

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2013

Bc. MARTIN MATYÁŠ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

Studijní program: N3108 Průmyslový management

Studijní obor: Produktový management -Textil

VLIV TEPLoty A VLHKOSTI
PROCHÁZEJÍCÍHO VZDUCHU NA PRODYŠNOST
TEXTILÍ

THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND
HUMIDITY OF AIR ON THE AIR PERMEABILITY
OF FABRICS

Bc. Martin Matyáš

KHT - 177

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.

Rozsah práce:

Počet stran textu..... 64

Počet obrázků..... 19

Počet tabulek..... 2

Počet grafů 14

Počet stran příloh 0

Zadání

1. Uveďte stručný přehled poznatků o komfortu textilií textílí a způsobů jeho hodnocení. Popište přístroj FX 3300 pro hodnocení prodyšnosti textilií a základní poznatky o vlivu konstrukce a složení textilií na jejich prodyšnost.
2. Opatřete alespoň 10 vzorků tkanin o podobné plošné hmotnosti (nad 150 g/m²) o stejné vazbě (plátno) a složení (100% bavlna, 100% polyester a 100% polypropylen a jejich směsi).
3. Z klimatické komory Voetsch instalované na KHT vyved'te ohebnou hadicí vzduch o volitelné teplotě a vlhkosti a zaveďte jej do přístroje FX 3300.
4. Stanovte vliv teploty (10, 25 a 40°C) a vlhkosti (25, 50 a 75%) na propustnost uvedených textilií pro vzduch.
5. Uveďte výpočet vlivu teplého vzduchu na teplotu textilie umístěné v měřicím prostoru přístroje FX 3300. Naměřené hodnoty prodyšnosti použijte k sestavení regresních závislostí vlivu teploty a vlhkosti vzduchu na prodyšnost zkoumaných vzorků v závislosti na jejich složení.
6. Výsledky zdůvodněte a závěrem uveďte, zda stávající normalizované postupy pro hodno-cení prodyšnosti textilií při standardních laboratorních podmínkách mohou být aplikovány i k hodnocení prodyšnosti textilií při jiných podmínkách.

Literatura:

Hes L., Sluka P.: Úvod do komfortu textilií. Skriptum TUL-FT, 2005

Kuneš J. a kol. : Tepelné bariéry, Academia 2003

Havlová, M., Čapková, L.: Evaluation of permeability of fabrics with plain weave, Int. Conf. STRUTEX 2010, Liberec, Czech Republic. ISBN 978-80-7372-664-5.

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 vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

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

Liberci dne 24. 5. 2013

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto formou poděkoval Prof. Luboši Hesovi DrSc., za odborné vedení, cenné rady a informace, které mi poskytoval při vypracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Marii Havlové, Ph.D. a Ing. Pavle Těšinové, Ph.D., za poskytnutí vzorků textilií. Také bych chtěl poděkovat svojí rodině za podporu během mého studia.

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá vlivem vlhkost a teploty vzduchu procházejícího textilií na jejich prodyšnost.

Teoretická část je zaměřena na strukturu textilií a její vliv na prodyšnost. Jsou zde popsány vlastnosti vzduchu, jeho proudění skrz textilie a způsob hodnocení prodyšnosti. Dále jsou zde zahrnuty základní poznatky o oděvním komfortu.

V experimentální části je zkoumán vliv teploty a vlhkosti na prodyšnost plošných textilií. Získaná data jsou vyhodnocena a na jejich základě sestaveny regresní modely.

KLÍČOVÁ SLOVA:

prodyšnost, plátno, vlhkost vzduchu, teplota vzduchu, komfort, FX 3300

ANNOTATION

This thesis deals with the influence of humidity and temperature on the air permeability of fabrics.

The theoretical part is focused on the structure of the fabric and its influence on permeability. The properties of air, the flow through the fabric and the method of evaluation of air permeability are described here. Basic knowledge of clothing comfort is also included in this part.

In the experimental part, the influence of the temperature and the humidity on the permeability of fabrics were investigated. Obtained data are evaluated in charts and linear regression models are compiled on this basis.

KEY WORDS:

air permeability, plain weave, air humidity, air temperature, clothing comfort, FX 3300

Obsah

ÚVOD.....	10
TEORETICKÁ ČÁST	11
1. Porozita textilií	11
2. Predikce porozity textilií	12
2.1. Porozita příže	13
2.2. Porozita plošných textilií	14
2.2.1. Porozita tkanin	14
2.2.2. Porozita pletenin.....	16
3. Vlastnosti textilních vláken	17
3.1. Bavlna	17
3.2. Polyester.....	18
3.3. Polypropylen.....	19
4. Vliv vlhkosti na vlastnosti vláken	19
5. Vliv teploty na vlastnosti vláken	21
6. Vzduch a jeho vlastnosti.....	22
6.1. Vliv teploty na vlastnosti vzduchu.....	22
6.2. Vzduch a vlhkost	24
7. Prodyšnost plošných textilií	26
8. Vzduch jako proudící médium	26
8.1. Laminární a turbulentní proudění	27
8.2. Proudění a ztráty	28
8.2.1. Místní tlakové ztráty	29

8.2.2.	Třecí odpory v potrubí	29
9.	Mechanismus odporu.....	30
10.	Proudění vzduchu přes textilní materiály	30
11.	Měření prodyšnosti textilií.....	31
12.	Zařízení FX 3300	31
13.	Vztahy pro prodyšnost vzduchu	32
14.	Komfort textilií	33
15.	Druhy komfortu	33
16.	Senzorický komfort.....	34
17.	Komfort nošení	34
18.	Omak.....	34
19.	Metody hodnocení omaku	35
19.1.	Systém KES	35
19.2.	Systém FAST	35
20.	Tepelný omak a jeho hodnocení	35
20.1.	Metody měření tepelného omaku.....	36
20.1.1.	Alambeta.....	36
24.	Funkce lidské kůže.....	40
25.	Termoregulace	40
26.	Teplota kůže.....	40
27.	Mechanismy zvyšování tělesné teploty	41
28.	Mechanismy snižování tělesné teploty	42
29.	Dýchání kůží	42
30.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	44

30.1.	Použitý materiál a jeho parametry.....	46
30.2.	Metodika testování	47
31.	Vyhodnocení naměřených hodnot	53
31.1.	100% POP	53
31.2.	65% POP	54
31.3.	35% POP	56
31.4.	100% Bavlna	57
31.5.	100% PES.....	58
31.6.	Denim.....	60
	ZÁVĚR	62
	Seznam použité literatury	64
	Seznam obrázků.....	66
	Seznam tabulek	67
	Seznam grafů	67

ÚVOD

Poskytování oděvního komfortu je v dnešní době stále více žádanou vlastností oděvů, mnoho firem na něm staví svou strategii a jsou vymýšleny stále nové technologie jak oděvní komfort zajistit. Oděvní komfort je často jedinou přidanou hodnotou, kterou lze u oblečení na trhu konkurovat. Oblékání je pro většinu lidí každodenní nutnost a každý se chce v oblečení cítit dobře.

Prodyšnost je z pohledu oděvního komfortu jednou z vlastností textilií, která je často pro komfort rozhodujícím faktorem. Prodyšnost textilie určuje, kolik vzduchu projde mezi okolím a pokožkou člověka. Zatímco parametry textilie jsou víceméně pevně dány, vlastnosti vzduchu se ale mohou měnit. Tyto vlastnosti vzduchu jsou zejména teplota a vlhkost, které jsou v laboratorních podmínkách, ve kterých je prodyšnost testována, pevně dány. Teplota a vlhkost se ale mohou v reálných podmínkách užívání oděvu od laboratorních podmínek značně lišit například vlivem podnebí nebo nadmořské výšky.

Je proto s podivem, že vlivem vlhkosti a teploty vzduchu na prodyšnost se dosud nikdo nezabýval. Cílem této práce je studovat vliv vlhkosti a teploty na prodyšnost plátnových tkanin. V teoretické části jsou shrnuty dosavadní poznatky o prodyšnosti textilií a oděvním komfortu. V experimentální části byly vzorky tkaniny podrobeny testování prodyšnosti při různých hodnotách vlhkosti a teploty. Výsledky měření byly poté graficky vyhodnoceny a na základě hodnot byly sestaveny regresní vztahy.

TEORETICKÁ ČÁST

1. Porozita textilií

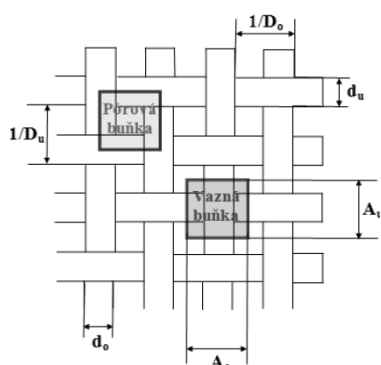
Pro průchod textilií musí vzduch procházet místem, kde se v textilii nenachází materiál a tím jsou póry. Textilní útvary jsou typické tím, že nejsou ze 100% zaplněné a vždy obsahují nějaký podíl vzduchu. Kromě toho, že textilie obsahují vzduch, mají i velmi nepravidelnou strukturu. Porozita je jeden z nejdůležitějších parametrů a má zásadní vliv na prodyšnost textilie. Tím, že porozita ovlivňuje prodyšnost, může v případě, že je nízká, negativně ovlivnit oděvní komfort. V textiliích rozlišujeme několik druhů pórů podle toho, kde se nacházejí.

- póry ve vláknech
- mezivláknenné póry
- mezinitné póry

Z hlediska hodnocení prodyšnosti textilií jsou vláknenné póry svou velikostí zanedbatelné, protože skrz ně neprochází prakticky žádný vzduch a neprochází skrz textilii.

Mezivláknenné póry, tedy póry uvnitř nití, jsou pro hodnocení prodyšnosti zanedbatelné, ale jen do určité míry. Havrdová [2] ve své práci uvádí, že pokud jsou nitě ze staplových vláken ve tkanině velmi hustě dostavené, dojde k tak velkému zmenšení meznitných pórů, že vzduch prochází horními vrstvami nití. Pokud je navíc příze hodně chlupatá, odstávající vlákna mohou překrývat mezinitné póry.

Mezinitné póry jsou pro svou velikost z hlediska prodyšnosti nejdůležitější. V plošných textiliích, vyjma textilií netkaných, tvoří meznitné póry tzv. pórové buňky jak je vidět na obrázcích 1 a 2. [1][2]



Obr. 1 Pórová buňka tkaniny [6]



Pórová buňka

Obr. 2 Pórová buňka zátažné pleteniny [7]

Protože je pletenina na rozdíl od tkaniny tvořena očky, obsahuje oproti tkanině o stejné plošné hmotnosti více pórů. Proto jsou pleteniny obecně prodyšnější než tkaniny. [3][6][8]

2. Predikce porozity textilií

Porozita úzce souvisí s prodyšností textilií a udává množství vzduchu, které textilie obsahuje. S prodyšností souvisí, protože vzduch proudí textilií skrz póry. Celková porozita plošné textilie se skládá z makroporozity a mikroporozity, kdy makroporozitu tvoří mezinitné póry a mikroporozitu póry uvnitř nití. Vyjímkou jsou plošné textilie vyrobené pouze z monofilamentů, které neobsahují póry uvnitř nití a tak je u nich porozita mezi nitěmi zároveň porozitou celkovou. Z hlediska prodyšnosti plošných textilií je důležitější makroporozita, zatímco mikroporozita hraje důležitou roli z hlediska absorpce vlhkosti a kapilárních jevů. Oba druhy porozity hrají ale stejnou roli například u tepelné-izolačních vlastností textilií nebo při transportu vodních par skrz textilii. [3][6][29]

Vzhledem ke složitosti textilních struktur zatím neexistuje ideální model pro predikci prodyšnosti resp. porozity plošných textilií. Existuje mnoho různých teoretických postupů i experimentálních metod. U každého modelu je zpravidla některý z parametrů zjednodušen a proto je kvůli složitosti textilní struktury a mnoha vstupním parametrům výsledek negativně ovlivněn a ne vždy odpovídá skutečným hodnotám. [3][6]

Určit porozitu vláken je na základě teoretických výpočtů velmi obtížné. Většinou se přistupuje k experimentálním měřením pomocí zvětšených příčných řezů a jejich následné softwarové analýze. Jak bylo zmíněno, póry ve vláknech jsou při modelování porozity plošných a délkových textilií zanedbávány, proto budou dále uvedeny pouze modely pro predikci příze a plošných textilií. [6]

2.1. Porozita příze

Výchozí veličinou pro výpočet porozity je výchozí veličinou zaplnění, které uvádí množství vláken v celkovém objemu příze. Součet zaplnění a porozity je vždy 1, případně pokud jsou uvedeny v procentech 100%. U příze je zaplnění dáno vztahem:

$$\mu = \frac{4.T}{\pi.D^2.\rho} \quad (1)$$

kde: μ zaplnění [-]

T jemnost příze [tex]

D plocha průřezu příze [mm]

ρ měrná hmotnost materiálu [kg.m⁻³]

Z tohoto vztahu je potom porozita příze P_p dána vztahem:

$$P_p = 1 - \mu \quad (2)$$

V praxi je určení porozity příze možné stejně jako u vláken na základě příčných řezů, kde lze porozitu určit zjištěním buď přímo-změřením plochy příze a plošek jednotlivých vláken pomocí obrazové analýzy nebo nepřímo metodou Secant, která spočívá v rekonstrukci vlákenných ploch podle polohy středů vláken. [8]

Porozita příze závisí na volbě materiálu a technologii, která ovlivňuje uspořádání vláken v přízi. Čím vyšší je například zákrut příze, tím vyšší je zaplnění a porozita tím pádem klesá. Dalším příkladem může být chlupatost příze, která může zasahovat do meznitných pórů ve tkanině a tak snižovat jejich průřez. [8][30]

