pro běžné nošení. Nejspíše z důvodu neznalosti. V dnešní době je situace jiná, máme větší možnost výběru a znalostí díky dobré propagaci prostřednictvím televizních reklam, médií i tisku. Pracovní nasazení člověka se spíše zvyšuje a je důležité, aby se nositel ve svém oděvu cítil stále dobře – komfortně například při stresových situacích, doma nebo při různých vlivech klimatu, nikoliv, aby se cítil nepříjemně – diskomfortně.

V současné době existuje spousta metod a přístrojů, které se zabývají hodnocením komfortu textilií. Tato práce se v teoretické části zabývá základními poznatky termofyziologického komfortu, jako je tělesná termoregulace, způsoby přenosu tepla, odvodem kapalně vlhkosti z povrchu těla a metodami hodnocení termofyziologického komfortu.

V experimentální části se zabývám měřením celkového tepelného toku q [%], dále paropropustností RWVP [%] a celkovým výparným odporem [$m^2 \cdot Pa/W$]. Měření probíhá na přístroji Permetest. Vzorky jsou měřené jak v suchém stavu, tak i v šesti stupních vlhkosti. Vzorky jsou rozdělené dle materiálového složení a dle dostavy útku (dále jen Dú). Jsou tkané v plátňové vazbě. V práci je řešen vliv vzduchové mezery mezi pokožkou a textilií na hodnoty propustnosti vodní páry. U mokrých vzorků je řešen chladicí efekt, pokud textílie leží přímo na pokožce nebo pokud je v určité vzdálenosti od ní.

Cílem mé bakalářské práce bylo vyhodnotit vliv vzduchové mezery mezi měřenou textilií a měřicí hlavicí přístroje vytvořenou pomocí mezikruží a 3D textilií na hodnoty výparného odporu a paropropustnosti, dále získané údaje porovnat a graficky zobrazit.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Komfort

Pojem komfort v dnešní době vyvolává stále větší zájem u spotřebitelů, dodavatelů a distributorů oblečení a jiných textilních výrobků. Pod pojmem komfort si představujeme oděv, ve kterém se cítíme pohodlně, bezpečně před nepříjemnými vjemy, vnímanými našimi smysly (hmat, zrak, sluch, čich), nepřevládají pocity tepla ani chladu, tudíž v tomto stavu můžeme vytrvat a pracovat.

2.2 Druhy komfortu

Komfort dělíme na psychologický, sensorický, fyziologický a patofyziologický.

- **Psychologický komfort**

Vyjadřuje individualitu každého jedince z hlediska klimatického, ekonomického, kulturního, historického a sociálního. [1]

- **Sensorický komfort**

Zahrnuje vjemy a pocity člověka při přímém styku pokožky a první vrstvy oděvu. Vznikající pocity mohou být příjemné, jako pocit měkkosti, splývavosti nebo nepříjemné a dráždivé, jako je tlak, pocit vlhkosti, škrábání, kousání, píchání, lepení. [1]

- **Fyziologický komfort**

Je optimální stav lidského těla, kdy nepocítujeme pocity chladu ani tepla díky fyziologickým funkcím, které jsou v optimu. Cítíme se pohodlně. Při použití oděvu či jiného materiálu, se kolem lidského těla vytváří mikroklima, které se podílí na vytváření komfortu či diskomfortu. Např. pokud máme výrobek s vyhovujícími tepelnými vlastnostmi, ale nepropouštějící vodní páry, pot neprojde přes textílii a následně se začne zvyšovat vlhkost vzduchu pod oděvem. [1]

2.2.1 Vlhkost vzduchu pod oděvem

V podmínkách tepelné pohody se relativní vlhkost vzduchu pod oděvem (ve vrstvě vzduchu mezi pokožkou a první vrstvou oděvu) pohybuje v rozmezí 35 – 60%. Může být o něco nižší než vlhkost okolního vzduchu v důsledku vyšší teploty vzduchu ve vrstvě mezi tělem a oděvem. Nejdůležitější je dynamika vzduchu pod oděvem, která ovlivňuje

schopnost oděvu (vlivem materiálu a střihu) odvádět pot z povrchu těla do okolního prostředí. [2]

Pokud je lidské tělo v takovém tepelném prostředí, že se nestačí odvádět pot, potom se začne tělo přehřívat, tím pot zůstává na pokožce a v oděvu, což může vést ke zdravotním komplikacím především u seniorů, kteří mají problémy s termoregulací. [1] Ke zvýšení vlhkosti vzduchu pod oděvem může dojít i v chladném prostředí, což by svědčilo o nevhodných tepelně-izolačních vlastnostech a nízkém odvodu vodních par oděvem. [3]

V souvislosti s vlhkostí vzduchu pod oděvem se setkáváme i s pojmem vlhkost pokožky. Vlhkost pokožky je dána množstvím vyloučeného potu (Tab. 1). Pot se vylučuje potními žlázami. Množství potních žláz na lidském těle je individuální. [2][3]

Tab. 1 Množství vyloučeného potu při různých činnostech [2]

Druh činnosti	Množství vody v [g/m ² /hod]
Spánek	35 – 40
Sezení	50 – 60
Chůze	140 – 160
Běh	450 – 550

2.2.2 Teplota vzduchu pod oděvem

Pro oblečeného člověka je jedním z ukazatelů přiměřenosti oděvu podmínkám jeho použití teplota vzduchu mezi povrchem těla a první oděvní vrstvou. Optimální úroveň této teploty je dána fyzickou aktivitou člověka. Např. pro osobu ve stavu klidu představuje pohodu teplota vzduchu v oblasti trupu 30 – 32°C, ale pro osobu vykonávající těžkou fyzickou práci teplota 15°C. Pro hodnocení teploty vzduchu pod oděvem je potřeba přihlížet k individuální fyzické aktivitě jedince. Ukazatel teploty vzduchu v různých vrstvách oděvu může být využit ke srovnávacímu hygienickému hodnocení výrobku pro různé účely použití. [2]

Ne vždy je žádoucí, aby neklesala teplota vzduchu pod oděvem v chladnějším prostředí a to zejména při náročné fyzické aktivitě (např. cyklistika. [2] Teplota vzduchu pod oděvem závisí především na tepelně-izolačních vlastnostech výrobku a na množství vyprodukovaného tepla lidským tělem. Teplota těla se nachází v rozmezí 29°C – 36°C,

příčemž teplota v okolí hlavy, hrudníku, břicha, atd. je 35°C – 36°C, teplota odlehlých částí lidského těla je 29°C – 31°C [1]

Za hlavní fyziologické vlastnosti jsou považovány:

- tepelně izolační vlastnosti
- propustnost vodních par
- prodyšnost

2.2.3 Subjektivní hodnocení fyziologického komfortu (diskomfortu)

Mimo pocit fyziologického komfortu můžeme fyziologický pocit subjektivně hodnotit do dvou skupin a to pocit tepla versus pocit chladu. Každou skupinu můžeme následně rozdělit do několika podskupin v závislosti na intenzitě pocitu. [3]

- mírné teplo

Projevuje se začínajícím pocitem tepla, pocením v okrajových oblastech lidského těla. S tímto pocitem lze neustále vyvíjet fyzickou aktivitu.

- teplo

Projevuje se pocitem tepla a pocením po celém těle. Pot se odpařuje oděvem z povrchu těla, po těle nestéká. Fyzickou aktivitu lze provádět pouze v omezené době.

- horko

Přehřátí organismu s nejvyšší intenzitou pocení. Ztížené dýchání, pot stéká po těle, není odpařován oděvem. Pokud tento pocit přetrvává, mohou nastat zdravotní komplikace [1][3]

- chladno

Lokální mrazení v odlehlých částech těla, lze částečně zamezit fyzickou aktivitou.

- zima

Pocit chladu po celém těle, změna vzhledu pokožky. Krátkodobý pobyt se zvýšenou fyzickou aktivitou.

- Tuhnutí

Podchlazení organismu, ochromený pohyb končetin. Může se dostavit šok a následně smrt.

[1][3]

Tab. 2 Podmínky fyziologického komfortu [1]

Teplota pokožky	33°C – 35°C
Relativní vlhkost vzduchu	50±10%
Rychlost proudění vzduchu	25±10cm.s-1
Obsah CO ₂	0,07%
Nepřítomnost vody na pokožce	

2.3 Tělesná termoregulace

Tělesná termoregulace má za úkol držet tělo v optimální teplotě, jehož kolísající teplotní interval může být v rozmezí $\pm 4^{\circ}\text{C}$ okolo průměrné hodnoty 36-37°C. Toto kolísání způsobují vlivy vnější a vnitřní. Při překročení uvedených teplotních hodnot dochází k porušení termoregulačního cyklu s dopady na psychický a fyziologický stav člověka. Celý proces je řízen centrálním nervovým systémem, který je nezbytný pro přežití každého jedince. Organismus člověka představuje samoregulační systém, jehož fyziologický mechanismus je zaměřen na udržení stálosti vnitřního prostředí na principu rovnováhy mezi množstvím tepla vytvořeného organismem a množstvím tepla odevzdaného do okolního prostředí. Termoregulace probíhá dvojím způsobem, a to *chemicky* či *fyzicky*.

Při chemické termoregulaci – dochází k chemickým reakcím, které způsobují látkové proměny a tím dochází k tvorbě tepla. K největšímu množství produkovaného tepla dochází při namáhavé činnosti organismu. [2]

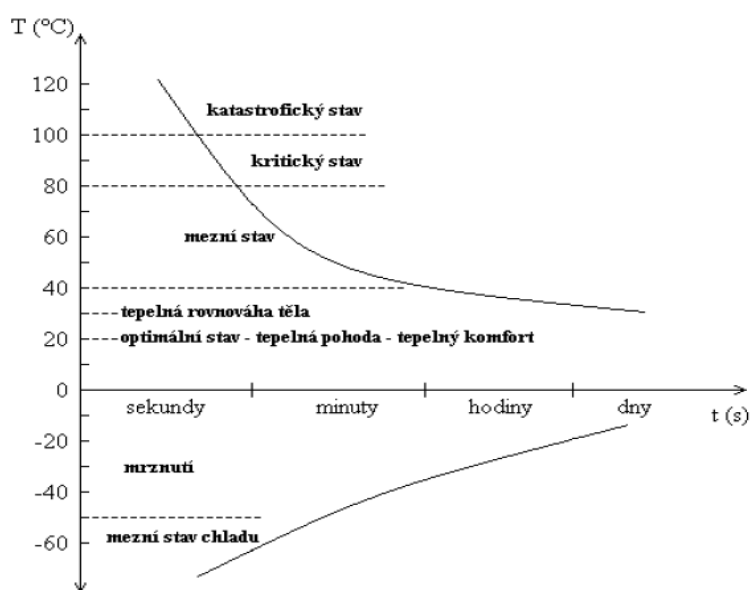
Tab. 3 Tvorba tepla při zátěži [3]

Činnost organismu	Tvorba tepla [J/s]
Klid na lůžku	81,4
Stoj	116,3
Chůze	314,0
Těžká fyzická práce	348,9
Běh	918,7

Při fyzické termoregulaci – dochází k tvorbě a výdeji tepla. Při výskytu v okolí, kde jsou poměrně vysoké teploty, dochází ke zvýšené tepové frekvenci a tím průtoku krve, při kterém se zvyšuje průřez cév. Tím se teplota v těle vyrovná – teplota kůže vzrůstá, roste přenos tepla konvekcí do okolního vzduchu, pokud tento je o 1-2°C chladnější.

2.4 Vliv teploty prostředí a doby pobytu v něm na lidské tělo

Na lidské tělo působí různé teploty vnějšího prostředí. Při překročení teplotních a časových intervalů dochází k narušení termoregulačního systému. Pokud se bude teplota zvyšovat nad teplotu optimální, tak se budeme nacházet v mezním stavu, který vyvolává pocity neklidu – tepelný stres, únava. Jako ochranný prostředek použijeme oblek, který má malou tepelnou vodivost a velkou odpařovací propustnost. Pokud stále trvá tepelné zatížení těla, poruchy fyziologické činnosti se stupňují, čímž nastává stav kritický a dochází ke kolapsu – točení hlavy, mdloby. Jako ochranný prostředek použijeme skafandr. Při dalším stupni tepelného zdroje dochází k bolestivému pocitu – popáleniny. Pokud budeme naopak teplotu snižovat, dochází k pocitu chladu. Při větším stupni k pocitu bolesti a omrzlinám.

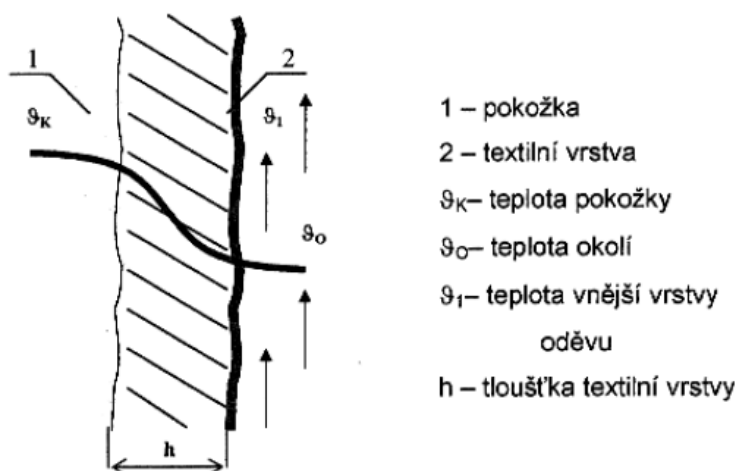


Obr. 1: Vliv teploty ve vnějším prostředí na lidský organismus [9]

2.5 Způsoby přenosu tepla mezi člověkem a okolím

2.5.1 Přenos tepla kondukcí (vedením)

Spočívá v přenosu tepla ve směru klesající teploty. Celý proces funguje na bázi předávání kinetické energie, tudíž musí být teplota okolí nižší než teplota těla. Čím vyšší je rozdíl teplot mezi tělem a okolím, tím je přenos tepla vedením rychlejší. Jde hlavně o přenos tepla chodidly, zadní části těla při spánku a sezení. [3]



Obr. 2: Přenos tepla vedením [1]

Přenos tepla vedením se vyjadřuje Fourierovým zákonem o tepelném toku q [W/m^2], tepelné vodivosti λ [$W/m \cdot K$] a teplotního gradientu $\Delta t/\Delta x$ [2]

$$q = - \lambda * \Delta t/\Delta x \quad (1)$$

λ - tepelná vodivost

$\Delta t/\Delta x$ - teplotní gradient

Celkový tepelný odpor je závislý na počtu vrstev, z čehož plyne, že se vypočítá součtem jednotlivých odporů vrstev. [3]

$$R_{CL} = R_1 + R_2 + R_3 + R_n \quad (2)$$

- R_{CL} - celkový odpor
 R_n - jednotlivé odpory vrstev

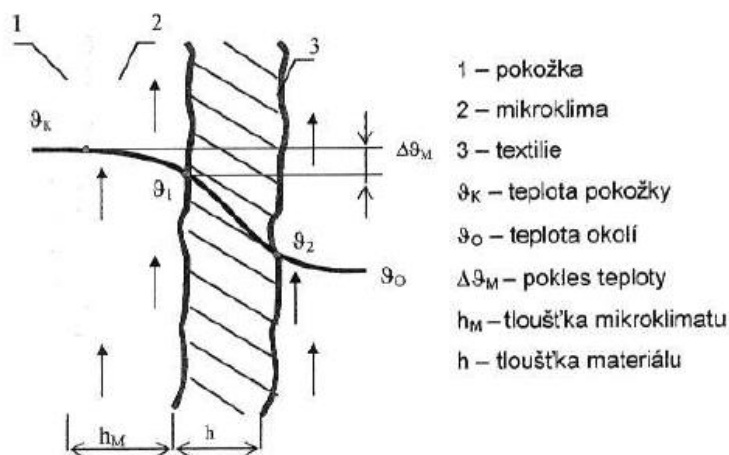
Součtem odporu celkového a odporu mezní vrstvy získáme odpor totální.

$$R_{TOT} = R_{CL} + R_E \quad (3)$$

- R_{TOT} - totální odpor
 R_E - odpor mezní vrstvy

2.5.2 Přenos tepla prouděním (konvekcí)

Přenos tepla prouděním představuje nejvýznamnější přenos tepla mezi člověkem a okolním prostředím. Teplo je přemístováno částicemi tekutin, které se pohybují rychlostí v [m/s]. V tepelné mezní vrstvě, která se tvoří mezi objektem a proudícím prostředím, se tvoří teplotní spád. Tloušťka mezní vrstvy je vyšší u laminárního proudění tekutiny než u proudění turbulentního. Druh proudění vyjadřuje tzv. Reynoldsovo číslo Re . Pokud je Re vyšší než 2300, tak se jedná o proudění turbuletní, pokud je menší než 2300, jedná se o proudění laminární. [1]



Obr. 3: Přenos tepla prouděním

$$R_e = \frac{d \cdot v \cdot \rho}{\eta} = \frac{d \cdot v}{\nu} \quad (4)$$

- d - průměr potrubí [mm]
 v - průměrná rychlost proudění [m/s]
 ρ - hustota tekutiny [kg/m³]
 η - dynamická viskozita tekutiny [Pa.s]
 ν - kinematická viskozita tekutiny [m²/s]

Vzniklý teplotní spád závisí na vnějším tepelném odporu $R_{\text{mezí vrstvy}} = R_E$.

$$R_E = 1/\alpha \quad (5)$$

- α - koeficient přestupu tepla

Pro koeficient přestupu tepla platí, dle zdroje [1]:

$$\begin{aligned} \alpha &= 2,38 * (t_{sk} - t_a)^{0,25} && \text{- pro volné proudění} \\ \alpha &= 3,5 + 5,2 * v && \text{- pro nucenou konvekci s rychlostí proudění 0-1m/s} \\ \alpha &= 8,7 * v^{0,6} && \text{- pro nucenou konvekci s vyšší rychlostí proudění} \end{aligned} \quad (6)$$

2.5.3 Přenos tepla zářením (radiací)

Pod pojmem záření si představujeme elektromagnetické vlnění, které se šíří v prostoru o rychlosti $c = 300\,000\,000$ m/s. Tomuto můžeme přiřadit frekvenci záření f dle vztahu [1]

$$f = c/\lambda \quad (7)$$

- c - rychlost
 λ - vlnová délka

Podle vlnových délek rozlišujeme gama záření, rentgenové RTG, extrémní ultrafialové EUV, ultrafialové, optické, infračervené, submilimetrové, mikrovlnné a radiové. Na povrch Země dopadá ultrafialové záření UVA (320 až 400nm), infračervené paprsky a viditelné světlo. Nejnebezpečnější záření o vlnové délce menší než 240nm je vstřebáváno kyslíkem. Kosmické záření, gama paprsky, rentgenové záření na povrch země nedopadnou. Tento vzorec vyjadřuje způsob výpočtu tepelného toku, který se přenáší mezi objektem a okolím. [1]

$$q = \sigma * \varepsilon * (T_1^4 - T_2^4) \quad (8)$$

- T_1, T_2 - teploty rovnoběžných rovin
 ε - povrchová emisivita
 σ - radiační konstanta: $\sigma 5,67 * 10^{-8}$

2.5.4 Přenos tepla evaporací (odpařováním potu)

Je to teplo, které se odvádí vypařováním. Tepelný tok, který je odváděn vypařováním, závisí na tom, jestli teplota kůže klesá či vzrůstá. Nejvíce člověk ztrácí teplo odpařováním při pocení. Pokud jsou teploty okolního prostředí nízké, tak teplotní ztráty jsou minimální, naopak pokud jsou teploty okolního prostředí vyšší než je termoregulační zóna, vypařování se zvyšuje. [4]

2.5.5 Přenos tepla respirací (dýcháním)

Přenos tepla dýchacími cestami. Při vdechování vzduchu jsou teplo a vodní páry přenášeny konvencí a minimálně vypařováním z respirační výstelky. [4]

2.6 Odvod kapalné vlhkosti z povrchu lidského těla

Jak již bylo zmíněno v předcházejících kapitolách, tak lidský organismus v rámci termoregulace produkuje vodu ve formě potu. U oblečeného člověka je však situace odlišná, protože transport vlhkosti se řídí jinými principy, a to *difuzí, kapilárně a sorpčně*. Následující způsoby odvodu potu ze zahaleného lidského těla si popíšeme.

2.6.1 Difuzní odvod vlhkosti

Vlhkost z povrchu kůže přes textilii prostupuje pomocí pórů. Rychlost odvodu vlhkosti závisí na různých kvalitách jednotlivých oděvních vrstev a na jejich druhu. Čím větší je

porosita, tím lépe textilie pot odvede. Vysoce porézní jsou pleteniny. Vlhkost prostupuje textilií směrem nižšího parciálního tlaku vodní páry. Difuze se sčítá – odpor oděvních vrstev, tak i vzduchových mezivrstev. Odvod vlhkosti je dále závislý na délce kanálků. Čím je délka větší, tím se zvyšuje difuzní odpor. [1] [4]

2.6.2 Kapilární odvod vlhkosti

Spočívá v tom, že pot, který setrvává na kůži, je v kontaktu s první textilní vrstvou a pomocí jejich kapilárních cest prosakuje do její plochy všemi směry. Jedná se o tzv. knotový efekt. Intenzita prostupu vlhkosti závisí na spádu parciálních tlaků Δp . Kapilární odvod závisí na smáčecí schopnosti textilní vrstvy, popř. vrstev, povrchovém napětí vláken a potu. [1][4]

$$\Delta P = 2\gamma [(p_r \cdot \cos \Theta_r / r) - p_R \cdot \cos \Theta_R / R] \quad (9)$$

ΔP - kapilární tlak

R - efektivní poloměr velkých pórů

r - efektivní poloměr malých pórů

γ - povrchové napětí vody

Θ - kontaktní úhel

p - zvětšení vnitřního povrchu kapilárních kanálů

Rovnice vyjadřuje úměru kapilárního tlaku, který způsobuje pohyb vlhkosti směrem od velkých pórů k malým pórům, s povrchovým napětím vody a s funkcí *cos* kontaktního úhlu. [1]

2.6.3 Sorpční odvod vlhkosti

Podmínkou pro vznik sorpčního procesu je vznik vlhkosti nebo kapalného potu. Aby byl proces sorpce zahájen, musí textilie aspoň z části obsahovat vlákna se sorpčními schopnostmi. Je tedy závislá na počtu hydrofilních skupin ve vláknech, na které se vážou molekuly vody. Tento proces je ze všech nejpomalejší. Všechny způsoby odvodu vlhkosti probíhají současně. Nejrychlejší je odvod kapilární a difuzní, na posledním místě způsob sorpční.

2.7 Metody hodnocení termofyziologického komfortu

Termofyziologický komfort poskytovaný oděvem lze hodnotit buď pomocí přístrojů, které charakterizují přesný fyzikální děj, nebo lze přenos tepla a vlhkosti měřit za podmínek, které jsou blízké fyziologickému režimu lidského těla. V dnešní době převažuje spíše druhý postup, protože umožňuje hodnotit termofyziologický komfort mnohem lépe, než metody první skupiny. Termofyziologický komfort oděvů lze zjednodušeně charakterizovat pomocí dvou základních parametrů: tepelného a výparného odporu. Výparný odpor má důležitou roli při ochlazování těla odpařováním potu z povrchu pokožky. Úroveň ochlazování závisí na rozdílu parciálních tlaků vodních par na povrchu pokožky a na propustnosti oděvní soustavy. Parametr propustnost můžeme nahradit parametrem výparný odpor, který charakterizuje účinky tepla vnímané pokožkou, vznikající v důsledku odparu potu, neboli ochlazování těla. Dále musíme rozlišovat celkový výparný odpor oděvu a výparný odpor vrstvy vnějšího přilehlého vzduchu, tzv. mezní vrstvy. Tato kapitola se bude zabývat způsobem měření tepelného a výparného odporu textilií. [5]

2.7.1 Gravimetrická metoda

Gravimetrickou metodou zjišťujeme relativní propustnost vodní páry dle ČSN 80 0855 Měření spočívá v upevnění kruhového vzorku textilie na misku, která obsahuje silikagel, neboli vysoušedlo. Miska se vzorkem se zváží před expozicí (G_0) v klimatizační komoře, která zajišťuje klimatické podmínky, relativní vlhkost a maximální proudění vzduchu. Potom se miska se vzorkem zváží po 6 hodinové expozici (G_1) a dle vztahu se vypočítá relativní paropropustnost P_{rel} [%] nebo paropropustnost absolutní P_{abs} [$\text{kg}/\text{m}^2 \text{ hod}$] [1]

$$P_{rel} = (G_1 - G_0) / G_0 \quad (10)$$

$$P_{abs} = (G_1 - G_0) / S\tau \quad (11)$$

2.7.2 Metoda dreo

Vzorek je upevněn mezi dvě polopropustné vrstvy. Pod spodní vrstvou je voda a přes vrchní vrstvu proudí suchý vzduch. Ztráta vody je odečítána na stupnici skleněné kapiláry. Měření se provádí po dobu 15 min. [1]

2.7.3 Skin model

„ Model kůže“ - základem přístroje je vyhříváná a zavlhčovaná porézní deska, která simuluje potící se lidskou pokožku. Dochází k přenosu tepla a hmoty jako mezi lidskou pokožkou a okolím. Měření se provádí buď separátně, nebo při měnění se vnějších podmínkách, které zahrnují různé teploty, relativní vlhkosti a rychlosti proudění vzduchu. Tedy za stacionárních a nestacionárních podmínek. [1]

2.7.4 Zkouška za stacionárních podmínek

Vzorek je položen na elektricky vyhřívanou desku o teplotě 35°C, obtékanou vzduchem o rychlosti 1 m.s⁻¹ o teplotě 20°C při měření tepelného odporu nebo 35°C při měření propustnosti pro vodní páry. Pro dosažení ustálených podmínek celého systému, což běžně trvá několik hodin, se měří elektrickým wattmetrem příkon vytápěné desky. Vyhříváná porézní deska je pokryta celofánovou membránou propouštějící vodní páry, ale nepropouštějící vodu. Voda, která je přiváděná k vyhříváné desce, se odpařuje a prochází membránou ve formě páry. V důsledku odparu má teplota desky tendenci klesat. Aby teplota desky při měření byla stále stejná, zvýší se přiváděný tepelný příkon, který je hlavním ukazatelem měření. Nevýhodou tohoto způsobu měření je jeho zdlouhavost, při které může docházet ke zkapalnění vlhkosti ve vlastním vzorku. [1]

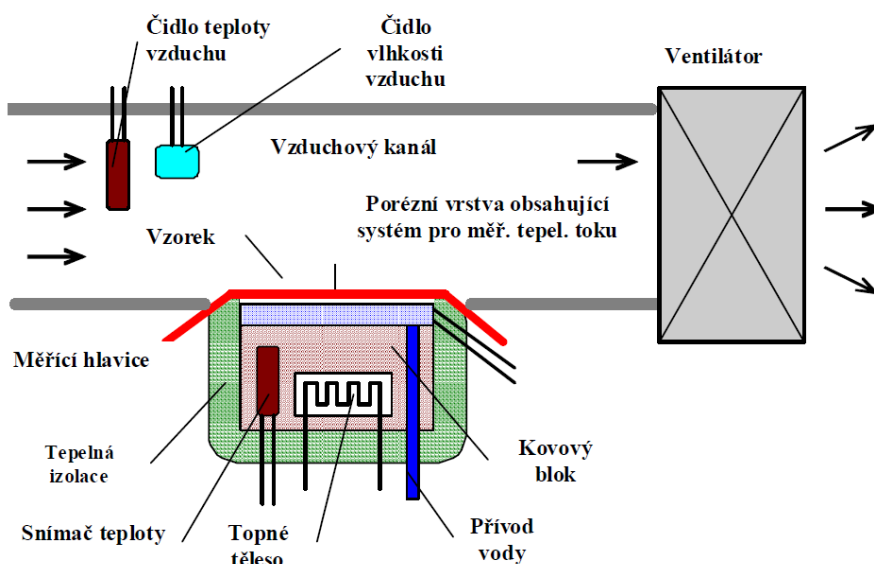
2.7.5 Zkouška za nestacionárních podmínek

Pomocí skin modelu se měří regulační účinek z parní fáze, který určuje komfort nošení textilií za podmínek intenzivního pocení, kde se stačí pot vypařit z potních kanálků kůže. Tento proces lze simulovat pomocí tkaniny, která má schopnost vázat vodu. Textilie je umístěná na porézní vyhříváné desce a zavlhčené 4 cm³ vody, která se odpařuje. Čidla mezi porézní deskou a vzorkem měří časový průběh teploty a vlhkosti podle nastavená impulsů pocení.