2.2. Porozita plošných textilií

Plošné textilie používané pro výrobu oděvů jsou nejčastěji tkaniny a zátažné pleteniny. Vzhledem ke složitosti textilních struktur zatím neexistuje ideální model pro predikci prodyšnosti resp. porozity plošných textilií. Existuje mnoho různých teoretických postupů i experimentálních metod. U každého modelu je zpravidla některý z parametrů zjednodušen a proto je kvůli složitosti textilní struktury a mnoha vstupním parametrům výsledek nějakým způsobem ovlivněn. Obecně je predikce porozity jednodušší u tkanin než u pletenin. Je to způsobeno tím, že zátažné pleteniny mají velmi nestabilní strukturu, mají vyšší pružnost a jsou mnohem víc náchylné k podélným a příčným deformacím. [7]

2.2.1. Porozita tkanin

Tkanina je plošná textilie, vzniklá provázáním dvou soustav na sebe kolmých nití. Skládá se z podélných (osnovních) a příčných (útkových) nití. Mezi jednotlivými vaznými body vznikají mezinitné póry - viz obr. 1. Základní tři modely pro určení porozity tkaniny jsou porozita stanovená z:

- podílu měrných hmotností dle:

$$P_{\rho} = 1 - \frac{\rho_v}{\rho_f} \quad (3)$$

kde: P_{ρ} porozita určená z podílu měrných hmotností [-]

ρ_v objemová měrná hmotnost tkaniny [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

ρ_f objemová měrná hmotnost vlákenného materiálu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

- podílu objemů dle:

$$P_v = 1 - \frac{V}{V_{tk}} \quad (4)$$

kde: P_v porozita určená z podílu měrných hmotností [-]

V celkový objem [m^3]

V_{tk} celkový objem textilie [m^3]

- z plošného zakrytí dle:

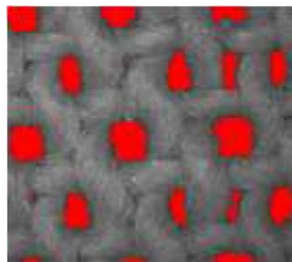
$$P_s = 1 - CF \quad (5)$$

kde: P_s porozita určená z podílu měrných hmotností [-]

CF plošné zakrytí stanovené z ideálního modelu tkaniny [-]

Protože je tkanina 3D struktura, už ze základních vztahů pro výpočet porozity tkaniny je patrné, že při teoretických výpočtech nejsou vždy zahrnuty všechny strukturální parametry, jako je tomu u určení plošné porozity, kde je tkanina brána jako dvojrozměrná struktura. Dalšími příklady modelování porozity jsou například modely podle Lua [6] nebo Gooijera [6]. Oba mají určité požadavky na strukturální vlastnosti tkaniny, které ale běžně tkaniny málokdy splňují. Například není průřez nitě deformován, nebo jsou nitě neprodyšné. [6]

V praxi se pro určení porozity tkaniny využívá zvětšených mikroskopických snímků plochy tkaniny (2D interpretace) a snímků příčných řezů tkaninou (3D interpretace). Zvětšené snímky plochy a příčných řezů tkaniny jsou na obrázcích 3 a 4. Při určování plošné porozity tkaniny pomocí obrazové analýzy je tkanina prosvěcována světlem a snímky jsou následně převedeny na černobílé, kde bílá barva značí místo kudy prosvítá světlo-póry a černá barva jsou plochy zakryté nitěmi. Poté je možné pomocí softwaru určit obsah zakrytých ploch/pórů a určit plošnou porozitu. [3][6]



Obr. 3 Zvětšený snímek tkaniny (póry jsou zvýrazněny červeně) [14]

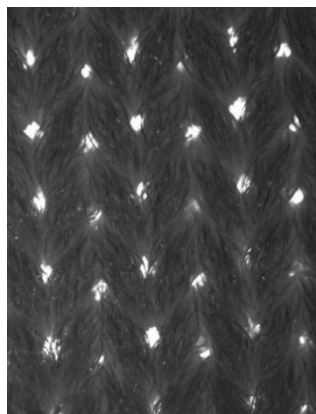


Obr. 4 Příčný řez tkaninou [15]

Porozita tkaniny závisí hlavně na použité vazbě tkaniny a typu délkové textilie, z které je utkána.

2.2.2. Porozita pletenin

Vzhledem k tomu, že v oděvnictví se využívají z převážné většiny pleteniny zátažné, budou blíže popsány právě ony. Zátažná pletenina je plošná textilie vznikající zpravidla z jedné nitě, která tvoří v příčném směru očka, která jsou vzájemně propletena. Zátažné pleteniny se vyznačují vysokou elasticitou hlavně ve směru řádků a tím i velkou tvarovou nestabilitou, což je pro predikci jejich porozity velkým problémem. Porozitu lze teoreticky vypočítat stejným způsobem jako u tkanin na základě měrných objemů, objemů a zakrytí. Většinou se ale přistupuje k experimentálním měřením na základě zvětšených snímků plochy pleteniny stejným způsobem jako u tkanin. Porozita zátažných pletenin závisí stejně jako u tkanin na typu vazby a použité délkové textilií. [6][7]



Obr. 5 Zvětšený snímek zátažné pleteniny s patrnými póry [16]

3. Vlastnosti textilních vláken

Vlákno je ohebná pružná délková textilie, jejíž délka je řádově nižší než její průřez. Zároveň je výchozím produktem pro výrobu textilií. Vlákna lze rozdělit podle délky resp. možnosti zpracování na:

- Staplová (spřadatelná) s délkou nad 10mm
- Nekonečná (filamenty) s délkou až několik kilometrů
- Nespřadatelná s délkou pod 10mm

Dále lze vlákna rozdělit podle původu na:

- Přírodní (rostlinná, živočišná, anorganická)
- umělá (syntetické a přírodní polymery, nepolymerní látky)

Jelikož se tato práce zabývá plošnými textiliemi, pro které jsou výchozím materiálem vlákna z bavlny, polyesteru a polypropylenu, budou dále podrobněji popsány pouze vlastnosti vláken z těchto materiálů.

3.1. Bavlna

Bavlna je jednou z nejstarších a v textilním průmyslu dodnes nezastupitelných surovin. Bavlněná vlákna jsou rostlinná vlákna obrůstající semena bavlníku a jsou tvořena z 88-96 % celulózu. Zbytek tvoří vosky, bílkoviny, soli apod. Bavlněná vlákna (obr.6) udržují vlhkost v rovnováze s vlhkostí okolního prostředí. Množstvím absorbované vody dochází ke změnám rozměrů vláken v příčném směru (až 40%), méně pak ve směru podélném (do 1%). Před absorpcí vody z vodní páry dovnitř vláken dochází nejdříve ke kondenzaci vody na povrchu vláken. Poté je v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu část zkondenzované vody transportována do vlákna a část zůstává na povrchu vláken. Sorpce vody do vláken závisí na přístupnosti hydrofilních skupin v makromolekule vlákna, která na sebe váží molekuly vody. Celulóza má tři hydrofilní hydroxylové skupiny, na které se molekuly vody mohou navázat. Celkově má bavlna poměrně velkou schopnost pohlcovat vlhkost, v nasycené prostředí vodní páry je schopna pohltnout až 27% vlhkosti. Při 20°C a relativní vlhkosti vzduchu 65%,

odpovídající podmínkám testování prodyšnosti tkanin dle [22], v sobě bavlněná vlákna váží 6-8% vlhkosti. [5][8]



Obr. 6 Zvětšená vlákna bavlny [9]

3.2. Polyester

Vlákna vyrobená z polyesteru (PES) se začala v textilní výrobě používat od konce 40. let 20. století. Polyester je syntetický polymer, který se vyrábí z ropy polykondenzací dimethyltereftalátu a glykolu. V celkovém objemu celosvětové produkce je nejvyráběnějším syntetickým vláknem. Vlákna z polyesteru jsou vyráběna zvláknováním ve formě kabílku, nekonečných vláken (filamentu) nebo stříže. Díky výrobě zvláknováním lze vyrobit vlákna prakticky libovolného průměru a profilu, včetně vláken dutých nebo mikrovláken.

Oděvy vyrobené z polyesteru jsou mimo jiné odolné vůči chemikáliím, snadno se perou, rychle schnou a nesráží se, jsou odolné vůči srážení a mají příjemný omak. Nevýhodou polyesterových oděvů je nízká prostupnost pro vzduch a nedostatečný transport vlhkosti, vysoká žmolkovitost. Polyester se velmi často směšuje s přírodními vlákny, zejména s bavlnou, polyamidem a vlnou, čímž se jeho nevýhody do značné míry eliminují. Samotný polyester se používá pro výrobu spodního a sportovního prádla. Ve směsích potom zejména k výrobě košilovin.

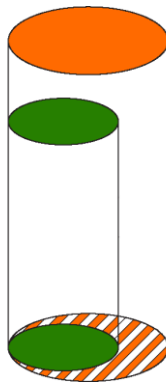
3.3. Polypropylen

Polypropylenová vlákna patří stejně jako polyester mezi syntetická vlákna, pro která je výchozí surovinou ropa. Stejně jako polyester se vyrábí v mnoha modifikacích, mezi jeho přednosti patří zejména nízká měrná hmotnost, která je nejnižší ze všech materiálů používaných k výrobě vláken (podle stupně krystalinity maximálně 950 kg/m^3). Polypropylen je kromě této vlastnosti ještě silně hydrofobní. Tato vlastnost bude blíže popsána v následující kapitole.

4. Vliv vlhkosti na vlastnosti vláken

Přírodní vlákna mají tendenci udržovat vlhkost v rovnováze s vlhkostí okolního prostředí. Před absorpcí vody z vodní páry dovnitř vláken dochází nejdříve ke kondenzaci vody na povrchu vláken. Poté je v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu část zkondenzované vody transportována do vlákna a část zůstává na povrchu vláken. Tento jev je nejvíce znatelný u přírodních vláken v našem případě u bavlny. Sorpce vody do vláken závisí na přístupnosti hydrofilních skupin v makromolekule vlákna, která na sebe váží molekuly vody.

Celulóza, která tvoří bavlněná vlákna, má tři hydrofilní hydroxylové skupiny, na které se molekuly vody mohou navázat. Celkově má bavlna poměrně velkou schopnost pohlcovat vlhkost, v nasyceném prostředí vodní páry je schopna pohltit až 27% vlhkosti. Při 20°C a relativní vlhkosti vzduchu 65%, v sobě bavlněná vlákna váží 7-8% vlhkosti. [4][5] S množstvím absorbované vody dochází u bavlny ke změnám rozměru vláken, tzv. bobtnání. Bobtnání vyjadřuje relativní změnu ve prostorových parametrech vlákna, tj. změny plochy jeho průřezu, délky nebo objemu (viz. obr. 10). [4] [5]



Obr. 10 Změna rozměrů vlákna vlivem zbobtnání [5]

Vlákna mají tendenci bobtnat mnohem více v příčném směru, než ve směru podélném, Je to způsobeno vlivem tvorby vodíkových můstků v amorfních oblastech vlákna a způsobuje anizotropii bobtnání. U bavlny je bobtnání v příčném směru až 40% oproti méně než 1% ve směru podélném. Bobtnání je u přírodních vláken mnohem vyšší, než u vláken syntetických například vlna bobtná v podélném směru až o 25%. Vlákem s nejvyšší mírou bobtnání je viskóza (regenerovaná celulóza) u které může příčné bobtnání dosáhnout více než 100%.

Syntetická vlákna mají na rozdíl od většiny přírodních vláken nižší schopnost vázat v sobě vlhkost. Polyester i polypropylen mají velmi sorpční schopnost. V podmínkách odpovídajících normě [22] v sobě polyester váže maximálně 3% vlhkosti, což je zároveň výhoda i nevýhoda. Polyesterové oděvy dobře schnou, ale díky nízké navlhavosti špatně absorbují tělesnou vlhkost, což v momentě, kdy se člověk začne potit, představuje problém z hlediska komfortu. [4][5]

Polypropylen má minimální navlhavost (méně než 0,01 %). Oproti ostatním vláknům prakticky nulová navlhavost je způsobena nízkým povrchovým napětím, díky kterému jsou vlákna silně hydrofobní, proto se používá pro výrobu oděvů, kde je žádoucí transport vlhkosti, jako jsou oděvy pro sport, nebo spodní prádlo. Většinou se polypropylenová spodní vrstva dotýkající se kůže kombinuje s další savou vrstvou (např. bavlna), pot je tak odváděn od pokožky polypropylenovou vrstvou a nasáván bavlněnou vrstvou, ze které se postupně odpařuje. Polypropylen má kromě toho i vynikající tepelně-izolační vlastnosti. [4][5]

5. Vliv teploty na vlastnosti vláken

Vlivem změny teploty mají materiály tendenci měnit svůj objem. Se stoupající teplotou se objem materiálů zvyšuje a naopak. Tento jev souvisí s molekulami dané látky, které vlivem snížení nebo zvýšení teploty získají nebo ztratí svoji kinetickou energii. Čím vyšší je teplota, tím vyšší je i kinetická energie molekul a tím více prostoru potřebují, čímž se zvýší objem daného materiálu. Tepelná roztažnost funguje u pevných látek, kapalin i plynů. Většina materiálů má pro výpočet své tepelné roztažnosti tabulkově dané koeficienty. Tepelná délková roztažnost materiálů je dána vztahem:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad (6)$$

kde: Δl změna délky [m]

l_0 původní délka [m]

α koeficient délkové roztažnosti [$10^{-3} \cdot K^{-1}$]

Δt změna teploty [K]

Pro objemovou teplotní roztažnost pak platí vztah:

$$V = V_0 \cdot (1 + \alpha_v \cdot \Delta t) \quad (7)$$

kde: V objem tělesa [m^3]

V_0 původní objem [m^3]

α_v koeficient objemové roztažnosti [$10^{-3} \cdot K^{-1}$]

Δt změna teploty [K]

Pro koeficient α_v nejsou dány tabulkové hodnoty (platí, že $\alpha_v = 3\alpha$).