2.8 Přístroj Permetest

Přístroj Permetest je určen k měření tepelného toku q , který prochází povrchem tepelného modelu lidské pokožky (Skin model). Základem přístroje je měřicí hlavice, která se skládá z topného tělesa, regulátoru teploty a kovového bloku pro rozvod tepla v přístroji, přívodu vody, která musí být destilovaná. Hlavice zevnějšku musí mít kolem sebe tepelnou izolaci kvůli úniku tepla. Povrch modelu lidské pokožky je porézní a je zvlhčován, čímž se simuluje funkce ochlazování pocením. Na tento povrch se přikládá měřený vzorek přes separační fólii, kde vnější strana vzorku je ofukována.

Při měření výparného odporu a paropropustnosti je měřicí hlavice udržována na teplotě okolního vzduchu pomocí elektrické topné spirály. Teplota okolního vzduchu je do přístroje nasávána. Při měření se vlhkost v porézní vrstvě přeměňuje na páru, která prochází vzorkem. Výparný tepelný tok se měří speciálním snímačem, jehož hodnota je přímo úměrná paropropustnosti textilie nebo nepřímo úměrná jejímu výparnému odporu. Tepelný tok se měří nejdříve bez vzorku a poté se vzorkem, kde přístroj zaznamenává odpovídající tepelné toky q_0 a q_v . Při měření tepelného odporu textilního vzorku je suchá měřicí hlavice udržována na teplotě o 10 - 20°C vyšší než je teplota okolního vzduchu. Opět je odváděný tepelný tok ze vzorku zaznamenáván. [1]



Obr. 4: Schéma přístroje Permetest [6]

2.9 Výpočet relativní propustnosti pro vodní páry

2.9.1 Stanovení relativní propustnosti pro vodní páry

Přístroj měří relativní propustnost textilií pro vodní páry p [%], což je nenormalizovaný, ale praktický parametr, kde 100% propustnost představuje tepelný tok q_0 , vyvozený odparem z volné vodní hladiny o stejném průměru, jaký má měřený vzorek. Pokud se zakryje zmíněná hladina měřenou textilií, tak se tepelný tok sníží na hodnotu q_v . [1]

2.9.1.1 Relativní propustnost pro vodní páry

$$p = 100 (q_v/q_0) [\%] \quad (12)$$

q_v - plošná hustota tepelného toku procházející měřicí hlavicí zakrytou měřeným vzorkem [W/m²]

q_0 - plošná hustota tepelného toku procházející měřicí hlavicí nezakrytou měřeným vzorkem [W/m²]

2.9.1.2 Stanovení výparného odporu

$$R_{et} = (P_m - P_a)(q_v^{-1} - q_0^{-1}) \quad (13)$$

P_m - nasycený parciální tlak vodní páry na povrchu měřicí hlavice [Pa]

P_a - parciální tlak vodní páry ve vzduchu ve zkušebním prostoru při teplotě vzduchu ve zkušebním prostoru [Pa]

2.9.2 Tepelný odpor

Tepelný odpor charakterizuje odpor proti prostupu tepla vzorkem při definované teplotě t_m jeho jedné strany a teplotu vzduchu t_a z jeho druhé strany, kde se jeho přenos realizuje konvekcí. Tepelný odpor mezní vrstvy se odečítá. Odečítá se však tepelný odpor mezní vrstvy platící pro hladký povrch, přičemž textilie mají většinou povrch drsný a hrubý. Stanovená hodnota tepelného odporu tedy není přesná. V Evropě se tento nepřesný postup používá, protože příslušná norma ISO 11092 byla vydaná ve vhodné době a její použití se stalo součástí katalogů. Na TU v Liberci se doporučuje použití jiné, přesnější

měřicí metody, ke které je i příslušná měřicí technika. Při stroj Permetest je vyráběn v České Republice v analogové verzi. Na TU v Liberci byla v roce 2004 dokončena jeho poloautomatická verze řízená a vyhodnocována počítačem. [1][6]

Měření tepelného odporu textilního vzorku probíhá nejdříve v suchém stavu (hlavice přístroje není zvlhčována). Tepelný odpor R_{et} můžeme definovat jako odpor proti prostupu tepla textilním vzorkem při teplotě t_m jeho vnitřní strany a jako odpor při přenosu tepla prouděním z vnější strany vzorku o teplotě t_o , přičemž se tepelný tok z vnější mezní vrstvy odečítá, což znázorňuje vzorec tepelného odporu [$m^2 \cdot K/W$]

$$R_{et} = (t_m - t_a) / (q_v - q_o) \quad (14)$$

t_m = teplota povrchu měřicí hlavice [$^{\circ}C$]

t_o = teplota vzduchu proudícího kanálem podél měřicí hlavice [$^{\circ}C$]

Před vlastním měřením je třeba na přístroji Permetest provést kalibraci pomocí referenční tkaniny, která musí být pro přesnost a reprodukovatelnost svými vlastnostmi co nejlépe vyhovující. Textilie musí být homogenní a její propustnost se nesmí měnit v důsledku sorpce vodních par. Za nejlepší referenční tkaninu se považuje tkanina z hydrofóbní polypropylenové příze, jejíž konstrukce, dostava a plošná hmotnost jsou dány českou normou. [1]

2.10 Potící torzo

Potící torzo je dalším přístrojem pro měření paropropustnosti. Torzo je válec o velikosti lidského trupu. Jednotlivé vrstvy, které představují lidské tělo pokožkou, podkožím, tukovou vrstvou a jádrem jsou vymodelovány z různého materiálu. Např. z kompaktního teflonu, polyetylenu, polyamidu a alumina. Tyto materiály skvěle nahrazují svou funkcí, jako jsou tepelné kapacity a tepelné vodivosti vrstvy lidského těla. Torzo obsahuje 36 potních trysek. Válec se ohřívá na teplotu lidského těla pomocí topných fólií. Pro určení teplot je na celém torzu umístěno 20 čidel. Pro zabránění úniku tepla je torzo obklopeno teplotními kryty. Potící torzo je umístěno vertikálně do klimatické komory, kde proudí vzduch o rychlosti $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Vodní nádrž pro simulaci potu je umístěná na váze

mimo klimatickou komoru. Na povrch torza se přikládají zkoušené vzorky. Testy se provádějí při dvou jiných pracovních zatíženích 350 a 500 W. [1]

2.11 Tepelný manekýn

Tepelný manekýn je sestaven tak, aby simuloval lidské tělo. Jedná se o tepelný stroj, který splňuje termoregulační funkce lidského těla. Pomocí PC řízení se udržují tepelné segmenty, které uchovávají své povrchové teploty kůže na průměrné hladině 33°C a umožňují přesné měření elektrického příkonu $P[W]$, který je potřebný pro simulaci rozdělení tepla v lidském těle. Z hodnot z PC se vypočítají úrovně tepelného toku q_i odváděného do okolí z těchto zmíněných segmentů. V první fázi budou změřeny tepelné toky a použity pro výpočet vnějšího odporu těla bez vlivu oděvních vrstev, tudíž u neoblečeného manekýna, následovně u oblečeného manekýna. Poté se od celkového tepelného odporu (manekýn je oblečen) odečte tepelný odpor bez vlivu oděvu, a tím se získá konečná hodnota tepelného odporu R_{et} .

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Tato práce se zabývá propustností a výparným odporem pro vodní páry v suchém i mokřém stavu. U vybraných materiálů v suchém stavu byl zkoumán celkový tepelný tok q [%], relativní paropropustnost RWVP [%] a celkový výparný odpor [$m^2 \cdot pa/W$]. Dále v mokřém stavu byl zjištěn celkový tepelný tok q [%], celkový chladicí tepelný tok a celkový výparný odpor.

Cílem této práce bylo vytvořit vzduchovou mezeru a vyhodnotit její vliv u měřených materiálů v šesti stupních vlhkosti na celkový chladicí tepelný tok (RWVP) a celkový výparný odpor (RET) mezi pokožkou (hlavicí přístroje) a měřenou textilií. Vzduchová mezera byla vytvořena pomocí mezikruží různé tloušťky a také pomocí 3D textilií.

3.1 Popis Experimentu

Měření probíhalo v několika částech. V první části měření byly vzorky měřeny za sucha v několika fázích. V první fázi byly měřené samostatné vzorky, které byly vloženy přímo na hlavici přístroje. V druhé a třetí fázi byly vzorky měřené se vzduchovou mezerou pomocí 3D textilií a mezikruží různé tloušťky.

V druhé části měření byly vzorky měřeny v šesti stupních vlhkosti a to přibližně (5, 15, 30, 50, 100, 200 %). Každý vzorek byl namočen do vody se smáčedlem ve zmiňovaných stupních vlhkosti a postupně mechanicky vysoušen, zvážen a měřen.

Dále byly vzorky měřené v šesti stupních vlhkosti se vzduchovou mezerou, která byla tvořena pomocí 3D textilií a mezikruží.

3.2 Použité materiály

V práci bylo použito 8 vzorků, které byly rozděleny do dvou skupin (4x4) dle materiálového složení a dostavy útku. Čtyři vzorky měly různé materiálové složení a stejnou dostavu útku. Další čtyři vzorky měly stejné materiálové složení a různou dostavu útku. Všechny vzorky byly tkány v plátňové vazbě. Přehled materiálů Tab. 4 a 5.

Tab. 4: Rozdělení dle stejného materiálového složení a jiné dostavy útku

Materiál	Vazba	Jemnost osnovy [tex]	Dostava útku
50%PP/50%CO	plátnová	45 tex	7,2n/ 1 cm
50%PP/50%CO	plátnová	45tex	14,4n/ 1 cm
50%PP/50%CO	plátnová	45tex	19,3n/ 1 cm
50%PP/50%CO	plátnová	45tex	21,8n/ 1 cm

Tab. 5: Rozdělení dle různého druhu materiálu a stejné dostavy útku

Materiál	Vazba	Jemnost osnovy [tex]	Dostava útku
100% CO	plátnová	45 tex	10,8n/ 1 cm
100% PP	plátnová	45tex	10,8n/ 1 cm
50PP/50CO	plátnová	45tex	10,8n/ 1 cm
65PP/35CO	plátnová	45tex	10,8n/ 1 cm



Ob. 5: měřené materiály

Jak již bylo řečeno, v práci bylo použito mezikruží a 3D (trojrozměrné) rašlové úplety, pomocí nichž byla vytvořena vzduchová mezera různých tloušťek (2,5; 3; 3,5; 4 mm). 3D textilie, které byly v práci použity, byly získané od společnosti Tebo a.s., která je jedním z největších výrobců rašlových úpletů. Bohužel společnost Tebo a.s. mi pro mou bakalářskou práci nemohla poskytnout informace o konkrétní technologii těchto 3D úpletů z důvodu firemního tajemství, proto je níže popsána obecná technologie těchto úpletů.

3.2.1 3D textilie

3D (trojrozměrné) textilie patří mezi osnovní pleteniny. Jedná se 100% polyamid a 100% polyester. Úplety byly vyrobeny na dvouúžkovém rašlovém pletacím stroji, který se pro konkrétní výrobu skládá z pěti kladečních lišt. Dvě kladeční lišty pletou rubní stranu, která se skládá z řetízku kladením pod jehlami. Další dvě kladeční lišty pletou lícni stranu, která obsahuje filetové vazby. Pátá kladeční lišta spojuje lícni a rubní stranu monofilem. Stroje mají proměnnou vzdálenost. [7]



Ob. 6: 3D textilie

3.2.2 Mezikruží

Mezikruží bylo vytvořeno na základě tloušťek 3D textilií. Bylo vyrobeno z izolačního materiálu Promilen, dle velikosti hlavice Permetestu.