6. Vzduch a jeho vlastnosti

Vzduch je směs plynů tvořící atmosféru. Tvoří ho z 78% dusík, 21% kyslík a 1% oxid uhličitý a vzácné plyny jako argon nebo helium. Vzduch je stlačitelný plyn bez zápachu, jeho fyzikální vlastnosti se mění s teplotou, nadmořskou výškou a obsahem vlhkosti. Jako všechny plyny má i vzduch vlastnosti pro plyny typické: tekutost, stlačitelnost a rozpínavost. Z hlediska prodyšnosti textilií jsou důležité tyto vlastnosti vzduchu, které spolu vzájemně souvisí a ovlivňují se:

- teplota
- hustota
- viskozita
- vlhkost

6.1. Vliv teploty na vlastnosti vzduchu

Se stoupající teplotou se mění i hustota vzduchu. Jak bylo popsáno předešlé kapitole, je to způsobeno tím, že při dané hmotnosti vzduchu získají jeho molekuly vyšší kinetickou energii, kmitají rychleji a zvětší se mezi nimi vzdálenost, čímž vzduch zvýší svůj objem a zároveň sníží svou hustotu dle základního vztahu pro výpočet hustoty:

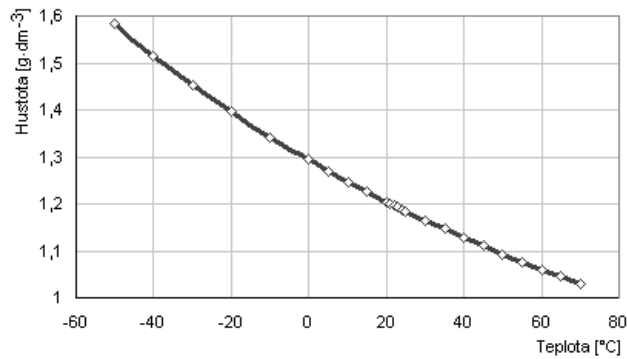
$$\rho = \frac{m}{V} \quad (8)$$

kde: ρ hustota [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

m hmotnost [kg]

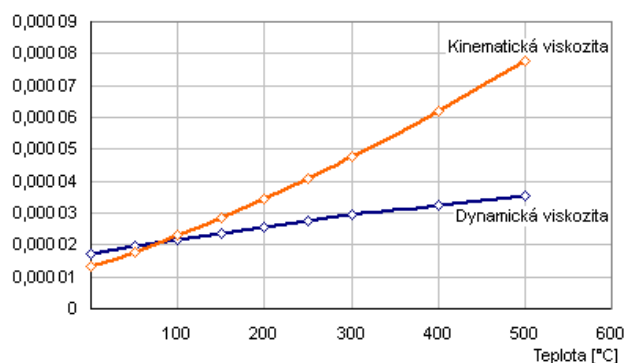
V objem [m^3]

V grafu 1 je znázorněna závislost hustoty vzduchu na teplotě.



Graf 1 Závislost hustoty vzduchu na teplotě [12]

Viskozita je fyzikální veličina, charakterizující vnitřní tření plynů a tekutin, která závisí především na přitažlivých silách mezi molekulami dané látky. Čím vyšší je přitažlivost mezi částicemi, tím vyšší je viskozita. Viskozitu lze také definovat jako odpor k deformaci. Se stoupající teplotou se viskozita plynů i kapalin chová rozdílně. Je to způsobeno zmíněnými mezimolekulárními silami resp. jejich silou. Plyny mají tepelný pohyb molekul vyšší, než své mezimolekulární síly, zatímco u kapalin je to naopak, tudíž se stoupající teplotou viskozita u plynů roste, zatímco u kapalin klesá. Na viskozitu plynů i tekutin má vliv i tlak, který se ale s výjimkou extrémně vysokých nebo nízkých hodnot zanedbává. Rozlišujeme dva typy viskozity a to viskozitu dynamickou (absolutní) η [Pa.s] a kinematickou ν [m².s⁻¹] přičemž hodnoty pro většinu kapalin a plynů jsou tabelovány na základě měření nebo výpočtů pomocí poloempirických rovnic. [10][11] V grafu 2 je znázorněna závislost dynamické a kinematické viskozity vzduchu na teplotě.



Graf 2 Závislost viskozity vzduchu na teplotě[12]

6.2. Vzduch a vlhkost

Schopnost absorbovat vlhkost je pro oděvy velice důležitá vlastnost, díky které je pokožka udržována v suchu. Tato vlastnost závisí především na složení vláken, která mohou se stoupající vlhkostí měnit svoje vlastnosti. Výchozí veličinou je absolutní a relativní vlhkost vzduchu, absolutní vlhkost je dána vztahem:

$$\phi = \frac{m}{V} \quad (9)$$

kde: ϕ absolutní vlhkost [%]

m hmotnost vodní páry obsažené ve vzduchu [kg]

V maximální hmotnost vodní páry, kterou je schopen pojmout vzduch o stejném objemu a teplotě [kg]

Běžně se absolutní vlhkost vyjadřuje g.m^{-3} . Stav kdy je vzduch vodní parou zcela nasycen a není již schopen žádnou další vlhkost pojmout, se nazývá rosný bod. Maximální nasycení vodní párou se značí ϕ_{\max} .

Relativní vlhkost vzduchu je dána poměrem absolutní vlhkosti a vzduchu k vlhkosti s maximálním obsahem vodní páry. Jinak řečeno je relativní vlhkost procentuální podíl z maximálního množství vodní páry, kterou by byl schopen pojmout za dané teploty a tlaku stejný objem vzduchu. Vyjadřuje jí vztah:

$$\varphi = \frac{\phi}{\phi_{\max}} \cdot 100 \quad (10)$$

kde: φ relativní vlhkost [%]

ϕ absolutní vlhkost vzduchu [kg.m^{-3}]

ϕ_{\max} maximální možné nasycení vodní párou[kg]

Relativní vlhkost lze vyjádřit i pomocí parciálních tlaků vodní páry a parciálního tlaku syté vodní páry dle vztahu:

$$\varphi_p = \frac{p}{p_{\max}} \cdot 100 \quad (11)$$

kde: φ_p relativní vlhkost [%]

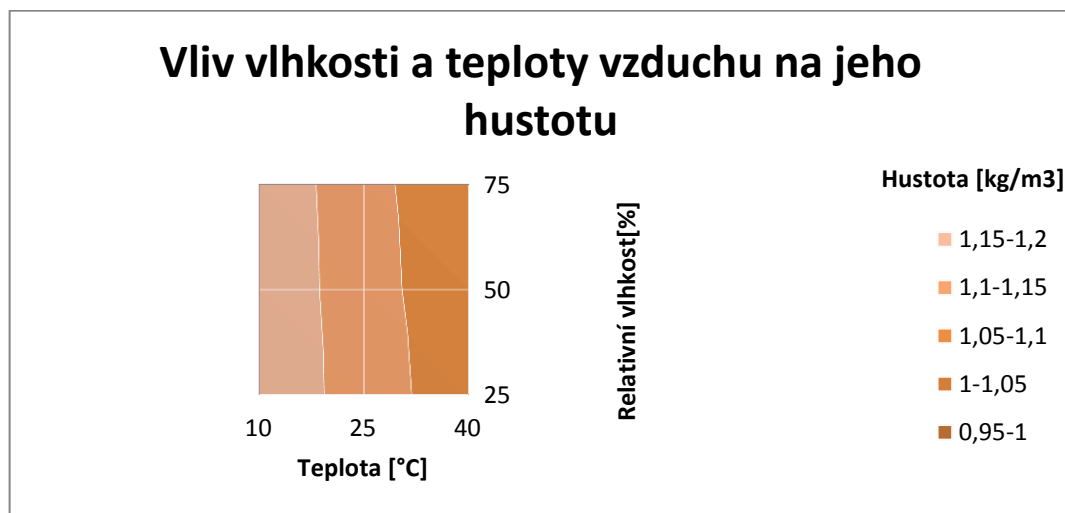
p parciální tlak vodní páry [Pa]

p_{\max} parciální tlak syté vodní páry [kg]

Vodní pára se ale nechová jako ideální plyn a proto platí, že: $\varphi \neq \varphi_p$. [13][25]

Čím je vyšší vlhkost vzduchu, tím nižší je jeho hustota. Je to způsobeno tím, že molekuly vodních par mají nižší hmotnost než molekuly N_2 a O_2 tedy plynů, které tvoří z největší části vzduch. Čím víc vodní páry vzduch obsahuje, tím nižší je jeho hmotnost.

Vliv teploty a vlhkosti na hustotu vzduchu je zobrazen v grafu 3.



Graf 3 Vliv vlhkosti a teploty vzduchu na jeho hustotu [12]

Na základě těchto poznatků lze tedy říci, že se stoupající vlhkostí a teplotou vzduchu se klesá jeho hustota a stoupá jeho viskozita.

7. Prodyšnost plošných textilií

Prodyšnost textilií je z hlediska oděvního komfortu jednou z nejdůležitějších vlastností. S prodyšností textilií úzce souvisí oděvní komfort, jelikož vzduch představuje médium pro transport z hlediska oděvního komfortu klíčových elementů - tepla a vlhkosti směrem od těla do okolí a zároveň ovlivňuje efektivitu oděvu při ochraně před větrem. Prodyšnost je definována jako množství vzduchu procházejícího skrz textilii při daném tlakovém spádu za jednotku času. Místy, kudy může vzduch skrz textilii proudit, jsou zmiňovaná místa, která v textilii vyplňuje vzduch-póry.

Prodyšnost plošných textilií souvisí s jejich strukturou resp. porozitou popsanou v první kapitole. Plošné textilie jsou vyráběny z délkových textilií (příze, monofily, multifily). Prvním místem, kterým může v textilní hierarchii proudit vzduch, jsou póry uvnitř příze. Póry ve vláknech jsou z hlediska prodyšnosti zanedbávány, jelikož neprocházejí skrz textilii. U multifilů se většinou vychází z předpokladu, že vnitřní uspořádání je těsné natolik, že vzduch skrz přízi neprochází a dle [3] lze prodyšnost nití ve většině případů zanedbat.

Pokud je plošná textilie vyrobena ze staplové příze, a pokud jsou mezinitné póry v textilii dostatečně velké, vzduch jimi, coby místem nejmenšího odporu, prochází nejvíc. Pokud je ale tkanina hustě dostavená a mezinitné póry se dostatečně zmenší, nezanedbatelné množství vzduchu prochází u skrz vrchní vrstvy příze. Vlivem jemnosti příze na prodyšnost se v poslední době ve své práci zabývali například Babarslaan s Kaynakem [33], vliv vlhkosti a teploty procházejícího vzduchu ale nezahrnuli.

Tyto předpoklady platí zejména pro tkaniny. K výrobě pletenin se zpravidla používají jiné typy nití, s menším počtem zákrutů. Tyto nitě mají otevřenější strukturu a rozdíly mezi mezinitnými póry a póry uvnitř nití jsou menší než u tkanin a proto u většiny pletenin nelze vycházet z předpokladu o neprodyšnosti nití. [6]

8. Vzduch jako proudící médium

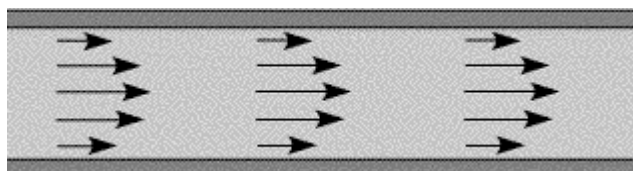
Při modelování prodyšnosti tkanin se vychází z poznatků z mechaniky tekutin. Mezi tekutiny se počítají plyny a kapaliny. Plyny se vyznačují tím, že kromě toho, že jsou

stlačitelné, nemají svůj vlastní tvar ani objem (na rozdíl od kapalin) a přizpůsobují se vždy tvaru a objemu nádoby. Průchod vzduchu přes textilii se řídí zákony mechaniky tekutin, z nichž se odvíjejí i vztahy mezi strukturou textilie a její prodyšností. I když je vzduch stlačitelný plyn, při rychlostech nižších než rychlost zvuku se jeho stlačitelnost při hodnocení prodyšnosti zanedbává. Machovo číslo je tzv. podobnostní číslo, které udává poměr rychlosti tělesa k rychlosti zvuku v tomtéž prostředí, tj. vzduchu se stejnou vlhkostí, hustotou a tlakem. Rychlost zvuku se totiž mění v závislosti na těchto veličinách.

Proudění je pohyb tekutiny, v našem případě vzduchu, kdy se částice pohybují jednak vlastním neuspořádaným pohybem a zároveň se posouvají ve směru proudění. Částice se vždy pohybují z místa vyššího tlaku do místa s nižším tlakem. U tekutin rozlišujeme dva druhy proudění a to proudění laminární a turbulentní.

8.1. Laminární a turbulentní proudění

Laminární neboli proudnicové proudění je pohyb viskózní tekutiny ve vzájemně rovnoběžných nekonečně tenkých vrstvách, kdy nedochází k mísení částic z jednotlivých vrstev a vrstvy se pohybují jedna po druhé (obr. 7).



Obr. 7 Laminární proudění [17]

Pokud se ale rychlost zvýší na určitou kritickou hodnotu, začnou se spolu jednotlivé vrstvy vlivem vzájemného tření mísit a vzniká proudění turbulentní (obr 8). Tuto kritickou hranici udává tzv. Reynoldsovo číslo, které patří stejně jako Machovo číslo mezi podobnostní čísla a je také bezrozměrné. Reynoldsovo číslo (Re) je dáno vztahem: [3][10][11]

$$Re = \frac{\rho \cdot R \cdot v}{\eta} \quad (12)$$

kde: Re Reynoldsovo číslo [-]

ρ hustota tekutiny [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

R průměr trubice [m]

v rychlost proudění kapaliny

η viskozita tekutiny [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$]

Reynoldsovo číslo lze také vyjádřit i zjednodušeným vztahem dle:

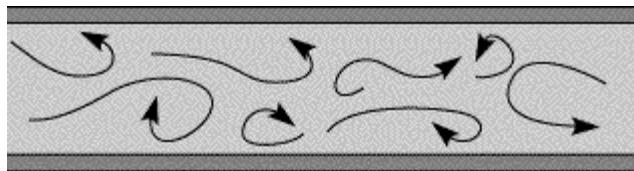
$$\text{Re} = \frac{w \cdot d}{\eta} \quad (13)$$

kde: w střední rychlost tekutiny [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

d charakteristický rozměr proudu [m]

η viskozita tekutiny [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$]

Na základě experimentů bylo zjištěno, že do hodnoty $\text{Re} = 2320$ je proudění laminární, mezi hodnotami $\text{Re} = 2320$ až $\text{Re} = 6000$ se jedná o tzv. přechodovou oblast. Nad $\text{Re} > 6000$ už se jedná o turbulentní proudění. Přechod mezi laminárním a turbulentním prouděním je pozvolný a závisí na faktorech, jako je tvar potrubí, jeho drsnost atd.



Obr. 8 Turbulentní proudění[17]

8.2. Proudění a ztráty

Při laminárním i turbulentním proudění dochází k hydraulickým ztrátám. Je to způsobeno hlavně viskozitou tekutiny, v našem případě vzduchu. Ke ztrátám energie dochází třením částic vzduchu jednak o sebe, jednak o stěny trubice, v našem případě o povrch pórů textilie. Proudící tekutina má energii, která je díky tření rozptýlena. Hydraulické odpory jsou tedy všechny ztráty energie, při kterých dochází k rozptýlení energie proudící tekutiny.

8.2.1. Místní tlakové ztráty

K místním tlakovým ztrátám dochází v místech, kde se mění vektor rychlosti proudící tekutiny (jeho směru, rychlosti) tj. v místech kde dochází k víření: ohybu trubky, místě změny velikosti průřezu trubky, případně jejich kombinací. Místní tlakové ztráty v uvažovaném úseku potrubí jsou zpravidla několikanásobně vyšší, než ztráty vzniklé třením ve stejném úseku.

8.2.2. Třecí odpory v potrubí

Třecí odpory v potrubí jsou vyjádřeny rozptýlenou ztrátovou energií, závislou na druhu proudění tekutiny a geometrii potrubí. U dlouhých potrubí převažují ztráty úměrné délce, krátkých převažují ztráty způsobené místními ztrátami zmíněnými v předešlé kapitole. Obecně je součinitel tření závislý na druhu proudění dle Re a poměrné drsnosti potrubí. U turbulentního proudění jsou třecí ztráty vyšší než u proudění laminárního.

Pro výpočet třecích ztrát se používá Weisbachův vzorec:

$$e_z = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2} \quad (13)$$

kde: λ součinitel třecích ztrát [-]

l délka potrubí [m]

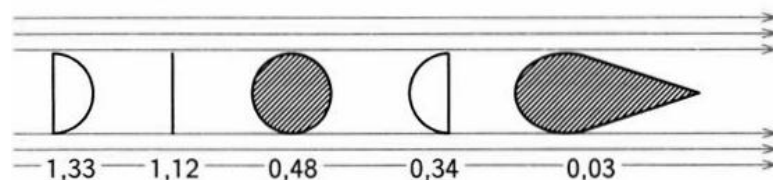
d průměr potrubí [m]

v rychlost [$m \cdot s^{-1}$]

Součinitel třecích ztrát je dán typem proudění, u laminárního proudění je $\lambda = \frac{Re}{64}$ u

turbulentního $\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}}$

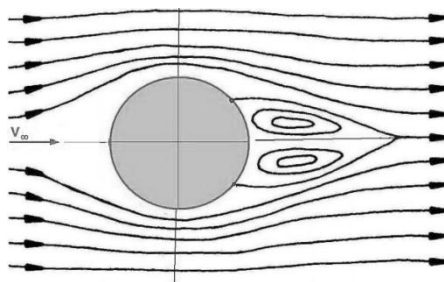
Příklady vlivu tvaru tělesa na koeficient jsou na obrázku 8. [20]



Obr. 8 Příklady součinitele odporu pro různé tvary obtékaných těles [19]

9. Mechanismus odporu

Při obtékání tělesa tekutinou je celkový odpor tělesa rozložen na odpor třecí (způsobený viskozitou) a odpor tlakový způsobený nesouměrným rozložením tlaku na povrchu tělesa. Stanovit velikost jednotlivých odporů je ale velmi složité a proto se v praxi obvykle stanovuje pouze celkový odpor. Tekutina při obtékání tělesa dochází k odtržení mezní vrstvy většinou tehdy, když tekutina proudí do zadní části tělesa vlivem setrvačnosti jejích částic (viz. obr. 9). U velmi malých Re převládá vliv viskózních sil nad tlakovými, a proto nedochází k odtržení mezní vrstvy. [11][20]



Obr. 9 Model proudění tekutiny přes překážku [19]

Jak bylo zmíněno v předchozích kapitolách, vzduch mění svoji hustotu v závislosti na teplotě a vlhkosti. Čím vyšší je vlhkost a teplota vzduchu, tím nižší je jeho hustota. Z hlediska odporu by tedy s klesající hustotou resp. stoupající teplotou a vlhkostí klesal i odpor tělesa. Proti tomu ale stojí viskozita, která se s teplotou zvyšuje. [11][20]

10. Proudění vzduchu přes textilní materiály

Jak již bylo zmíněno, textilní materiály jsou svou strukturou velmi složité útvary. Pro proudění vzduchu skrz textilní materiály bylo vytvořeno několik modelů.

1. Pórové modely: vychází z předpokladu, že textilie je děrovaná rovinná deska, kde mají otvory podobu válcových pórů, procházejících kolmo k jejímu povrchu. Předpokladem je, že póry (otvory) jsou dostatečně tenké a proudění uvnitř nich je laminární

2. Překážkové modely: vychází z představy, že textilie je systém válců, který je postavený do cesty proudící tekutině, která je obtéká. Problémem těchto modelů je složitost textilií ve smyslu vzdálenosti pomyslných válců, kdy by tekutina obtékající jednotlivé válce, ovlivňovala obtékání sousedních válců.
3. Modely vstupního otvoru: tyto modely uvažují tkaninu jako systém zužujících se a následně rozšiřujících se „trysek“. Rozhodujícím místem pro popis je nejužší místo „trysky“. [2]

11. Měření prodyšnosti textilií

Plošná textilie je definována jako útvar, jehož dva rozměry zpravidla řádově převyšují rozměr třetí.[3]

V současnosti používaná norma ČSN EN ISO 9237 popisuje prodyšnost jako objem vzduchu, procházející kolmo skrz textilií o určité ploše při daném tlakovém spádu za dané teploty a vlhkosti vzduchu. Podmínky pro měření propustnosti dle zmíněné normy jsou následující: [21][22]

- relativní vlhkost: 65 %
- teplota: 20 °C
- plocha vzorku: 20 cm²
- tlakový spád: 100 Pa pro oděvní plošné textilie
200 Pa pro technické plošné textilie

12. Zařízení FX 3300

Pro testování prodyšnosti textilií existuje několik zařízení. V laboratoři KHT je instalováno zařízení FX 3300 firmy TexTest. Toto zařízení umožňuje rychlé a jednoduché zjištění hodnoty prodyšnosti textilie (obr. 10). Na přístroji lze jednoduše nastavit tlakový spád pro testování prodyšnosti a hodnoty se odečítají z displeje. Testovaný vzorek se upne do čelistí přístroje (obr. 11) čímž se automaticky spustí sání vzduchu, který je nasáván přímo z okolí. Plocha sacího otvoru je 20 cm².



Obr. 10 Zařízení FX 3300



Obr. 11 Detail upínacích čelistí FX 3300

Uvnitř přístroje jsou senzory, které snímají tlak před a za textilií a hodnoty zobrazují na displeji. Zobrazované aktuální hodnoty si lze nastavit v celé řadě jednotek. Rozsah nastavení tlakového spádu je 20 -2000 Pa.

13. Vztahy pro prodyšnost vzduchu

Jak bylo v předchozím textu zmíněno, textilie narušuje proud vzduchu, ve kterém dochází k hydraulickým ztrátám. Velikost těchto ztrát lze vyjádřit jako pokles tlaku za textilií. Měření prodyšnosti plošných textilií spočívá ve vytvoření tlakového spádu mezi dvěma stranami plošné textilie. Základním vztahem pro výpočet prodyšnosti je tzv. D'arcyho rovnice: [23][24]

$$Q = \frac{k \cdot A \cdot \Delta p}{L} \quad (14)$$

kde: k.....součinitel propustnosti vrstvy [$\text{m}^2 \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$]

A.....plocha přes kterou prochází vzduch [m^2]

Δprozdíl tlaků před a za vrstvou [Pa]

Ltloušťka vzorku [m]

Na základě tohoto vztahu je formulován vztah pro prodyšnost q , který je dán rovnicí:

$$q = \frac{Q}{S} \quad (15)$$

kde: q prodyšnost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

Q průtok vzduchu [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

S plocha textilie [m^2]

Tento vztah určuje objem vzduchu, který projde danou plochou při konstantním tlakovém spádu za jednotku času. Z D'arcyho rovnice lze také získat tzv. permeabilitu danou vztahem: [23][24]

$$K = \frac{Q}{A \cdot \Delta p} \quad (16)$$

kde: K permeabilita [$\text{m} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$]

14. Komfort textilií

Textilní komfort lze definovat několika způsoby. Někdy je komfort definován jako absence diskomfortu. Lze ho definovat i jako stav, ve kterém jsou v optimu všechny fyziologické funkce organismu a okolí nevytváří nepříjemné vjemy. Subjektivně lze o komfortu hovořit jako o pocitu pohody, který vnímáme našimi smysly, tedy hmatem, zrakem, sluchem, čichem a čichem.[25]

15. Druhy komfortu

Textilní komfort rozdělujeme podle hlediska zkoumání na:

- sensorický
- patologický
- psychologický
- termofyziologický (tepelný a výparný odpor)

Psychologický komfort je vnímán každým jedincem individuálně. [25] [26]

16. Senzorický komfort

Senzorický komfort vzniká při kontaktu pokožky s první vrstvou oděvu. Při tomto kontaktu vznikají pocity buď příjemného, nebo nepříjemného rázu. Příjemné mohou být pocity jako měkkost, splývavost, hebkost, naopak nepříjemné pocity mohou být škrábání, kousání, tlak nebo pocit lepkavosti. Do jisté míry souvisí sensorický komfort s komfortem fyziologickým. Senzorický komfort lze rozdělit na komfort nošení a omak. [25] [26]

17. Komfort nošení

Komfort nošení je ovlivněn povrchovou strukturou použitých materiálů, vybranými mechanickými vlastnostmi ovlivňujícími rozložení sil a tlaků v oděvním systému. S fyziologickým komfortem souvisí z hlediska sensorického komfortu schopnost textilie absorbovat a transportovat vlhkost v plynné nebo kapalně podobě. [25] [26]

18. Omak

Omak je vnímán prostřednictvím prstů a dlaně. Je to velmi subjektivní veličina a proto ji lze velmi špatně reprodukovat. Při hodnocení omaku lze omak charakterizovat těmito vlastnostmi. [25] [26]

- koeficientem tření
- drsností povrchu
- tloušťkou (plošnou hmotností, gramáží)
- stlačitelností
- tepelným omakem
- roztažností
- ohybovou tuhostí
- smykovou tuhostí

19. Metody hodnocení omaku

Nejpoužívanějšími metodami hodnocení omaku jsou přístroje KES a FAST.

19.1. Systém KES

Systém KES (Kawabata Evaluation System) vyvinutý na univerzitě v Kjótu a pojmenovaný podle jeho tvůrce profesora Suea Kawabaty, se skládá ze čtyř přístrojů, schopných změřit 15 charakteristik plošných textilií, kterými jsou oděvy namáhány při běžném nošení. Tento postup je nazýván Fabric Objective Measurement (FOM). Měření jsou rozdělena do pěti skupin:

- **Tahová:** linearita, deformační práce [$\text{N} \cdot \text{cm}^{-2}$], pružnost[%]
- **Smyková:** tuhost ve smyku jako směrnice přímky [$\text{N} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{°}$]
- **Ohybová:** tuhost v ohybu na jednotku délky [$\text{N} \cdot \text{cm} \cdot \text{cm}^{-2}$], moment hysterese (odchylky od předchozí hodnoty) při úhlu smyku $\Phi = 0,5$ [$\text{Ncm} \cdot \text{cm}^{-2}$]
- **Objemová:** linearity, tloušťka jako funkce rostoucího přítlaku, energie potřebná ke stlačení [$\text{Ncm} \cdot \text{cm}^{-2}$], pružnost [%]
- **Povrchová:** průměrný koeficient tření, průměrná odchylka koeficientu tření, průměrná geometrická drsnost [μm]
- **Konstrukční:** plošná hmotnost [$\text{g} \cdot \text{m}^2$] [25]

19.2. Systém FAST

Systém FAST byl vyvinut v australském institutu CSIRO a původně sloužil k hodnocení vlněných tkanin. Měří pevnost a tažnost textilie, stlačitelnost (tloušťku), tuhost v ohybu, tepelnou srážlivost vlny za tepla a vlhka. [26]

20. Tepelný omak a jeho hodnocení

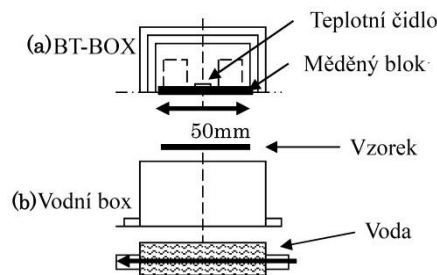
Tepelný omak je pocit, který je vnímán pokožkou při krátkém kontaktu pokožky s textilií při oblékání. Tento parametr vyjadřuje přechodný pocit v momentě, kdy si oblékáme košili, spodní prádlo, ponožky, rukavice atd.) Dobrý pocit tepelného omaku je

důležitým faktorem, který ovlivňuje rozhodování zákazníka při koupi oděvů.