Obr. 7: Mezikruží

3.3 Příprava vzorků pro měření

V první části byla zjištěna ultra suchá hmotnost, přičemž vzorky byly nastříhané na velikost 18x18cm, vloženy do sušící komory, kde byly sušeny po dobu 2 hodin při teplotě 105°C. Poté byly vyjmuty a zváženy. V druhé fázi byly vzorky připraveny v šesti stupních vlhkosti, aby vlhkost obsahovala celá plocha vzorků, tak vzorky musely být smočeny ve vodě při teplotě $24 \pm 2^\circ\text{C}$ se smáčedlem po dobu 15 minut. Hmotnostní vlhkost ve vzorku byla postupně mechanicky odstraňována s cílem dosažení nižších hmotnostních vlhkostí a zváženy. Na základě známé hodnoty ultra suchého vzorku bylo možné vypočítat, kolik g vody připadá na 1g vzorku.

$$U' = \frac{m_v - m_s}{m_s} * 100 [\%] \quad (15)$$

m_v - hmotnost vlhkého vzorku [g]

m_s - hmotnost ultra suchého vzorku [g]

U - vlhkost vzorku [%]

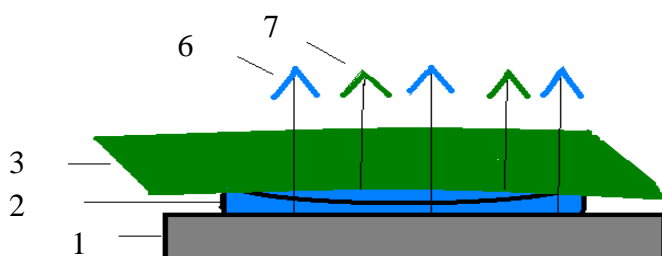
3.4 Měření na přístroji Permetest

Před samotným měřením vzorků na přístroji Permetest bylo nutné provést kalibraci pomocí referenční tkaniny u které sou známé hodnoty RWVP, RET. Kalibrace byla provedena nejprve měřením bez vzorku, druhé měření bylo provedené se zakrytou hlavicí přístroje referenční tkaninou. Měření bylo spuštěno pomocí tlačítka Sample - Start, tím byl změřen tepelný tok se vzorkem. Po dokončení měření byl pomocí tlačítka Calibrate přístroj zkalibrován. Dále následovalo samotné měření vzorků. Měření probíhalo v laboratoři o teplotě $24 \pm 2^\circ\text{C}$. Nejdříve bylo zahájeno měření bez vzorku pomocí tlačítka Sample - Start, pro zjištění tepelného toku bez vzorku. Poté následovalo měření se vzorkem, který byl vložen na hlavicí přístroje. Měření bylo spuštěno tlačítkem Sample - Start, kde byla změřena hodnota tepelného toku, propustnost pro vodní páry a výparný odpor.

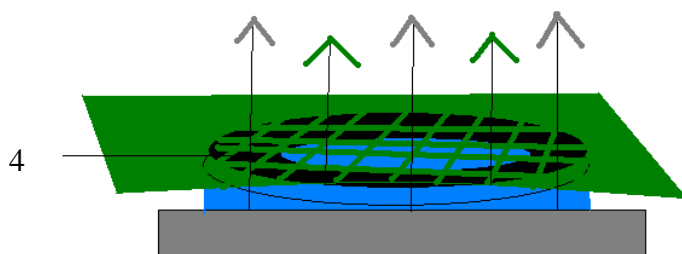
Zjištěné parametry byly zaznamenány a graficky zobrazené.

3.5 Měření celkového tepelného toku

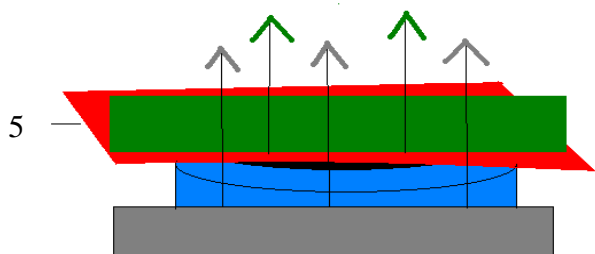
Měřením je zaznamenáván tepelný tok od pokožky, tak i tepelný tok od textilie. V simulovaných podmínkách je hlavice přístroje nahrazena pokožkou, která je zvlhčována, což simuluje pocení. Přes hlavici přístroje je porézní fólie, která nepropouští vodu, ale pouze vodní páru. Schéma zobrazuje tepelný tok složeného z odparu potu z povrchu pokožky a odpařováním vody z povrchu tkaniny a jeho průchod tkaninou. Tepelný tok představuje tepelnou ztrátu a má chladicí účinek. Velikost chladicího efektu závisí mimo jiné i na tepelném odporu vzduchové mezery mezi tkaninou a pokožkou. [8]



Obr. 8: Celkový tepelný tok



Obr. 9: Vzduchová mezera s mezikruží



Obr. 10: Vzduchová mezera s 3D textilií

1. Hlavice přístroje
2. Porézní fólie
3. Měřený vzorek
4. Mezikruží
5. 3D textilie
6. Tepelný tok vyvozený odparem z pokožky
7. Tepelný tok vyvozený odparem z textilie

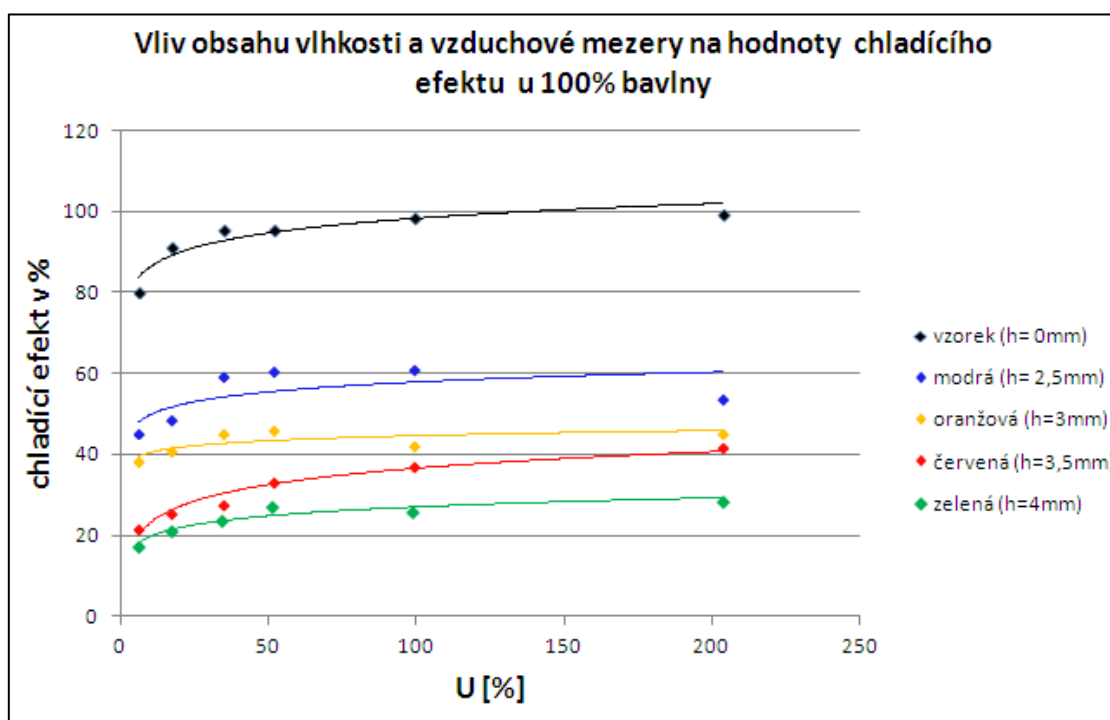
4 DISKUSE

V této kapitole jsou popsány a graficky zobrazeny vlivy vzduchových mezer mezi měřenou textilií a hlavicí přístroje Permetest. Bylo vyhodnocováno 8 vzorků (4x4), které byly rozděleny dle materiálového složení (100% CO; 100% PP; 65PP/35CO; 50PP/50CO) a dle dostavy útku (7,2n/1 cm; 14,4n/1 cm; 19,3n/1 cm; 21,8n/1 cm).

V grafech jsou znázorněny hodnoty celkového chladicího tepelného toku (RWVP) a výparného odporu (RET), které jsou proloženy regresní logaritmickou křivkou, která zobrazuje průběh naměřených dat.

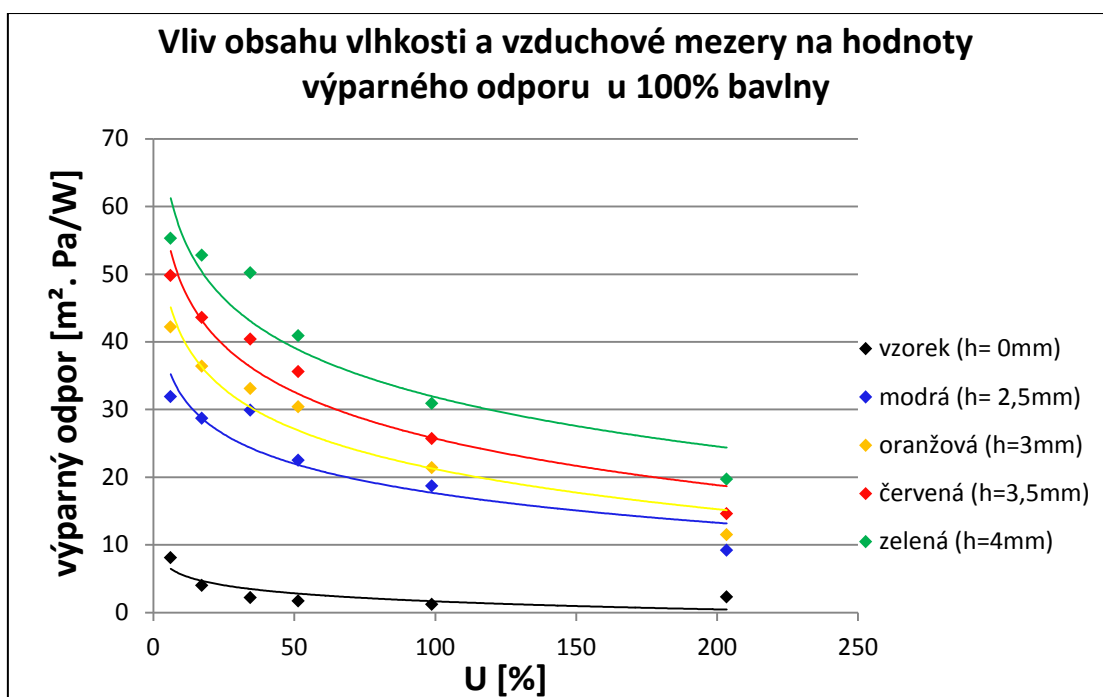
4.1 Vliv obsahu hmotnostní vlhkosti a vzduchové mezery na hodnoty RWVP a RET u materiálu 100 % bavlna

Na obr. 11 jsou znázorněny naměřené hodnoty z textilie o materiálovém složení bavlny po osnově a bavlny po útku. Textilie je tkaná v plátnové vazbě. Simulace vzduchové mezery byla vytvořena pomocí mezikruží.



Obr. 11: Vliv obsahu vlhkosti a vzduchové mezery na hodnoty RWVP

Na obr. 11 je znázorněna závislost hmotnostní vlhkosti a různých tloušťek vzduchových mezer na relativní chladící tepelný tok textilie. Na ose x jsou znázorněny stupně hmotnostní vlhkosti a na ose y chladící efekt. Křivka popisující parametr $h = 0\text{mm}$ představuje textili, která je od pokožky vzdálená 0mm , což znamená, že textilie leží přímo na pokožce (hlavici přístroje), tudíž mezi pokožkou a textilií není žádný vzduch a chladící efekt je největší. U textilie se vzduchovou mezerou $2,5$ a 3mm bylo dosaženo tepelného toku při vlhkosti 5% podobných hodnot pohybující se kolem 40% . U textilie se vzduchovou mezerou $3,5$ a 4mm bylo dosaženo tepelného toku při vlhkosti 5% taktéž podobných hodnot pohybujících se kolem 20% . Platí tedy, že s vyšší hmotnostní vlhkostí vzorku je hodnota chladícího tepelného toku menší než u textilie bez vzduchové mezery. U textilie se vzduchovými mezerami vidíme nižší hodnoty chladícího efektu s přibývajícím hmotnostní vlhkostí. Tudíž se dá říci, že čím větší je stupeň vlhkosti, tím větší je chladící efekt, což popisuje parametr $h = 0\text{mm}$ a čím větší je vzduchová mezera, tím je chladící efekt menší.