20.1. Metody měření tepelného omaku

Přístroj Thermolabo vyvinutý v roce 1983 profesorem Kawabatou byl prvním zařízením schopným objektivně hodnotit textilní tepelný omak. Princip měření spočívá v přikládání nahřátého měděného bloku o tloušťce 1mm na povrch textilie. Druhá strana měděného bloku, která se nedotýká vzorku je odizolována tvrdou polyesterovou pěnou a na této straně je zároveň umístěno i teplotní čidlo. Konstantní teplota vzorku je udržována tím, že je přiložen na nádobě s cirkulující vodou. Tepelný zdroj v podobě měděného kvádru je předehřát na teplotu vyšší, než je okolní teplota. [25][26]

Veličina, která byla pro toto měření zvolena je maximální úroveň tepelného toku: q_{max} [$Wm^{-2}K^{-1}$] vypočítaná z naměřené přechodové křivky.

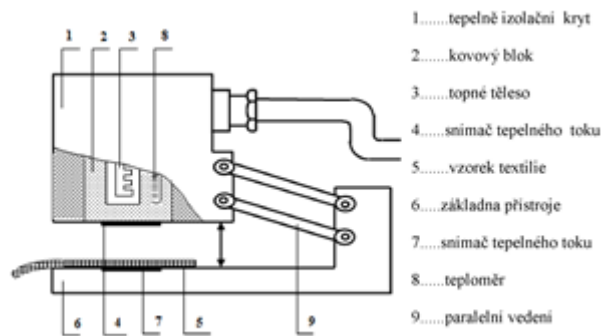


Obr. 12 Schéma přístroje Thermolabo [25]

Nevýhodou této metody je složité zpracování naměřených dat, časová náročnost měření a těžkopádnost postupu znemožňující automatizaci přístroje.

20.1.1. Alambeta

Alambeta je počítačem řízený poloautomatický přístroj vyvinutý profesorem Hesem a Doležalem a je určen pro měření některých termofyzikálních parametrů textilií. Kromě jejich měření přístroj naměřené hodnoty dokáže statisticky vyhodnotit. Schéma Alambety je na obrázku 2.



Obr. 13 Schéma měřicího zařízení přístroje Alambeta [25]

Alambeta simuluje reálné podmínky tím, že je hlavice přístroje zahřáta na průměrnou teplotu lidské kůže tj. 32°C, zatímco zkoušený vzorek je udržován na teplotě 22°C. Samotné měření začne, jakmile hlavice poklesne na zkoušený vzorek a je měřen probíhající tepelný tok. Jedno měření trvá maximálně několik minut, během kterých jsou měřeny následující parametry:

- Tloušťka materiálu [mm]
- Měrná tepelná vodivost λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
Tato veličina určuje schopnost textilií vést teplo. Představuje množství tepla, které proteče jednotkou délky za jednotku času a vytvoří rozdíl teplot 1K.
- Plošný odpor vedení tepla r [$\text{W}^{-1}\cdot\text{K}\cdot\text{m}^2$]
Plošný odpor je odpor, který klade materiál průchodu tepla. Čím vyšší je odpor, tím méně tepla je textilie schopna odvádět. Je udáván poměrem tloušťky materiálu a měrné tepelné vodivosti [25] [26]

$$r = \frac{h}{\lambda} \quad (17)$$

- Tepelný tok q [W/m^2]
Tepelný tok je veličina značící množství tepla šířícího se z hlavice přístroje o teplotě t_2 do textilie o počáteční teplotě t_1 za jednotku času.

$$q = b \cdot \frac{t_2 - t_1}{\sqrt{\pi \cdot \tau}} \quad (18)$$

- Měrná tepelná vodivost $a = \lambda / C$ [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$]
kde C je tepelná kapacita materiálu. Je to veličina vyjadřující schopnost textilie vyrovnávat teplotní změny. Čím vyšší hodnota teplotní vodivosti, tím větší schopnost materiálu vyrovnávat teplotu.
- Tepelná jímavost b [$\text{W} \cdot \text{M}^{-2} \text{s}^{1/2} \text{K}^{-1}$]

$$b = (\rho \cdot \lambda \cdot C)^{1/2} \quad (19)$$

Tento parametr charakterizuje tepelný omak a představuje množství tepla, které proteče při rozdílu teplot 1K jednotkou plochy za jednotku času vlivem akumulace tepla v jednotkovém objemu. Čím vyšší je hodnota tepelné jímavosti, tím je textilie na omak chladnější. Maximální teploty, která lze dosáhnout u textilie pokryté souvislou vrstvou vody je 1600. U textilií v suchém stavu se hodnoty tepelné jímavosti pohybují mezi 20 u mikrovlákných nebo jemnovlákných PES netkaných textilií až 400 u tkanin z viskózy, ve vlhkém stavu je to už ale více než 750. Změna vlhkosti například při zapocení textilie má tedy na tepelnou jímavost velký vliv. Pro tepelnou jímavost platí, že: [25]

$$b = (\lambda \cdot \rho \cdot c)^{1/2} \quad (20)$$

21. Patofyziologický komfort

Patofyziologický komfort zahrnuje vliv působení chemických substancí na mikroorganismy na lidské pokožce a pokožku, jako takovou. V případě že je pokožka

citlivá na podráždění, může dojít k různým kožním onemocněním nebo alergickým reakcím. Obecně se tomuto podráždění říká dermatóza. Méně odolnou pokožku mají například malé děti nebo staří lidé. Dermatózu může způsobit například podráždění chemickými látkami, jako jsou organická rozpouštědla nebo soli, případně odstávajícími konci hrubších vláken. Dermatózu alergického rázu způsobuje alergie na chemickou látku obsaženou v oděvu (barvivo, zbytek pracího prostředku apod.). [25]

22. Psychologický komfort

Psychologický komfort je komfort tak, jak ho vnímáme myslí, a zahrnuje celou řadu hledisek, která ho ovlivňují. Jsou to například hlediska klimatická (podmíněna geograficky), ekonomická (kupní síla obyvatelstva, úroveň technologie), kulturní (vliv náboženství a tradic, například země, kde je hlavním náboženstvím islám), historická hlediska (používání přírodních materiálů), sociální (demonstrace postavení nebo vzdělání), skupinová a individuální hlediska (módní trendy, osobní preference). Tento druh komfortu prakticky nejde nijak změřit a závisí velmi na individuálním myšlení jedince nebo skupiny. [25]

23. Termofyziologický komfort

Termofyziologický komfort jde ruku v ruce s termoregulačním systémem organismu. Termofyziologický komfort nastává, pokud jsou termofyziologické funkce v optimu a vznikne tzv. teplotní pohoda. Dva faktory, které mají na termofyziologický komfort vliv jsou vlhkost a teplota resp. tepelný a výparný odpor. Termofyziologické funkce organismu jsou v optimu, pokud jsou v optimu následující tři faktory, jsou to [25]:

- teplota pokožky
- vlhkost pokožky
- obsah CO^2 nad pokožkou ve vzdušné vrstvě

24. Funkce lidské kůže

Kůže pokrývá tělo a odděluje vnitřní orgány od okolí. Plocha kůže se liší podle velikosti člověka a v průměru dosahuje plochy 1,8 m². To z ní činí největší orgán lidského těla. Zároveň plní celou řadu funkcí, na kterých často závisí přímo přežití. Největší tloušťku má kůže na zádech, kde je to až půl centimetru, naopak až desetkrát tenčí je kůže na očních víčkách a na hlavě. [25] [26]

Kůže má za úkol ochránit tělo hlavně před mechanickými, chemickými nebo bakteriálními vlivy. Plní ale kromě funkce ochranné i funkci vylučovací, dýchací a termoregulační. Je propletena sítí cév, obsahuje zásoby tuku, póry, chlupy. Kromě toho jsou v ní uložena čidla, která reagují na dotyk, chlad, teplo, bolest. Kůže tedy čile spolupracuje i s nervovou soustavou, resp. částí mozku zvanou hypotalamus.

Z hlediska fyziologického komfortu je důležité brát ohled na to, aby nebyly funkce kůže nijak narušeny nebo omezeny. [25] [26]

25. Termoregulace

Termoregulací se rozumí udržení stále tělesné teploty nezávisle na okolní teplotě. Při dané teplotě dochází k hladkému průběhu biochemických pochodů. Stálá tělesná teplota je udržována automaticky v závislosti na okolní teplotě a fyzickém výkonu. Z fyzikálního hlediska jde o udržení rovnováhy mezi teplem, které organismus vytvoří a teplem, které je odevzdáno do okolí. [25]

26. Teplota kůže

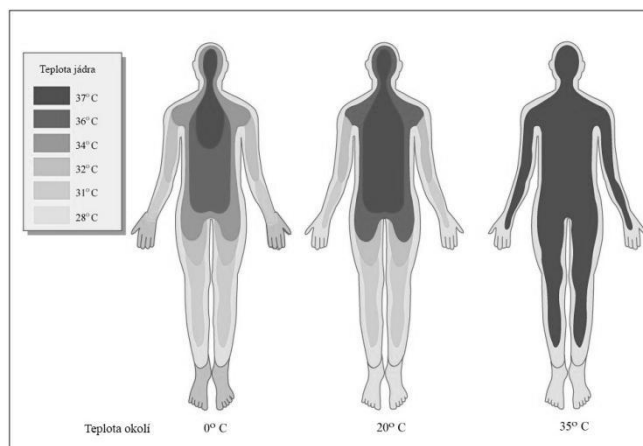
Teplota lidského těla zdravého člověka se v jeho různých částech liší, v jeho jádru je udržována stálá teplota 37°C v játrech až 40°C zatímco teplota pokožky může velmi kolísat v závislosti na okolních podmínkách a stavu těla. Obecně mají nejvyšší teplotu nejvíce prokrvené části jako prsa, hlava a břicho, nejchladnější jsou naopak špičky prstů, ušní lalůčky nebo špička nosu. Na končetinách se teplota pokožky pohybuje mezi 29-31°C. Teplotní rozdíly v různých částech těla při různých teplotách jsou vyobrazeny na obr. 13.1. Teplota pokožky pro pocit teplotní pohody je u každého člověka vnímána

individuálně a pohybuje se rozmezí průměrné teploty pokožky mezi 32-34 °C.

Teplota těla je ovlivněna těmito faktory:

- aktivita organismu (zvýšení metabolismu-tvorba tepla)
- denní doba (nejnižší brzy ráno, nejvyšší navečer)
- sekrece hormonů se stimulačním vlivem na metabolismus (testosteron, adrenalin, růstový hormon)

K extrémním stavům spojeným se změnou tělesné teploty dochází například při infekci nebo poškození mozku (horečka), nebo vlivem těžké práce nebo cvičení v horkém počasí (hypertermie). Naopak o podchlazení (hypotermii) lze hovořit, pokud teplota jádra poklesne pod 35°C nebo organismus reaguje zvýšením tepové frekvence a třesem. Při teplotě jádra nižší než 30° člověk obvykle upadá do bezvědomí.



Obr. 13.1 Teplota částí těla při různých teplotách okolí [27]

27. Mechanismy zvyšování tělesné teploty

- vazokonstrikcí (stažením) cév je snížen výdej tepla z jádra do kůže a tím je omezena ztráta tepla do okolí
- zvýšení produkce tepla:
 1. svalovým třesem
 2. chemickou termogenezí pomocí adrenalinu a noradrenalinu, který zvýší metabolismus buněk
 3. vyplavením hormonu tyroxinu, který stimuluje buněčný metabolismus

28. Mechanismy snižování tělesné teploty

- Vazodilatací (roztážením) cév za účelem zvýšení přestupu tepla z jádra do kůže,
- Pocením
- Snižením výkonu metabolismu např. snížením chuti k jídlu

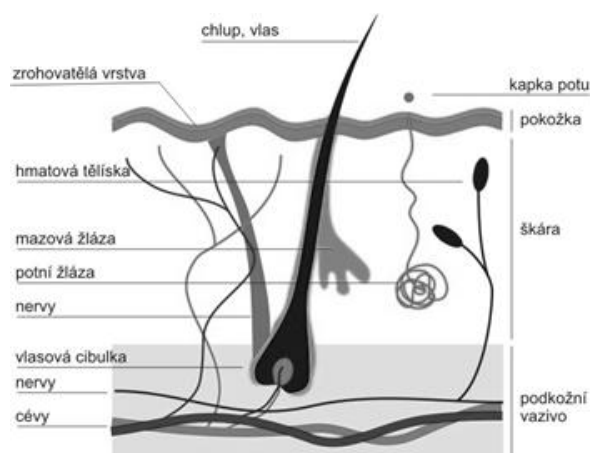
Kůže produkuje vodu ve formě potu, který se dostává na povrch organismu hlavně prostřednictvím potních žláz. I při nulové aktivitě, se vytváří tzv. neznatelné pocení, kterým denně organismus vyloučí okolo 400-800 ml vody, přičemž je toto množství druhé nejvyšší hned po množství vody vyloučené ledvinami a pokud se zvýší fyzická aktivita, nebo okolní teplota, množství vody odvedené z organismu kůží se může až několikanásobně zvýšit. Pokud například člověk těžce pracuje v horku, kůží se odvede až 15 litrů vody.

Voda je z organismu odváděna v podobě potu prostřednictvím potních žláz, kterých je na těle až 5 milionů. Pot kromě vody obsahuje i ionty (K^+ , Na^+ , Cl^-), močovinu, hormony, ale i těžké kovy jako rtuť). Množství minerálů, které tělo vypotí je regulováno hormonem kůry nadledvin aldosteronem.

Pokud není okolní teplota dostatečně nízká na to, aby zajistila odvod metabolického tepla, je tělo nuceno začít s ochlazováním tím, že začne produkovat pot. Pot v podobě kapiček vody s sebou nesou i teplo, které odpařováním na povrchu kůže opouští tělo. Tento způsob ochlazování ale funguje jen do určité míry, která je dána vlhkostí vzduchu. Pokud je vzduch nasycený vodní parou natolik, že pojme jen málo další vodní páry, ochlazování organismu pocením ztrácí na účinnosti. [25][26]

29. Dýchání kůží

Dýchání kůží není dýcháním v pravém slova smyslu, jedná se spíš o prostup kyslíku a CO_2 kůží. Kyslík se uvnitř těla váže v krvi na hemoglobin, zatímco CO_2 se podílí na tvorbě klimatu mezi pokožkou a oděvem. Za hodinu projde průměrně kůží dovnitř těla okolo 60 ml kyslíku a z těla je odvedeno přibližně dvakrát tolik CO_2 . Ve srovnání s obratem těchto plynů v plicích se jedná o velmi malé množství, které ovšem hraje roli z hlediska oděvního komfortu. [25][26]



Obr. 14 Schéma řezu lidskou kůží [28]

30. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem experimentální části je zhodnotit vliv vlhkosti a teploty vzduchu procházejícího textilií na její prodyšnost. Vliv teploty a vlhkosti na prodyšnost zdůvodnit a na základě naměřených hodnot prodyšnosti při různých teplotách poté sestavit regresní modely pro prodyšnost textilií v závislosti na teplotě a vlhkosti procházejícího vzduchu. Výsledné modely poté porovnat se stávajícími normalizovanými výsledky.

Postup v experimentální části

- propojit ohebnou hadicí klimatizační komoru Voetsch a zařízení na testování prodyšnosti FX 3300
- zjistit prodyšnost jednotlivých vzorků plošných textilií v podmínkách odpovídajících normě
- zjistit vliv změny a teploty vlhkosti procházejícího vzduchu na prodyšnost vzorků
- zdůvodnit vliv teploty a vlhkosti vzduchu na prodyšnost
- na základě naměřených hodnot sestavit regresní modely prodyšnosti v závislosti na teplotě a vlhkosti vzduchu
- uvést zda mohou být postupy dané normou aplikovány i při hodnocení prodyšnosti při jiných podmínkách

Na KHT je instalováno zařízení na měření prodyšnosti FX 3300 (obr. 15) a klimatizační komora Voetsch (obr. 16). Pomocí ohebné nestlačitelné plastové hadice byla tato dvě zařízení propojena (obr. 17). Z klimatizační komory tak bylo možno přivést vzduch o požadované teplotě a vlhkosti do zařízení FX 3300, které si za normálních okolností nasává vzduch přímo z místnosti přes sací kanál na přítlačném rameni.



Obr. 15 zařízení FX 3300



Obr. 16 Klimatizační komora Voetsch VC 0018



Obr. 17 Propojení klimatizační komory a FX 3300

Klimatizační komora je schopna vyrábět vzduch o vlhkosti a teplotě, která se nastaví na displeji. Čidlo teploty a vlhkosti je ale umístěno uvnitř komory, proto aktuální teplota a vlhkost, která se na displeji zobrazuje, odpovídá hodnotám uvnitř komory. Hadice, kterou jsou obě zařízení propojena, měří cca 2 metry, a proto vzniklo důvodné

podezření, že vzduch při průchodu hadicí změní svoje vlastnosti. Z tohoto důvodu byl v hadici těsně před vstupem do sání hlavy FX 3300 vyvrtán otvor, kterým byla dovnitř hadice vsunuta sonda (obr. 18 a 19) zjišťující vlhkost a teplotu. Sonda byla napojena na digitální multimetr, který zobrazuje aktuální hodnoty teploty a vlhkosti vzduchu těsně před vstupem do FX 3300. Postupně se během experimentu ukázalo, že role sondy byla klíčová, jelikož se zejména teplota vzduchu při průchodu hadicí měnila oproti teplotě uvnitř komory často až o 10 °C. K této změně docházelo hlavně při výrobě studeného vzduchu, který se při průchodu hadicí ohříval.



Obr. 18 Sonda pro měření vlhkosti a teploty Obr. 19 Sonda v vsunutá v napájecí hadici

30.1. Použitý materiál a jeho parametry

Pro testování bylo vybráno pět typů vzorků z různých materiálů. Čtyři základní vzorky (100% Ba, 100% POP, 65% POP a 35 % POP) byla tkanina v plátňové vazbě, vyrobená firmou Spolsin Česká Třebová. Pro zajímavost a rozšíření spektra vzorků byla použita ještě zátažná polyesterová pletenina (180 g/m²) a denim ze 100% bavlny (400 g/m²). Polyester je pro svoje vlastnosti velmi často používán pro výrobu spodního prádla, v drtivě většině ale ve formě pleteniny. Denim reprezentuje odolnou keprovou tkaninu, s hustou dostavou a velmi malými mezinitnými póry. Parametry základních vzorků jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1 Parametry vzorků plošných textilií použitých pro experiment

Parametry textilie	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4
Typ textilie	tkanina	tkanina	tkanina	tkanina
Materiál	100% POP	POP65%/Ba35%	POP35%/Ba65%	100% Ba
Typ vazby	plátno	plátno	plátno	plátno
Jemnost nitě osnova/útek	45	45	45	45
Dostava osnovy [n/10cm]	180	180	180	180
Dostava útku [n/10cm]	108	108	108	108
Plošná hmotnost [g/m ²]	167	158,8	161,2	147
Tloušťka [mm]	0,65	0,6	0,55	0,51

Většina parametrů tkanin byla známa od výrobce, a proto je nebylo třeba experimentálně zjišťovat. Jediným parametrem, který bylo zapotřebí experimentálně zjistit, byla tloušťka vzorků, která byla zjištěna na tloušťkoměru dle normy [31].

Základní vzorky tkaniny měly poměrně otevřenou strukturu s řídko dostavenými nitěmi a dostatečně velkými meznitnými póry. Polyesterová pletenina měla podobně volnou strukturu. Z hlediska testování prodyšnosti bylo tedy možno vycházet z předpokladu, že vzduch bude procházet právě těmito meznitnými póry a prodyšnost nití tak bylo možno zanedbat. Naopak tomu bylo u denimu, který byl dostaven velmi hustě, a bylo možno předpokládat, že vzduch bude při průchodu textilií procházet skrz povrchové vrstvy nití.

30.2. Metodika testování

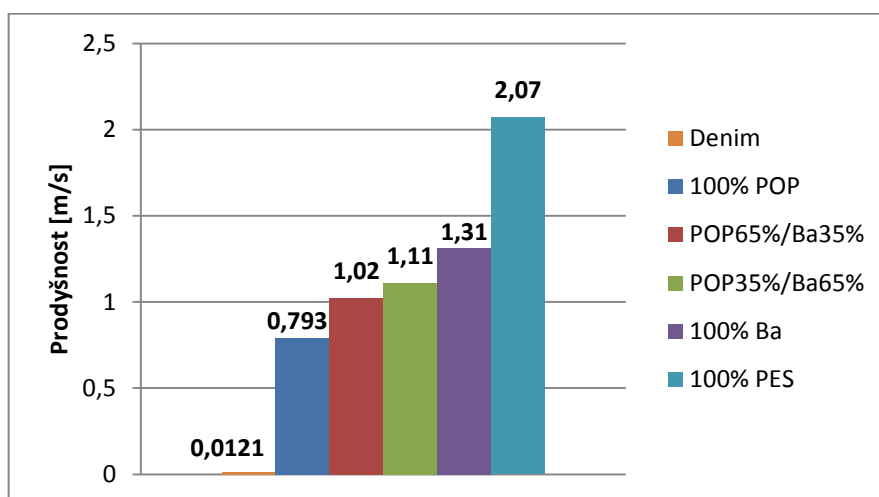
Pro každý vzorek bylo nejdříve nutno zjistit, jaký je třeba nastavit otočným kolečkem

rozsah měření. To značně urychlilo vkládání vzorků při dosažení požadované teploty resp. vlhkosti. Tyto hodnoty byly sledovány na sondě vsunuté do propojovací hadice těsně před vstupem do FX 3300. Aby byl zaručen stálý průchod vzduchu hadicí byl v čelistech upnut vzorek tkaniny, který sloužil pouze pro tento účel. V klimatizační komoře byla nastavena přibližná hodnota požadované vlhkosti a teploty, která byla poté upravována tak, aby bylo dosaženo požadovaných hodnot na konci propojovací hadice (hodnoty naměřené sondou). Jak bylo zmíněno, hodnoty vlhkosti a teploty uvnitř komory a na vstupu sání FX 3300 se často velmi lišily a bylo tedy nutné komoru velmi citlivě nastavit a postupně zvyšovat nebo snižovat teplotu resp. vlhkost, tak aby odpovídala požadovaným teplotám zobrazovaným sondou na vstupu. Dosažení nízkých teplot a vlhkostí na vstupu hadice do sání FX 3300 bylo velmi obtížné, proto bylo k těmto účelům používáno i druhého průduchu v klimatizační komoře a komora tak sloužila jako průchozí výměník. Toho bylo možno využít například při snižování vlhkosti, která někdy při vysokých vlhkostech kondenzovala na stěnách komory nebo hadice. Protože vzduch v místnosti byl velmi suchý, zvýšení průtoku vzduchu značně zkrátilo dobu odpaření kondenzátu.

Pro testování prodyšnosti byly vzorky na zařízení FX 3300 nejdříve otestovány při normovaných podmínkách dle normy ISO [22] tj. teplotě vzduchu 20°C a relativní vlhkosti 65%. Tlakový spád byl dle normy nastaven na 100 Pa. Zkoušená plocha vzorku byla 20 cm². FX 3300 je schopen měřit zobrazit aktuální prodyšnost v celé řadě jednotek, v tomto případě byly zvoleny [m/s]. Výsledky naměřených hodnot prodyšnosti jsou uvedeny v tabulce 2. Vzhledem k velikosti vzorků byla prodyšnost testována na stejném vyznačeném místě. Díky nestejnoměrnosti ve struktuře, totiž není prodyšnost stejná v jakémkoli místě vzorku a proto byl na každém vzorku přesně vyznačeno místo na kterém byla měřena prodyšnost. Polyesterová pletenina byla před testováním 24 hodin relaxována pro eliminaci deformací ve struktuře, které by mohly negativně ovlivnit výsledky měření. Vzorky byly před testováním klimatizovány po dobu 24 hodin při teplotě 22°C a relativní vlhkosti 30%. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2 a zaneseny do grafu 4.

Tabulka 2 Prodyšnost textilie v normovaných podmínkách

Vzorek	Prodyšnost [m/s]
Denim	0,0129
100% POP	0,793
POP65%/Ba35%	1,02
POP35%/Ba65%	1,11
100% Ba	1,24
100% PES	1,97



Graf 4 prodyšnost vzorků při normovaných podmínkách

Z grafu je patrné, že u třech základních vzorků tkaniny stoupá prodyšnost s ubývajícím podílem polypropylenu. Je to dáno tím, že polypropylen má oproti bavlně nižší měrnou hmotnost a proto musí mít nitě při stejné jemnosti ve všech vzorcích větší průměr. Všechny vzorky tkaniny měly stejnou dostavu, která znamenala při vyšším průměru nitě, menší mezinitné póry a tím i vyšší hydraulický odpor tkaniny. Prodyšnost polyesterové pleteniny a denimu nelze s ostatními vzorky srovnávat, protože mají jinou

strukturu, než plátňové vzorky. U denimu se projevila vysoká dostava nití a relativně vysoká plošná hmotnost. Jeho prodyšnost při normovaných podmínkách byla oproti ostatním vzorkům cca o dva řády nižší. Opačná situace nastala u polyesteru, který i přes svou vyšší plošnou hmotnost vykazoval nejvyšší prodyšnost. Tento fakt byl způsoben zcela odlišnou strukturou, kterou mají pleteniny ve srovnání s tkaninami. Rozsah teploty pro měření byl mezi 10-40 °C pro vlhkost potom 25-75%. Během prvních zkušebních měření se ukázalo, že není nutné vkládat vzorek při každé změně o 1 stupeň resp. procento a rozsahy proto byly odstupňovány po 2°C u teploty a 5% u relativní vlhkosti. Během měření se ukázalo, že je nejvýhodnější začínat vždy u nejnižší teploty a vlhkosti. Klimatizační komora Voetsch je při běžných podmínkách uzavřený okruh a otvory, kterými byl při experimentu nasáván vzduch, slouží při běžném používání pro vložení senzorů nebo kontrolu vzorků uvnitř komory a komora proto při snižování teploty a vlhkosti reagovala velmi pomalu. Před prvními testy nebylo jasné, zda bude komora schopna vyrábět dostatečné množství vzduchu, který z ní bude odsáván. Komora Voetsch není primárně zkonstruována, jako výměník s odsáváním. Ukázalo se ale, že při tlakovém spádu 100 Pa má komora dostatečný výkon na to, aby vyrobila dostatečné množství vzduchu požadovaných parametrů. Zvyšování a snižování teploty i vlhkosti bylo třeba volit velmi citlivě, protože komora reagovala často velkými výkyvy. Jako klíčové zařízení se ukázal zmíněný multimetr se sondou, která byla zasunutá v hadici před vstupem do sání FX 3300. Rozdíly v naměřených hodnotách senzory uvnitř komory a hodnotách naměřených sondou byly často tak velké, že regulace teploty a vlhkosti jen podle senzorů v komoře by bylo pro experiment nedostatečná a výsledky by zkreslila.

V momentě, kdy bylo dosaženo požadované ustálené teploty a vlhkosti nasávaného vzduchu, bylo uvolněno rameno, vzorek zajišťující průtok byl vyjmut, a do měřicího prostoru byl vložen měřený vzorek a na ovladači rozsahu měření byl nastaven rozsah odpovídající měřenému vzorku. Hodnota prodyšnosti na displeji FX 3300 byla odečtena neprodleně po tom, co se ustálila. Čas od vložení vzorku až po odečtení aktuální hodnoty na multimetru byl 7 sekund (± 2 sekundy).

Zařízení FX 3300 je schopno do prodyšnosti 1 m/s měřit s přesností na tisícinu m/s, nad tuto hranici měří s přesností na setiny m/s. Hranice 1m/s se týkala vzorků 100% POP a

denimu ostatní vzorky měly prodyšnost vyšší než 1m/s a tak u nich byla měření odstupňována po setinách m/s.