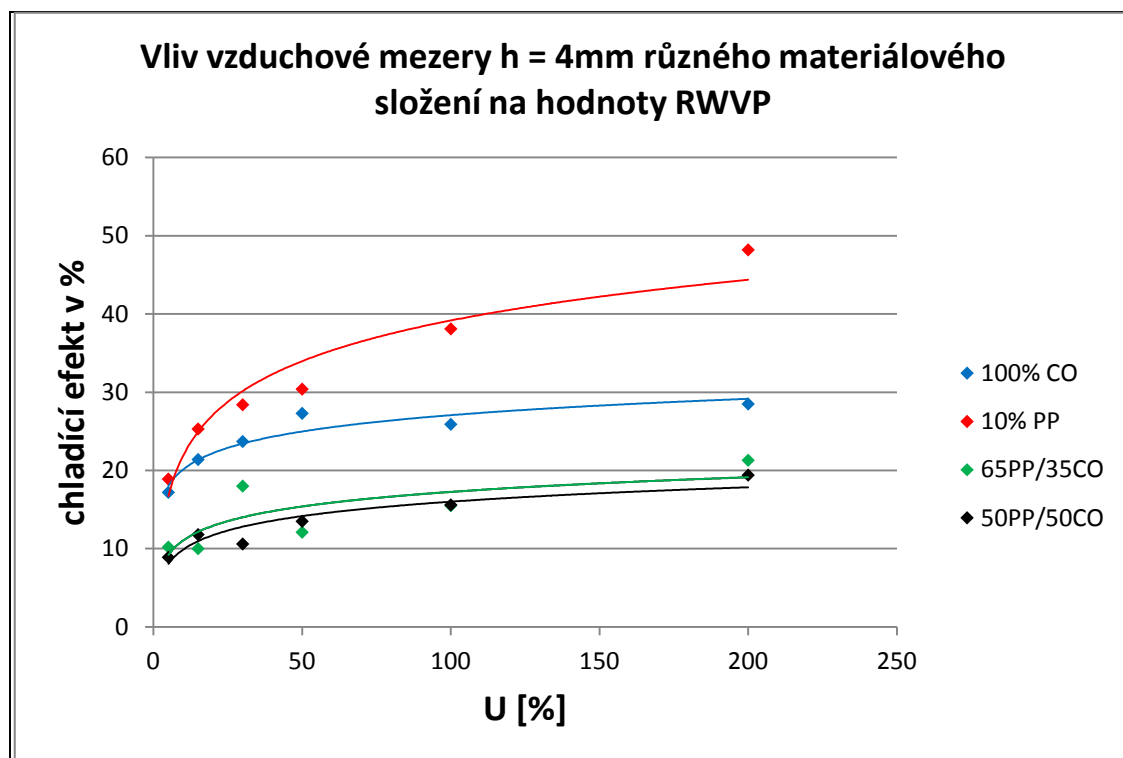


Obr. 12: Vliv obsahu vlhkosti a vzduchové mezery na hodnoty RET

Na obr. 12 je znázorněna závislost hmotnostní vlhkosti a různých tloušťek vzduchových mezer na výparném odporu měřené textilie. Jak je vidět na tomto grafu, tak je výparný odpor (RET) textilie nepřímě úměrný chladícímu toku (RWVP) textilie. Nejvyšší hodnoty výparného odporu byly naměřeny při 5% vlhkosti. Poté se výparný odpor snižuje se

zvyšující se vlhkosti vzorku. Nejnižší výparný odpor byl naměřen u vzorku bez vzduchové mezery, tedy když ležel vzorek přímo na pokožce. U vlhkosti 5% byl naměřen výparný odpor se vzduchovými mezerami přibližně okolo 31, 41, 50, 58 [m². Pa/W]. Z toho vyplývá, že s přibývajícím vzduchovou mezerou vzniká rozdíl mezi vrstvami kolem 10 [m². Pa/W] výparného odporu. Tudíž s přibývajícím vzduchovou mezerou je výparný odpor větší.

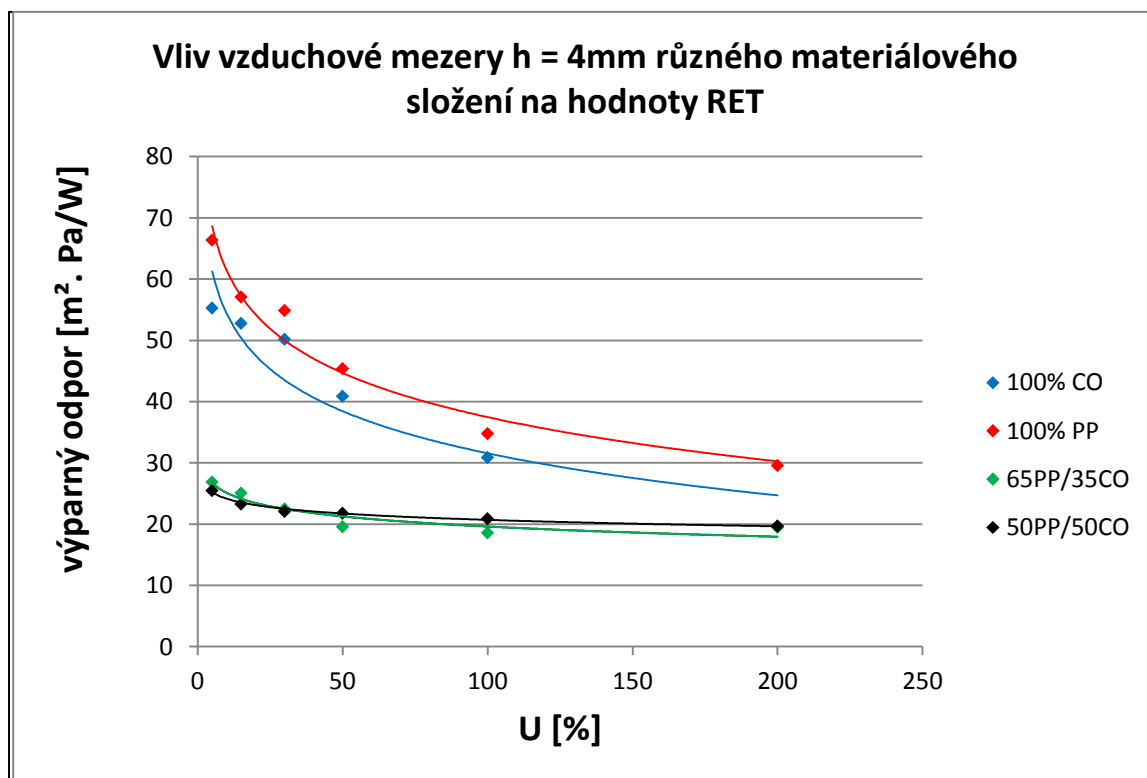
4.2 Vliv vzduchové mezery různého materiálového složení a stejné dostavy útku na hodnoty RWVP a RET pomocí mezikruží



Obr. 13: Vliv vzduchové mezery a materiálu na RWVP

Na obr. 13 je znázorněna závislost hmotnostní vlhkosti a vzduchové mezery h = 4mm různého materiálového složení (100% CO; 100% PP; 65PP/35CO; 50PP/50CO) a stejné Dú: 10,8/1 cm na chladící efekt. Na ose x jsou znázorněny stupně hmotnostní vlhkosti a na ose y chladící efekt. Křivky zobrazují různé materiálové složení a stejnou vzduchovou mezeru h = 4mm. Na grafu je vidět, že se vzduchovou mezerou, která byla vytvořena pomocí mezikruží u 100% PP, je chladící efekt největší a u 50PP/50CO nejmenší. U 5% vlhkosti je hodnota křivek 100% PP a 100% CO téměř stejná – hodnota chladícího efektu

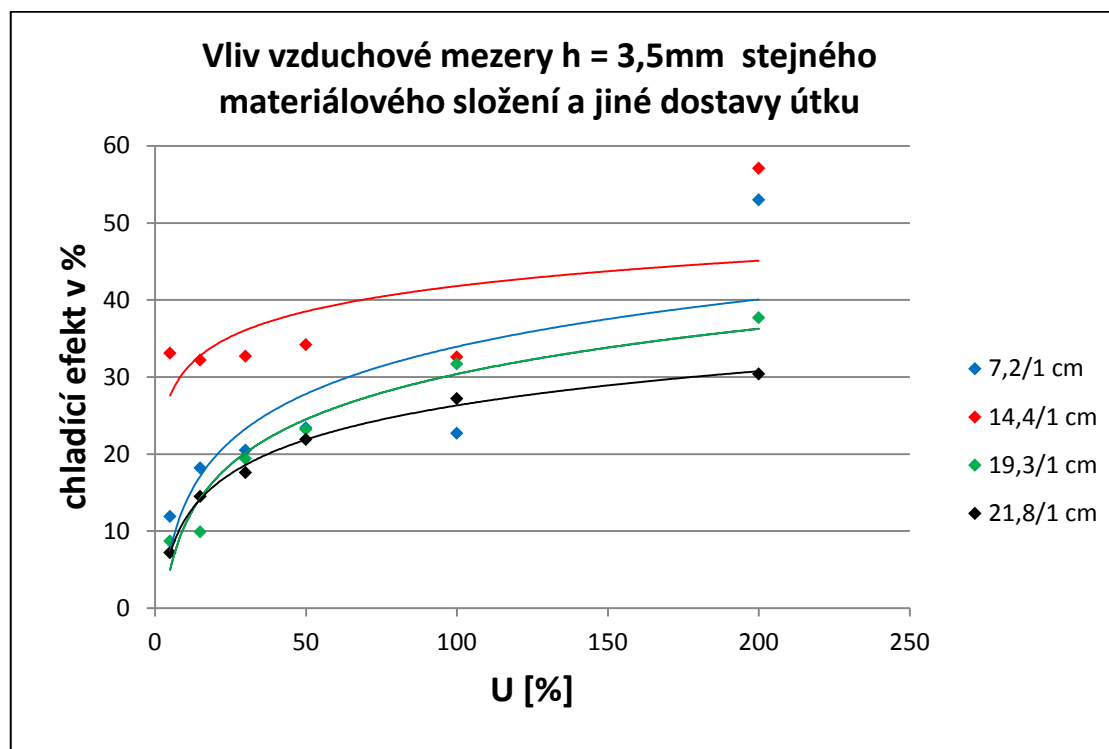
je kolem 19 %. To samé je vidět u křivek 65PP/35CO a 50PP/50CO jejichž hodnota při 5% vlhkosti se pohybuje kolem 10%. Při vlhkosti 200% je podstatně větší rozdíl chladicího efektu mezi křivkou 100% PP a křivkou 100% CO. Největší rozdíl je vidět mezi křivkou popisující materiál 100% PP a mezi křivkou popisující materiál 50PP/50CO. U všech materiálů platí, že s větším stupněm vlhkosti je chladicí efekt větší. Materiály jsou různého složení, proto křivky, které popisují stejnou tloušťku vzduchové mezery mají různé sklony.



Obr. 14: Vliv vzduchové mezery a materiálu na RET

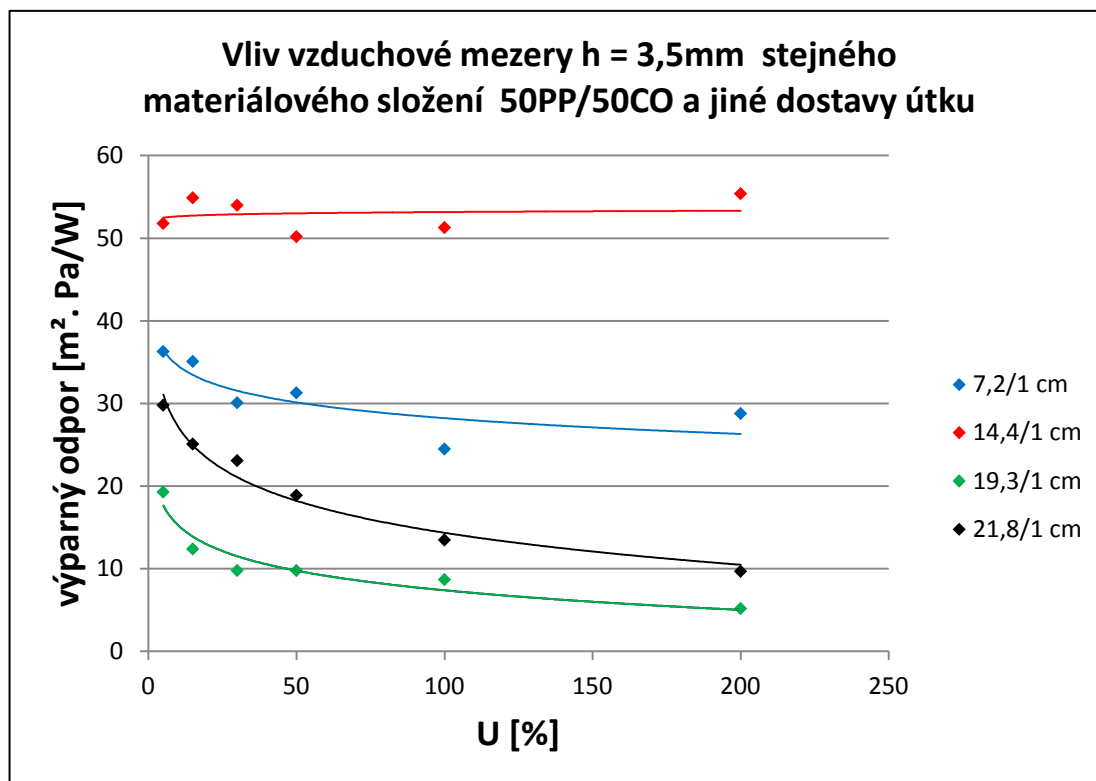
Na obr. 14 je znázorněna závislost hmotnostní vlhkosti a vzduchové mezery $h = 4\text{mm}$ různého materiálového složení (100% CO; 100% PP; 65PP/35CO; 50PP/50CO) na výparný odpor. Na ose x jsou znázorněny stupně hmotnostní vlhkosti a na ose y výparný odpor. Křivky zobrazují různé materiálové složení a stejnou vzduchovou mezeru $h = 4\text{mm}$. Jak je vidět na tomto grafu, tak je výparný odpor (RET) měřených materiálů nepřímo úměrný chladicímu toku (RWVP), tudíž se dá říci, že s vyšším stupněm vlhkosti se výparný odpor všech materiálů snižuje.