Během měření bylo třeba vyřešit otázku případného vlivu teploty vzduchu na změnu teploty vložené textilie. I když byla doba vložení textilie do proudu vzduchu velmi krátká (cca 7 sekund), mohlo dojít ke změně teploty textilie a tím i k případné změně její struktury. Vztah pro výpočet změny teploty textilie je následující (dle odvození lze nalézt v [31])

$$t_f = t_a - (t_a - t_{fi}) \cdot e^{-\frac{2\alpha \cdot \tau}{m_s \cdot c}} \quad (21)$$

kde: t_f teplota textilie po jejím ohřátí proudem teplého vzduchu [°C]

t_a teplota proudu vzduchu [°C]

t_{fi} teplota textilie před vložení do proudu vzduchu (počáteční teplota) [°C]

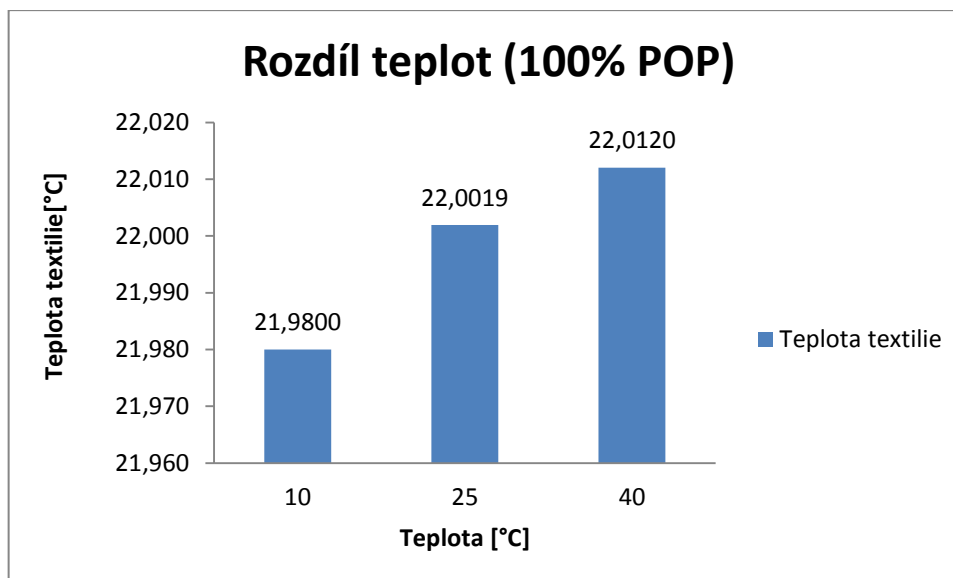
α koeficient přestupu tepla [W/m².K] (zde byla použita hodnota 500 W/m².K dle konzultace Prof. Hesem, viz. [31])

τ doba průchodu vzduchu skrz textilií [s]

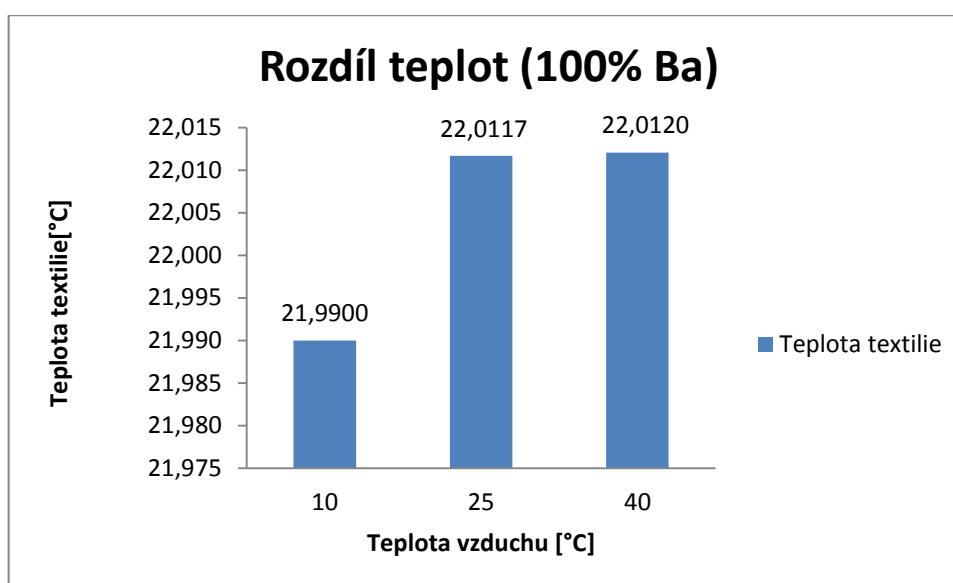
m_s plošná hmotnost textilie [kg.m⁻²]

c měrné teplo [J/kg.K], které činí u většiny textilií 1500 [J/kg.K]

Jako příklad posloužily naměřené hodnoty pro vzorek 100% POP a 100% bavlny pro nejvyšší a nejnižší měřenou teplotu, při vlhkosti 50%. Teplota vzorku před vložení do proudu vzduchu byla 22 °C. Rozdíly, které vytvořil proud vzduchu na vzorcích, jsou zobrazeny v grafech 5 a 6.



Graf 5 Rozdíl teploty vzorku 100% POP po vložení do proudu vzduchu



Graf 6 Rozdíl teploty vzorku 100% bavlny po vložení do proudu vzduchu

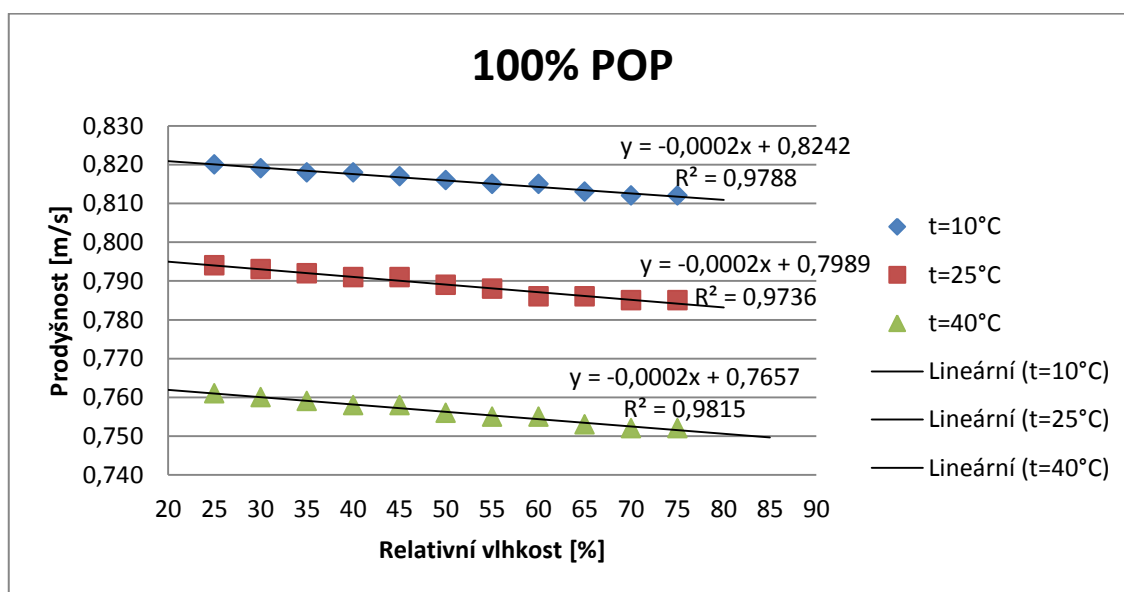
Z grafů vyplývá, že vliv teploty proudu vzduchu na teplotu vložené je minimální a textilie po vložení od proudu vzduchu změni svou původní teplotu jen v řádu desetin stupně celsia.

31. Vyhodnocení naměřených hodnot

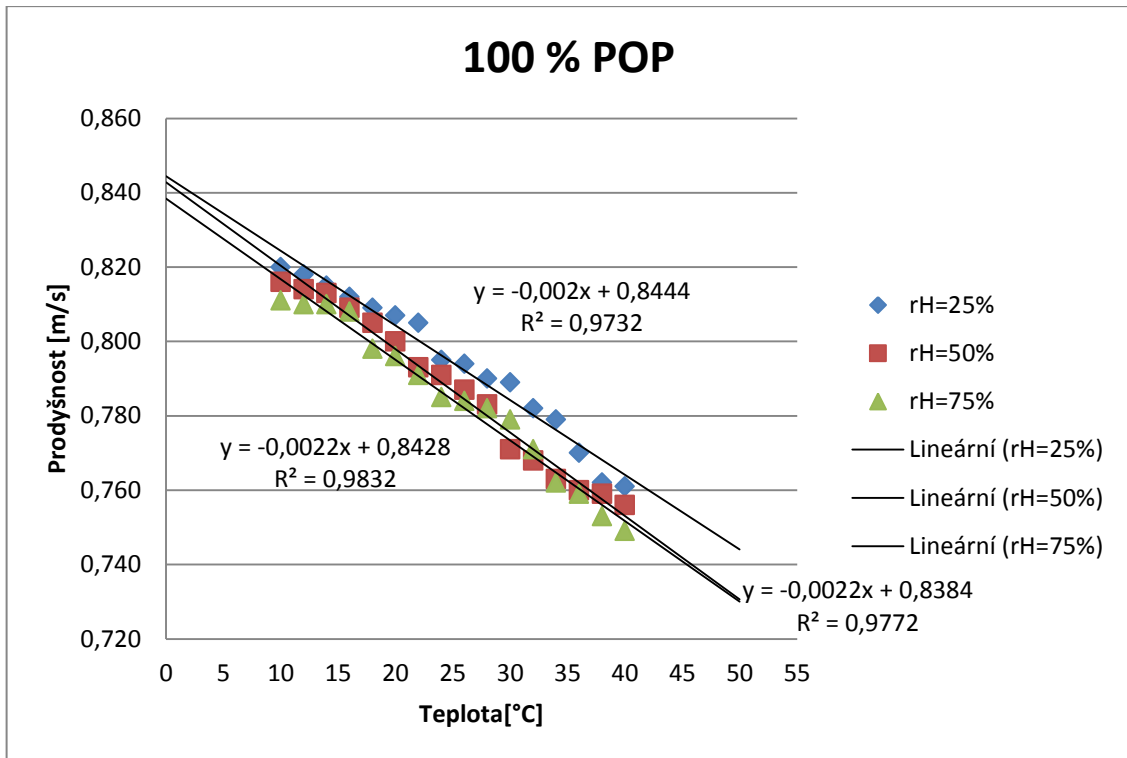
Na každém vzorku bylo provedeno měření při dané kombinaci vlhkost/teplota. Jak již bylo zmíněno, rozsah hodnot vlhkosti procházejícího vzduchu byl rozdělen po 5%, teploty po 2°C. Během měření byly pro kontrolu několikrát zpětně proměřovány již změřené kombinace teploty a vlhkosti a vždy se shodovaly s již změřenými hodnotami. Hodnoty prodyšnosti při daných hodnotách vlhkost a teploty byly zapisovány do připravených tabulek. Na základě tabulek byly sestaveny grafy s regresními přímkami.

31.1. 100% POP

U vzorku se projevil vliv vlhkosti na prodyšnost. Při všech teplotách měla u vzorku prodyšnost se zvyšující se vlhkostí sestupnou tendenci. Z regresních přímek je patrný pokles prodyšnosti při všech zvolených teplotách. Sklon regresních přímek je při všech teplotách podobný. Při změně teploty vykazoval 100% POP podobně sestupnou tendenci prodyšnosti. Rozdíly v poklesu prodyšnosti se od sebe při jednotlivých teplotách nelišily tak, jako při změně vlhkosti.



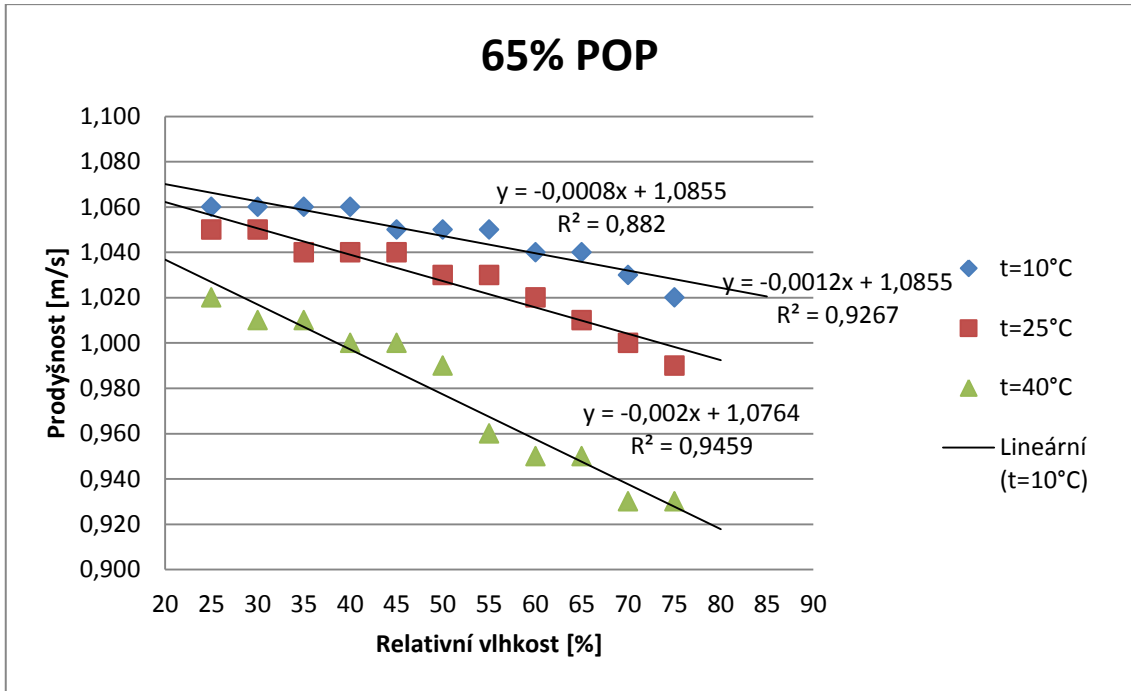
Graf 7 Prodyšnost vzorku 100% POP při zvyšující se relativní vlhkosti procházejícího vzduchu