4.3 Vliv vzduchové mezery různé dostavy útku a stejného materiálového složení bavlna - polypropylen na hodnoty RWVP a RET pomocí mezikruží



Obr. 15: Vliv vzduchové mezery a dostavy útku na RWVP

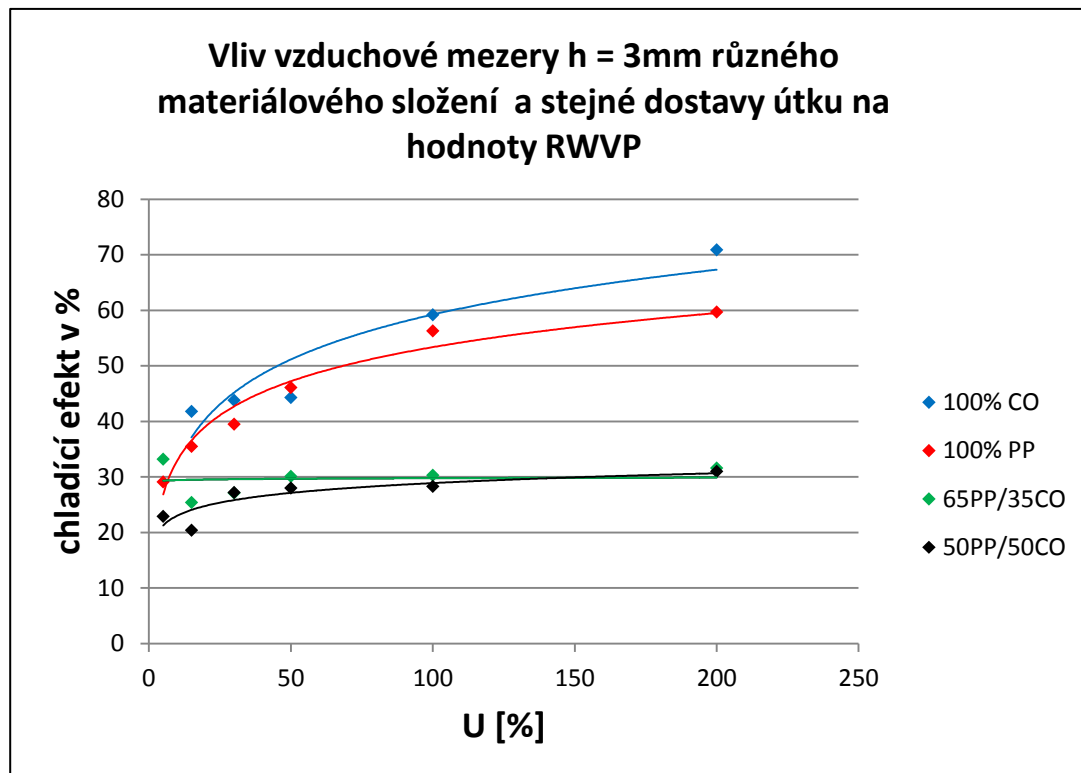
Na obr. 15 je znázorněna závislost hmotnostní vlhkosti a vzduchové mezery $h = 3,5\text{mm}$ stejného materiálového složení (50PP/50CO) a různé dostavy útku (7,2/1 cm; 14,4/1 cm; 19,3/1 cm; 21,8/1 cm) na chladící efekt. Na grafu je vidět, že nejvíce vzduchová mezera $h = 3,5\text{ mm}$ ovlivnila křivku, která představuje Dú 14,4/ 1 cm při které byl naměřen největší chladící efekt. Naopak nejmenší chladící efekt byl naměřen s vyšším stupněm vlhkosti u křivky představující Dú: 7,2/ 1 cm. V 5% vlhkosti u křivek s Dú 19,3/ 1cm a s Dú: 21,8/ 1 cm byl chladící efekt naměřen přibližně kolem 9 % a křivky mají téměř stejný sklon. U křivky s Dú 7,2/ 1cm byl naměřen v 5% vlhkosti vyšší chladící efekt než u křivek s Dú 19,3 a 21,8/ 1 cm. Každá křivka představuje jinou hustotu tkaniny ve směru útkových nití. Lze tedy říci, že nejmenší chladící efekt s vyšším stupněm vlhkosti byl naměřen u tkaniny, která měla nejmenší počet nití na 1 cm v útkové soustavě.



Obr.16: Vliv vzduchové mezery a dostavy útku na RET

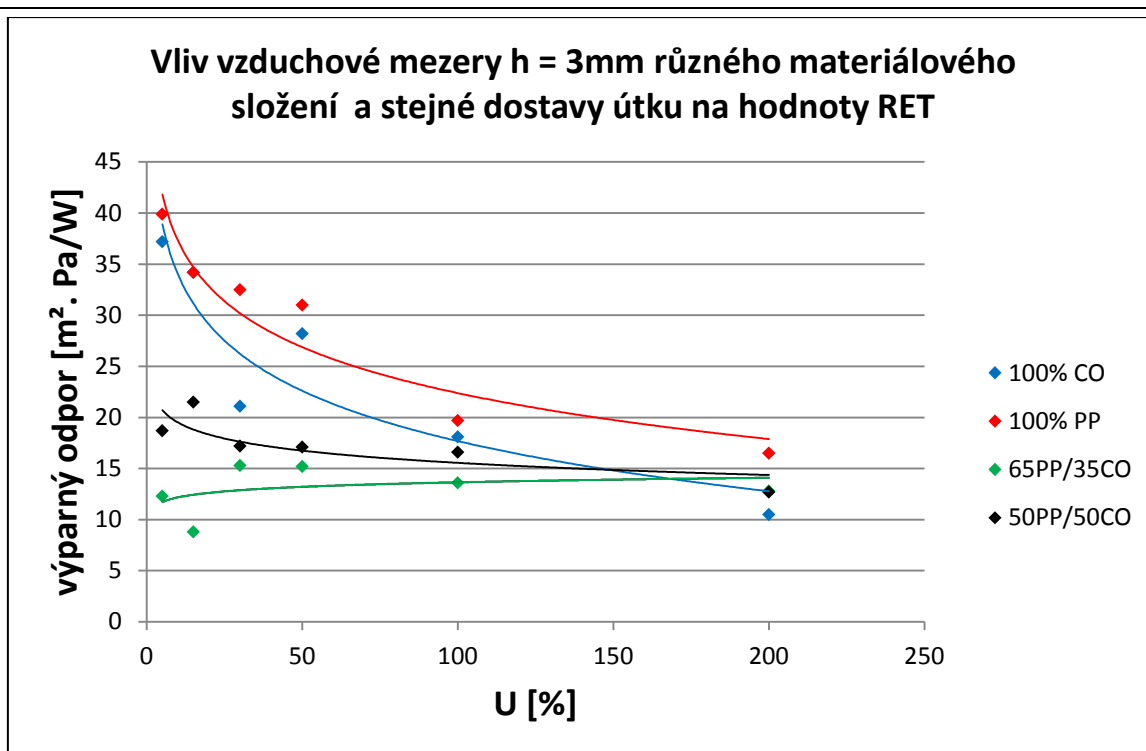
Na obr. 16 je znázorněna závislost hmotnostní vlhkosti a vzduchové mezery $h = 3,5\text{mm}$ stejného materiálového složení a různé dostavy útku na hodnoty výparného odporu. 4ím větší je stupeň vlhkosti, tím nižší je výparný odpor. Nejnižší výparný odpor byl naměřen u křivky představující Dú 19,3/ 1 cm a nejvyšší byl naměřen u křivky představující Dú 14,4/ 1 cm. Nejprudší pokles výparného tepelného toku je v intervalu 5 – 50% vlhkosti textilie U [%]. Křivka, představující hustotu nití v útkové soustavě (Dú 7,2/ 1 cm), má strmější průběh naměřených dat. Křivka s Dú 14,4/ 1cm má spíše průběh naměřených dat lineárního charakteru.

4.4 Vliv vzduchové mezery různého materiálového složení a stejné dostavy útku na hodnoty RWVP a RET pomocí 3D textilií



Obr. 17: Vliv vzduchové mezery a materiálu na RWVP

Na obr. 17 křivky představují hodnoty různého materiálového složení a stejné dostavy útku jako u předešlých grafů s tím rozdílem, že vzduchová mezera byla tvořena pomocí 3D textilií. Nejnižší hodnoty chladičího efektu byly naměřené u křivky představující materiálové složení 50PP/50CO a nejvyšší u křivky 100% CO. Křivka představující 65PP/35CO a křivka 50PP/50CO mají spíše sklon křivky lineárního tvaru.



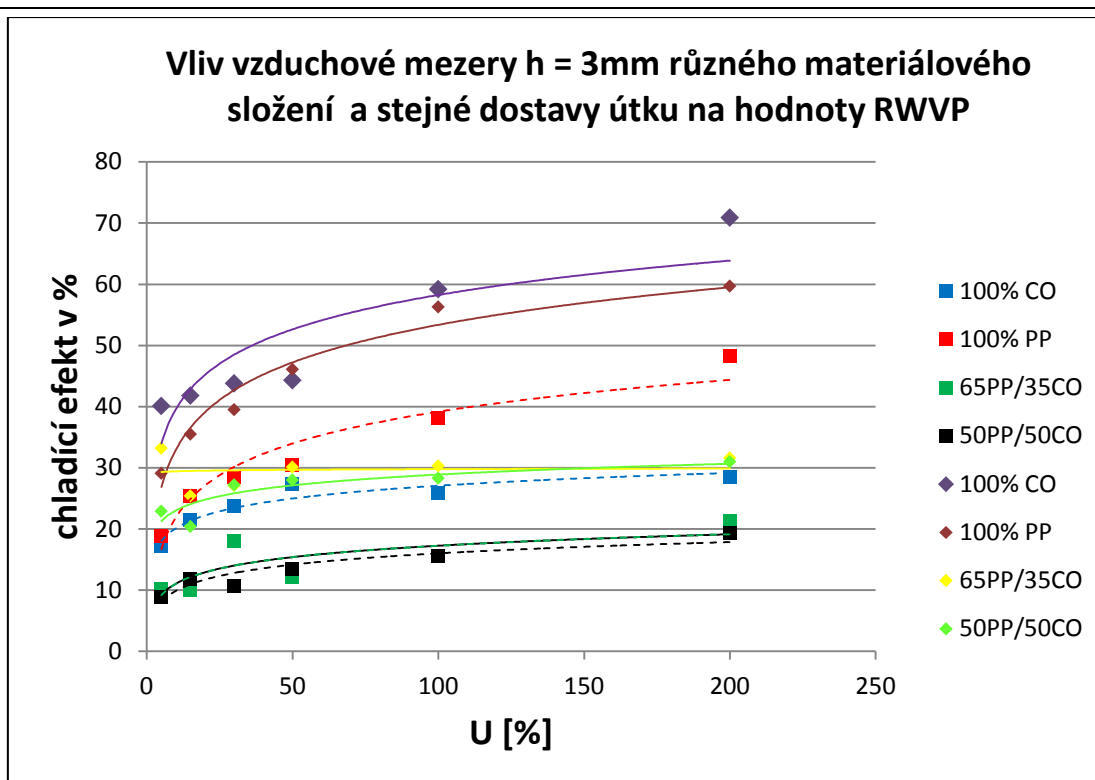
Obr. 18: Vliv vzduchové mezery a materiálu na RET

Na obr. 18 byl zaznamenán nejvyšší výparný odpor u křivky představující 100% PP.

Křivka se zvyšujícím stupněm vlhkosti prudce klesá. Nejnižší výparný odpor byl naměřen u křivky 65PP/35CO. Křivka má spíše lineární průběh. Nejprudší pokles výparného odporu je v intervalu 5 – 100% vlhkosti materiálů.

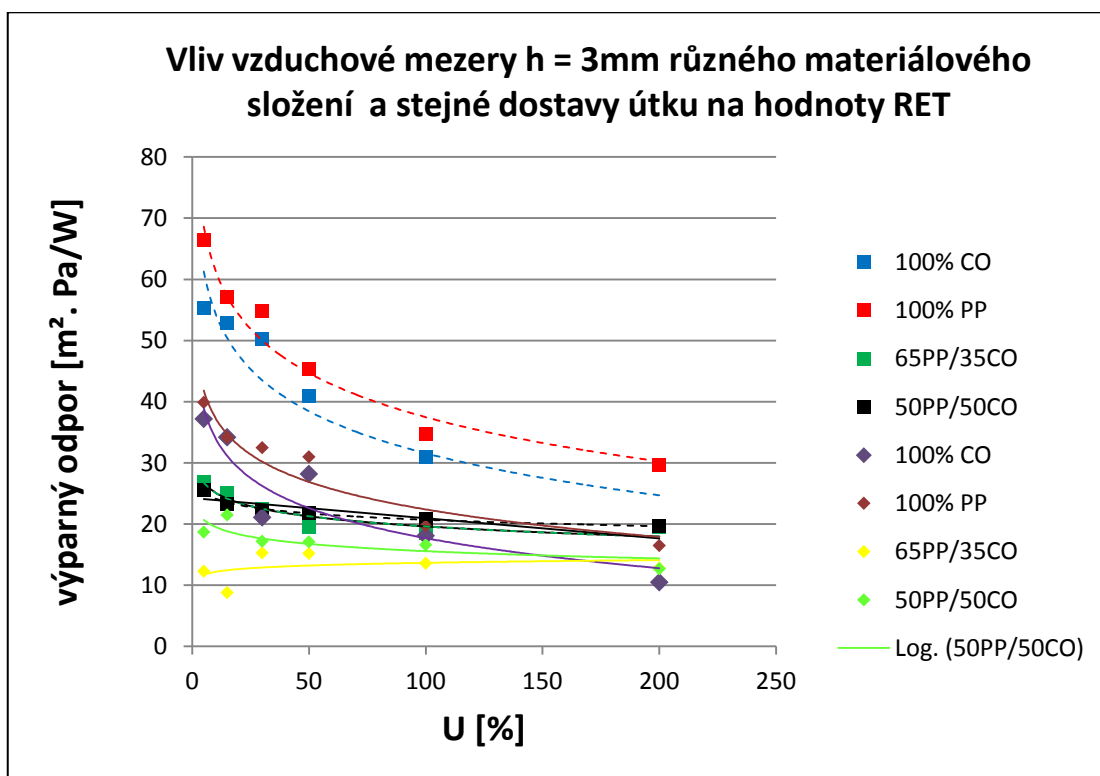
4.5 Vliv vzduchové mezery vytvořené pomocí mezikruží a 3D textilií u různého materiálového složení na hodnoty RWVP a RET

Na obr. 19 jsou znázorněny vzduchové mezery o tloušťce $h = 3\text{mm}$ různého materiálového složení. Vzduchová mezera je tvořena pomocí mezikruží i 3D textilií. Materiály, které byly měřeny s mezikružím, jsou označeny fialovou, hnědou, žlutou a svítivě zelenou barvou. Materiály měřené s 3D textiliemi jsou označeny modrou, červenou, zelenou a černou barvou.



Obr. 19 Vliv vzduchové mezery pomocí mezikruží a 3D textilií na RWVP

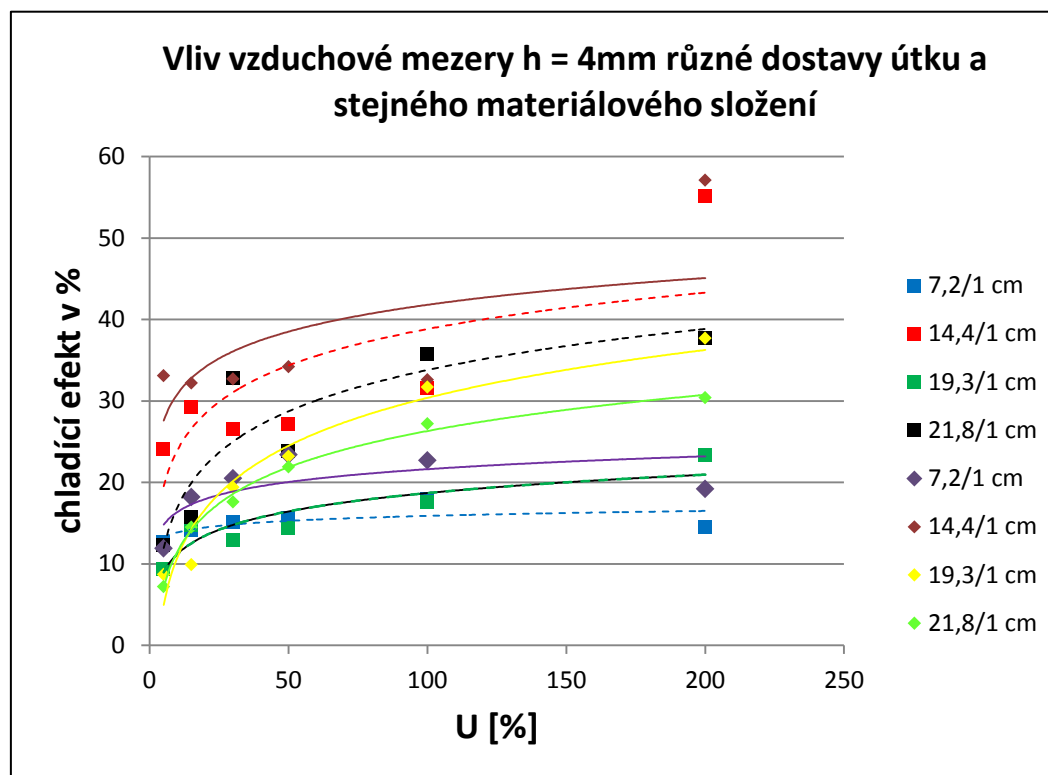
Na obr. 19 je znázorněna závislost chladičího efektu při vzduchové mezeře $h = 3\text{mm}$ vybraných materiálů na hmotnostní vlhkosti U [%]. Jak je na grafu vidět, čím větší je stupeň vlhkosti, tím je chladičí efekt větší. Naproti tomu, čím je stupeň vlhkosti menší, tím je chladičí efekt také menší. Nejmenší chladičí efekt byl naměřen u materiálů 65PP/35CO a 50PP/50CO se vzduchovou mezerou, která byla vytvořena pomocí 3D textilií. U těchto materiálů byly v 5% vlhkosti naměřené hodnoty chladičího efektu přibližně kolem 10%. U vlhkosti 200% byly naměřené hodnoty chladičího efektu kolem 20%. Největší chladičí efekt byl naměřen u 100% bavlny a 100% polypropylenu, vzduchová mezera byla vytvořena mezikruží. Dá se tedy konstatovat, že materiály, které byly měřeny pomocí mezikruží mají hodnoty chladičího efektu vyšší než materiály, které byly měřeny pomocí 3D textilií. Tudiž 3D textilie chladičí efekt snižují.



Obr. 20: Vliv vzduchové mezery pomocí mezikruží a 3D textilií na RET

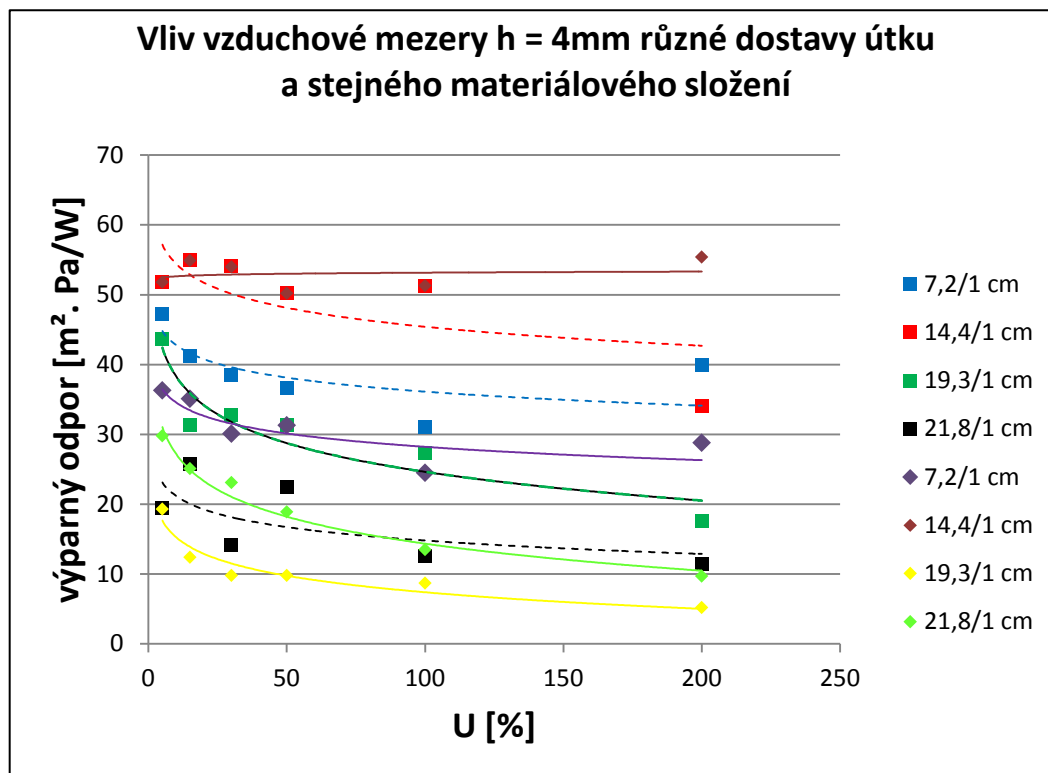
Jak je vidět v tomto obrázku, výparný odpor je nepřímo úměrný k chladicímu toku vybraných materiálů z obr. 19. U měřených materiálů se vzduchovou mezerou tvořenou 3D textiliemi jsou hodnoty výparného odporu větší, než hodnoty měřené s mezikružím, což zobrazují i sklony křivek. Největší výparný odpor byl naměřen u 100% polypropylenu a 100% bavlny, vzduchová mezera byla tvořena 3D textiliemi. Nejnižší výparný odpor byl naměřen u materiálů 65PP/35CO a 50PP/50CO, vzduchová mezera byla vytvořena mezikružím.

4.6 Vliv vzduchové mezery vytvořené pomocí mezikruží a 3D textilií s různou dostavou útku a stejného materiálového složení 50PP/50CO na hodnoty RWVP a RET



Obr. 21: Vliv vzduchové mezery pomocí mezikruží a 3D textilií na RWVP

Na obr. 21 je znázorněna závislost chladičího efektu při vzduchové mezeře $h = 4\text{ mm}$ vybraných materiálů na hmotnostní vlhkosti U [%]. V tomto grafu představují křivky stejné materiálové složení a různou hustotu nití v útkové soustavě na 1 cm. Nejnižší chladičí efekt byl naměřen u křivky představující 7,2 nití/1 cm, vzduchovou mezeru tvořila 3D textilie. Nejvyšší chladičí efekt byl naměřen u křivky představující 14,4 nití/ 1cm vzduchovou mezeru tvořilo mezikruží.



Obr. 22: Vliv vzduchové mezery pomocí mezikruží a 3D textilií na RET

Na tomto grafu byl naměřen nejmenší výparný odpor u křivky představující hustotu 19,3 nití/ 1cm, vzduchovou mezeru tvořilo mezikruží. Největší výparný odpor byl naměřen u křivky 14,4 nití/ 1cm, vzduchovou mezeru tvořilo taktéž mezikruží. Rozdíl křivek, představující stejnou hustotu nití v útkové soustavě (14,4nití/1 cm), je v 200% stupni vlhkosti. U křivky, která měla tvořenou vzduchovou mezeru 3D textilií, byl naměřen výparný odpor podstatně nižší, přibližně kolem 33 [m². Pa/W], u křivky, která měla tvořenou vzduchovou mezeru mezikružím byl výparný odpor naměřen vyšší, přibližně 56 [m². Pa/W], proto má křivka spíše lineární průběh. Prudší pokles výparného odporu byl u křivek, které měly tvořenou vzduchovou mezeru mezikružím a to přibližně v intervalu 5 – 50% vlhkosti.

5 ZÁVĚR

V této práci bylo proměřeno 8 vzorků (4x4) s různým materiálovým složením (100% bavlna, 100% polypropylen, polypropylen – bavlna a s různou dostavou útku (7,2; 14,4; 19,3; 21,8), která představuje hustotu nití v útkové soustavě na 1 cm. Všechny vzorky byly tkány v plátnové vazbě.

V práci byla měřena paropropustnost a výparný odpor. Materiály byly měřené v suchém stavu, v šesti stupních vlhkosti a se vzduchovou mezerou různých tloušťek, která byla vytvořena pomocí mezikruží a 3D textilií, které byly získané od společnosti Tebo a.s. Mezikruží byla vyrobena přímo na velikost hlavice Permetestu, která simuluje pokožku lidského těla. V práci byla u měřených materiálů vyhodnocena závislost hmotnostní vlhkosti a různých tloušťek vzduchových mezer na chladicí efekt (RWVP) a výparný odpor (RET). Z naměřených hodnot vyplývá, že čím větší je stupeň vlhkosti, tím je chladicí efekt větší. Naproti tomu, čím větší je stupeň vlhkosti, tím je výparný odpor menší. Dále bylo zjištěno, že čím větší je vzduchová mezera mezi hlavicí přístroje a měřeným vzorkem, tím je chladicí efekt menší a výparný odpor větší. Tedy největší chladicí efekt byl naměřen u materiálu, který ležel přímo na hlavici přístroje Permetest, tudíž mezi hlavicí přístroje a měřeným materiálem nebyl žádný vzduch. Nejmenší výparný odpor byl taktéž naměřen u materiálu, který ležel přímo na hlavici přístroje.

Při porovnání vlivu vzduchové mezery $h = 3\text{mm}$, tvořené mezikružím a 3D textiliemi u různého druhu materiálů a stejné dostavy útku na hodnoty chladicího efektu, bylo zjištěno, že nejmenší chladicí efekt byl naměřen u materiálů 65PP/35CO a 50PP/50CO se vzduchovou mezerou, která byla vytvořena pomocí 3D textilií. Největší chladicí efekt byl naměřen u 100% bavlny a 100% polypropylenu, vzduchová mezera byla vytvořena mezikružím. Dá se tedy konstatovat, že materiály, které byly měřené pomocí mezikruží, mají hodnoty chladicího efektu vyšší než materiály, které byly měřeny pomocí 3D textilií. Tudíž 3D textilie chladicí efekt snižují. Výparný odpor je nepřímo úměrný k chladicímu toku. U měřených materiálů se vzduchovou mezerou tvořenou 3D textiliemi jsou hodnoty výparného odporu větší, než hodnoty měřené s mezikružím. Největší výparný odpor byl naměřen u 100% polypropylenu a 100% bavlny, vzduchová mezera byla tvořena 3D textilií. Nejnižší výparný odpor byl naměřen u materiálů 65PP/35CO a 50PP/50CO, vzduchová mezera byla tvořena mezikružím. U materiálů s různou dostavou útku při vzduchové mezeře $h = 4\text{mm}$ byl zjištěn nejnižší chladicí efekt u křivky představující 7,2

nití/1 cm, vzduchovou mezeru tvořila 3D textilie. Nejvyšší chladicí efekt byl naměřen u křivky představující 14,4 nití/ 1cm, vzduchovou mezeru tvořilo mezikruží. Nejmenší výparný odpor byl naměřen u křivky představující hustotu 19,3 nití/ 1cm, vzduchovou mezeru tvořilo mezikruží. Největší výparný odpor byl naměřen u křivky 14,4 nití/ 1cm, vzduchovou mezeru tvořilo také mezikruží.

6 LITERATURA

- [1] Hes L., Sluka P.: Úvod do komfortu textilií, skripta TU Liberec 2005, ISBN 80-7083-926-0.
- [2] Růžičková, D.: Oděvní materiály. Skriptum, Liberec: TU, 2003, ISBN 80-7083-682-2
- [3] Malinská, M.: Termofyziologické vlastnosti pěřových izolací ve vlhkém stavu Thermal: diplomová práce. Liberec: TU, 2010
- [4] Jánský L.: Vývojová fyziologie I., Základy termoregulace, Státní pedagogické nakladatelství Praha 1, 1990, ISBN 80-7066-240-9
- [5] Interní norma č. 23-304-01/01 Stanovení termofyziologických vlastností textilií, Výzkumné centrum Textil LN00B090, TU Liberec
- [6] Reková, M.: Vliv struktury vzorku na měření paropropustnosti dle normy ISO 11092: bakalářská práce. Liberec: TU, 2010
- [7] Kovář R.: Pletení, skripta TU Liberec 2001, ISBN 80-7083-446-3
- [8] Hes L., Mario de Araujo: Simulation of the effect of Air Gaps between the Skin and a Wet fabric on Resulting Cooling Flow, Textile Research Journal, 2010
- [9] Kuneš J., Veselý Z., Honner M.: Tepelné bariéry, nakladatelství Akademie věd České republiky 2003, ISBN 80-200-1218-4

7 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1

Naměřená data celkového chladícího toku (RWVP) a výparného odporu (RET) se vzduchovými mezerami pomocí mezikruží a 3D textilií

Příloha 2

Graficky znázorněné hodnoty. Vzduchová mezera byla tvořena pomocí mezikruží

Příloha 3

Graficky znázorněné hodnoty. Vzduchová mezera byla tvořena pomocí 3D textilií

		hodnoty RWVP			
		50PP/50CO, Dú:10,8, hodnoty RWVP			
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
205,6	80,5	45,2	32	27,4	19,4
102,4	78,5	44,5	28,3	21,7	15,6
51,82	76,4	37,5	26,5	22,9	13,5
31,6	73,4	35,9	27,2	21,6	10,6
12,55	71,5	42,4	29,4	23,1	11,8
3,99	63,3	36,6	23,9	19,5	8,9

		50PP/50CO, Dú:10,8, hodnoty RET [m ² . Pa/W]			
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
205,6	0,6	8,7	12	14,2	19,7
102,4	1,5	7,4	15,6	16,7	20,9
51,82	1,7	8,6	17,1	18,5	21,8
31,6	2,5	9,3	17,2	18,7	22,1
12,55	3,9	11,9	19,5	20,3	23,3
3,99	5,2	15,6	21,7	23,7	25,5

		65PP/35CO, Dú:10,8, hodnoty RWVP [%]			
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
195,3	89	65,4	55,6	28,4	21,3
97,6	82,3	60,4	41	25	15,5
46,5	82,3	55,7	42,1	24,6	12,1
34,76	73	45,6	39,1	22,6	18
13,47	65,5	41,6	36,4	29,7	10
4,29	52,9	32,4	25,8	20,5	10,2

		65PP/35CO, Dú:10,8, hodnoty RET [m ² . Pa/W]			
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
205,6	0,6	8,7	12	14,2	19,7
102,4	1,5	7,4	15,6	16,7	20,9
51,82	1,7	8,6	17,1	18,5	21,8
31,6	2,5	9,3	17,2	18,7	22,1
12,55	3,9	11,9	19,5	20,3	23,3
3,99	5,2	15,6	21,7	23,7	25,5

100% CO, Dú:10,8, hodnoty RWVP [%]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
203,4	99,2	53,5	45,2	41,5	28,5
98,8	98,4	60,5	42,1	36,8	25,9
51,4	95,4	60,4	45,9	33,3	27,3
37,4	95,6	59,2	45,1	27,7	23,7
17,2	91,2	48,5	40,8	25,4	21,4
6,1	80,2	45	38,2	21,6	17,2

100% CO, Dú:10,8, hodnoty RET [m ² . Pa/W]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
203,4	2,3	9,2	11,5	14,6	19,7
98,8	1,2	18,7	21,4	25,7	30,9
51,4	1,7	22,5	30,4	35,6	40,9
37,4	2,2	29,9	33,1	40,4	50,2
17,2	4	28,7	36,4	43,6	52,8
6,1	8,1	31,9	42,2	49,8	55,3

100% PP, Dú:10,8, hodnoty RWVP [%]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
199,8	85,8	65,9	59,7	50,7	48,2
101,1	82,6	54,4	49,7	42,8	38,1
52,3	79,4	50,1	44,3	34,8	30,4
29,3	77,1	40,3	37,9	31,7	28,4
14,8	75,8	38,6	33,5	29,8	25,3
4,6	67,5	33,4	31,2	21,4	18,9

100% PP, Dú:10,8, hodnoty RET [m ² . Pa/W]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
199,8	0,7	11,2	16,5	12,9	29,6
101,1	1,9	20,5	24,7	26,7	34,8
52,3	2,5	26	32	36,9	45,4
29,3	3	31,5	37	41,3	54,9
14,8	4,2	38,6	43,2	49,8	57,1
4,6	6,3	50,1	49,9	55,7	66,4

50PP/50CO, Dú:7,2, hodnoty RWVP [%]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
206,3	85,6	30,1	23,3	19,2	15,9
100,9	78,8	33,5	28,4	22,7	17,2
59,3	73,8	32,9	27,6	23,4	15,6
27,4	69,3	30,7	26,8	20,5	15,1
19,85	65,2	26,3	23,2	18,2	11,4
3,94	54,8	19,3	21,7	11,9	7,3

50PP/50CO, Dú:7,2,, hodnoty RET [m ² . Pa/W]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
206,3	1,2	22,2	22,3	28,8	39,9
100,9	2,2	20,3	16,5	24,5	31
59,3	2,4	20,9	16,9	31,3	36,6
27,4	0,6	23,2	18,4	30,1	38,5
19,85	3	22,5	19,8	35,1	41,2
3,94	3,9	31,2	22	36,3	47,2

50PP/50CO, Dú:19,3, hodnoty RWVP [%]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
208,9	77,5	45,5	41,3	37,7	27,4
96,8	71,3	38,4	34,4	31,7	19,6
61,9	65,4	30,5	28,6	23,2	17,6
31,4	56,2	25,8	23,8	19,4	16,9
15,2	51,4	16,2	14,2	9,9	17,7
4,4	35,8	22,1	19,1	8,7	13,4

50PP/50CO, Dú:19,3,, hodnoty RET [m ² . Pa/W]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
208,9	1,4	2,5	4,5	5,2	6,2
96,8	2	3,5	6,2	8,7	10,1
61,9	3,5	6,2	8,3	9,8	13,4
31,4	4,2	6	8,7	9,8	12,2
15,2	8,4	10,2	11,8	12,4	13,8
4,4	9,6	12,6	17,9	19,3	21

50PP/50CO, Dú:14,4, hodnoty RWVP [%]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
198,4	97,1	67,7	62	57,1	64,4
102,2	93,3	30,5	29	32,6	42,8
49,4	96	30,8	38,7	34,2	41,8
32,5	98,8	33	37,8	32,7	42,1
14,8	98,5	33,8	43,6	32,2	47,1
5,4	96,4	33,3	38	33,1	46,5

50PP/50CO, Dú:14,4,, hodnoty RET [m ² . Pa/W]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
198,4	0,5	50,3	40,4	55,4	40,6
102,2	1,7	53,6	59,5	51,3	34
49,4	1	56,7	40	50,2	36,6
32,5	0,3	53,4	43,8	54	35,9
14,8	0,4	51,4	34	54,9	29,2
5,4	1	52,3	41,7	51,8	31,4

50PP/50CO, Dú:10,8, hodnoty RWVP [%]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
205,6	89,5	33,2	31	27,4	21,4
102,4	78,5	25	28,3	21,7	18,6
51,82	76,4	24,5	28	22,9	20,5
31,6	73,4	23,9	27,2	21,6	18,5
12,55	71,5	25,4	20,4	23,1	17,8
3,99	84,3	36,6	22,9	19,5	17,9

50PP/50CO, Dú:10,8, hodnoty RET [m ² . Pa/W]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
205,6	0,6	13,3	12,7	14,2	19,7
102,4	1,5	14,6	16,6	19,7	20,9
51,82	1,7	15,8	17,1	18,5	20,8
31,6	2	16,3	17,2	19,7	21,1
12,55	2,2	16,1	21,5	18,3	25,3
3,99	1	9,6	18,7	22,7	25,5

65PP/35CO, Dú:10,8, hodnoty RWVP [%]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
195,3	89	24,4	31,6	28,4	21,3
97,6	82,3	26,4	30,3	25	23,5
46,5	87,6	33,7	30,1	24,6	25
34,76	80	23,6	27,1	22,6	20,5
13,47	75,5	22,6	25,4	29,7	19,3
4,29	73,9	22,4	33,2	20,5	18,2

65PP/35CO, Dú:10,8, hodnoty RET [m ² . Pa/W]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
195,3	0,7	18,1	12,8	14,2	20,5
97,6	1,2	16,4	13,6	16,7	22,6
46,5	1,1	8,8	15,2	21,5	19,6
34,76	1,6	18,9	15,3	21,1	22,5
13,47	1,9	19,4	8,8	14,1	25,1
4,29	2,1	21	10,3	23,3	26,9

100% CO, Dú:10,8, hodnoty RWVP [%]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
203,4	99,2	68,6	70,9	63,6	59,4
98,8	97,4	56,5	59,2	50,8	45,9
51,4	95,4	40,4	44,3	33,3	37,3
37,4	89,3	38,4	43,8	34,6	31,7
17,2	92,2	37	41,8	36,6	30,8
6,1	86,8	34,7	40,1	30,4	30,2

100% CO, Dú:10,8, hodnoty RET [m ² . Pa/W]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
203,4	0,2	12	10,5	14,6	19,8
98,8	0,7	20,2	18,1	25,6	30,9
51,4	1,2	30,1	28,2	38,6	42
37,4	3	35,4	21,1	42,4	53,8
17,2	2,1	37,7	34,2	43,6	54,9
6,1	3,6	45,9	37,2	53,8	55,3

50PP/50CO, Dů: 7,2 hodnoty RWVP [%]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
206,3	85,6	20,1	23,3	19,2	14,5
100,9	75,8	25,1	29,4	20,4	18
59,3	73,8	24,9	28,6	18,4	15,6
27,4	71,8	22,7	26,8	18,5	15,1
19,85	69,4	22,7	24	16,2	14,1
3,94	63,8	18	23,7	15,9	12,7

50PP/50CO, Dů: 7,2 hodnoty RET [m ² . Pa/W]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
203,4	0,2	12	10,5	14,6	19,8
98,8	0,7	20,2	18,1	25,6	30,9
51,4	1,2	30,1	28,2	38,6	42
37,4	3	35,4	21,1	42,4	53,8
17,2	2,1	37,7	34,2	43,6	54,9
6,1	3,6	45,9	37,2	53,8	55,3

50PP/50CO, Dů: 14,4 hodnoty RWVP [%]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
198,4	97,1	62	64,4	67,7	55,1
102,2	93,3	42	52,8	36,2	31,6
49,4	96	42,5	44,8	30,8	27,2
32,5	90,1	37,8	42,1	33	26,5
14,8	88,5	40,1	47,1	33,8	29,2
5,4	86,4	38	45,6	33,3	24,1

50PP/50CO, Dů: 14,4 hodnoty RET [m ² . Pa/W]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
198,4	0,5	22,4	26,3	30,1	34,1
102,2	1,7	34,5	34	46,2	51,3
49,4	1	41,2	36,6	45,7	50,2
32,5	0,3	39,8	35,9	50,4	54,1
14,8	0,4	34	29,2	49,4	54,9
5,4	1	41,7	31,4	45,3	51,8

50PP/50CO,Dú: 19,3 hodnoty RWVP [%]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
208,9	89,4	39,5	32,9	34,1	23,4
96,8	76,7	25,2	31,5	21,7	17,6
61,9	75,9	22,7	26,1	17	14,4
31,4	72,9	20,9	24,2	16,4	12,9
15,2	69,4	16,2	25,4	21,3	14,7
4,4	64,7	22,1	21,4	13,2	9,4

50PP/50CO,Dú: 19,3 hodnoty RET [m ² . Pa/W]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
208,9	0,8	10,3	13,6	8,6	17,6
96,8	2	21,9	16,5	23,9	27,3
61,9	2,1	25,3	18,2	32,7	31,4
31,4	2,5	25	19,8	34	32,7
15,2	2,9	34,9	16,9	24,7	31,4
4,4	3,7	23,9	19,9	44,5	43,6

50PP/50CO,Dú: 19,3 hodnoty RWVP [%]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
203,8	89,8	21,8	46,3	41,7	37,7
98,2	79,5	40,7	37,9	35,6	35,8
52,8	99,3	50	28,3	30,5	23,9
33,2	89,5	37,7	75,4	35,9	32,8
17,1	74,2	21,3	22,9	21,6	15,8
4,1	66,8	20	19,8	18,2	12,3

50PP/50CO,Dú: 19,3 hodnoty RET [m ² . Pa/W]					
U [%]	vzorek (h=0mm)	modrá (h=2,5mm)	oranžová (h=3mm)	červená (h=3,5mm)	zelená (h=4mm)
203,8	0,8	24,5	8	9,7	11,4
98,2	1,8	10,1	11,5	12,5	12,5
52,8	0,1	7	17,7	15,9	22,4
33,2	29,7	11,6	21,3	12,4	14,2
17,1	24,6	25,9	23,6	21,1	25,8
4,1	2,8	22,1	22,7	19,7	19,4