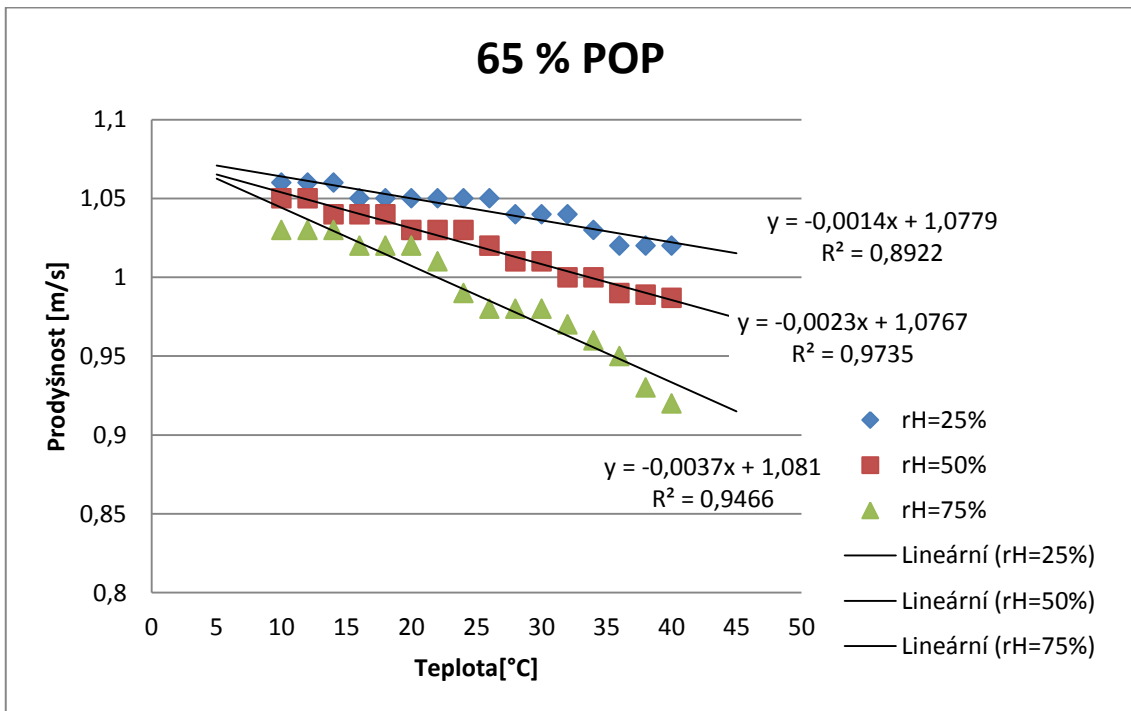
Graf 8 Prodyšnost vzorku 100% POP při zvyšující se teplotě procházejícího vzduchu

31.2. 65% POP

U vzorku s větším podílem polypropylenu prodyšnost opět klesala se stoupající relativní vlhkostí stejně jako u předešlého vzorku. Při teplotě 40 °C byla při navyšování vlhkosti tendence mnohem strmější, než u teplot 10 resp. 25 °C. Stejná situace jako při zvyšování vlhkosti nastala i při zvyšování teploty pro vlhkost 75%. Klesání prodyšnosti pro tuto kombinaci bylo opět nejstrmější. Pro tento vzorek měla největší vliv na prodyšnost kombinace nejvyšší teploty a vlhkosti, (viz. grafy 9 a 10).



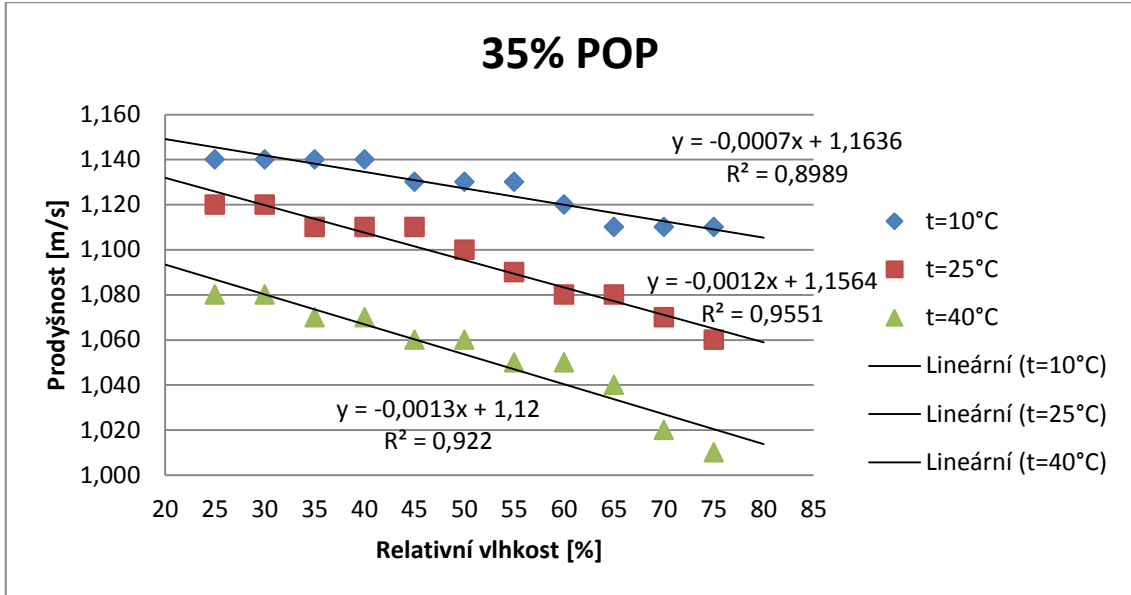
Graf 9 Prodyšnost vzorku 65% POP při zvyšující se relativní vlhkosti procházejícího vzduchu



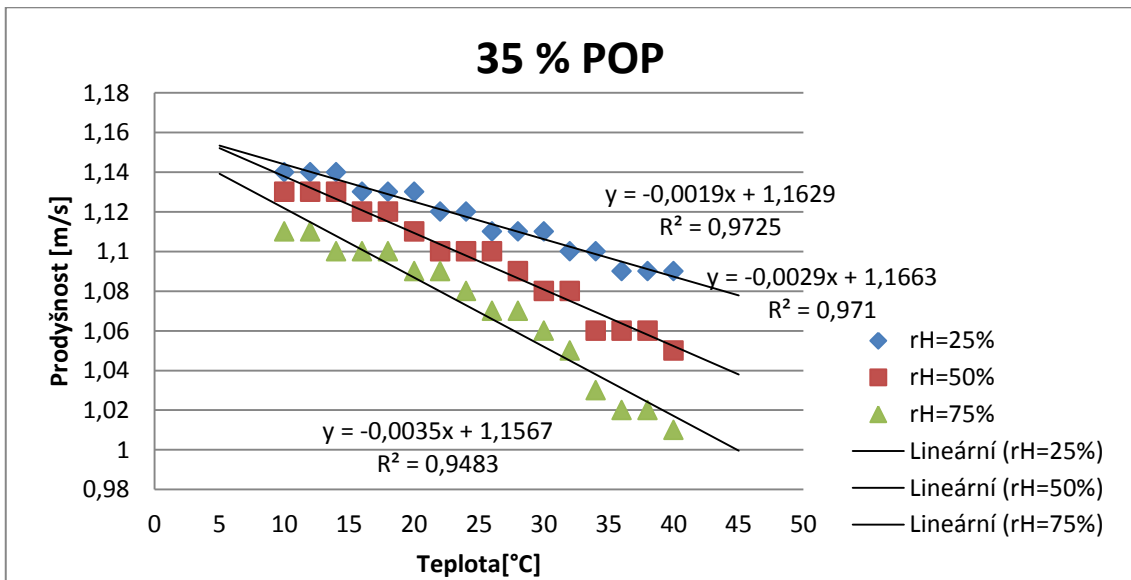
Graf 10 Prodyšnost vzorku 65% POP při zvyšující se teplotě procházejícího vzduchu

31.3. 35%POP

U vzorků s 35% obsahem bavlny byla situace obdobná jako u 65% POP, prodyšnost měla více sestupnou tendenci při nejvyšší teplotě a vlhkosti. Vliv vlhkosti a teploty se projevil i u tohoto vzorku (viz. grafy 11 a 12.)



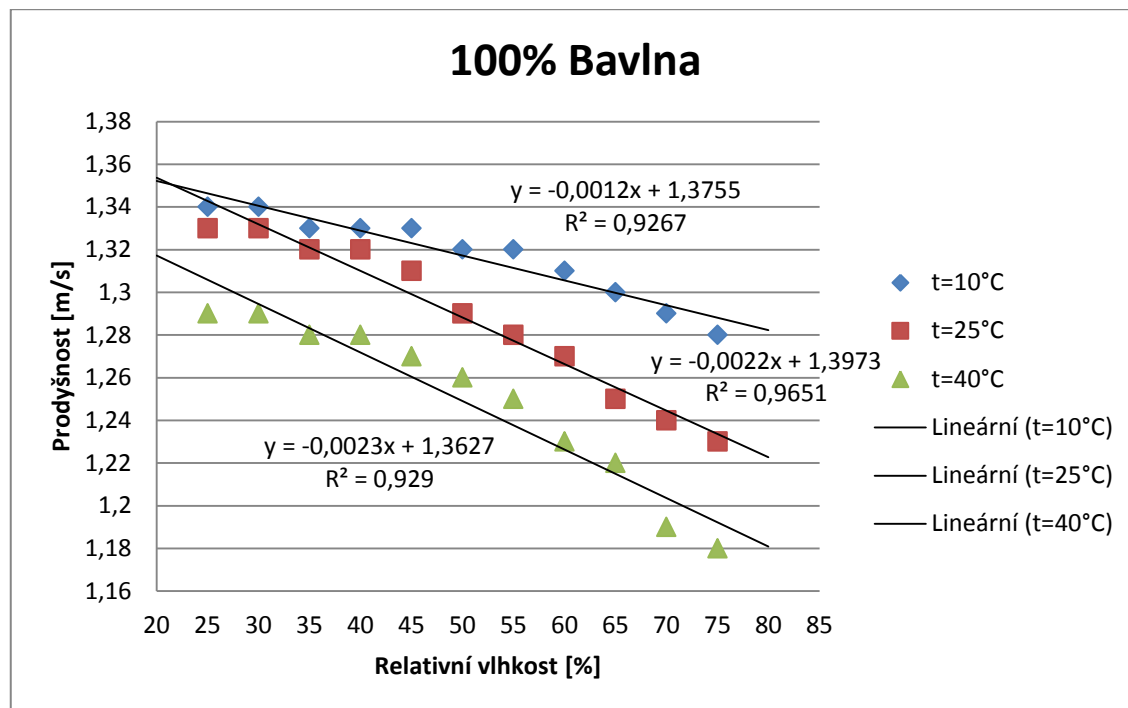
Graf 11 Prodyšnost vzorku 35% POP při zvyšující se relativní vlhkosti procházejícího vzduchu



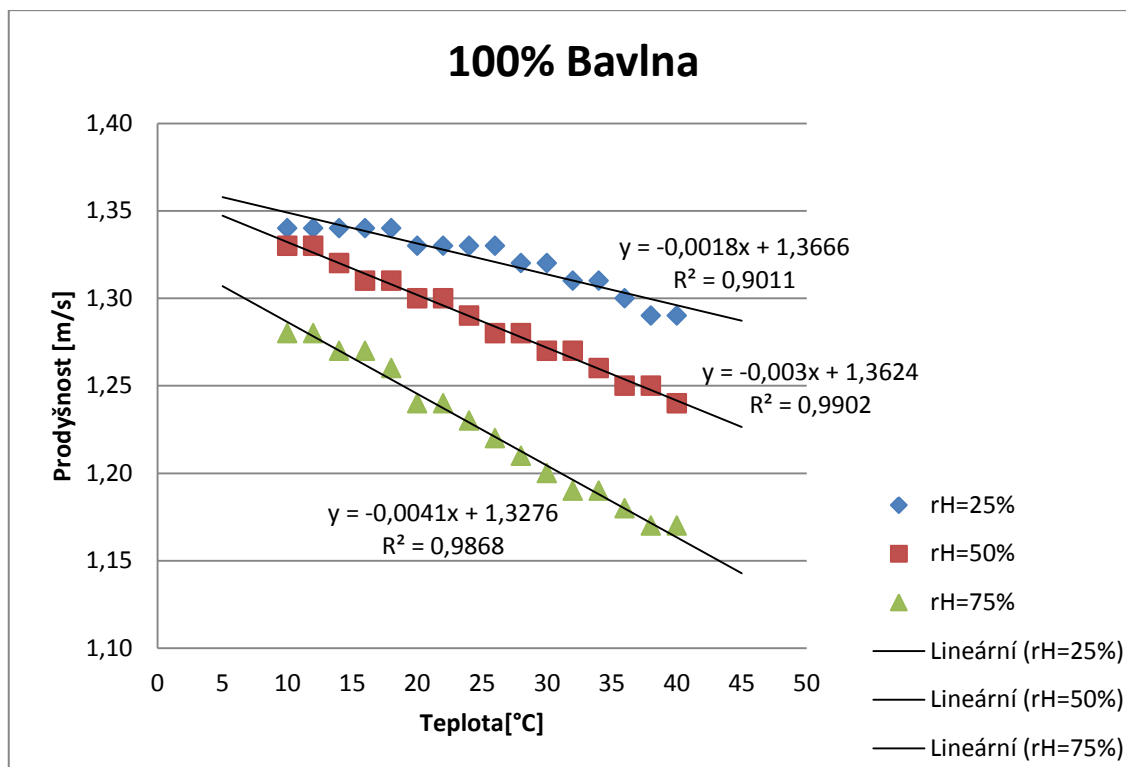
Graf 12 Prodyšnost vzorku 35% POP při zvyšující se teplotě procházejícího vzduchu

31.4. 100% Bavlna

Bavlna představovala druhého ze zástupců 100% přírodního materiálu. I v tomto případě měla vlhkost i teplota vliv na prodyšnost, která se se zvyšujícími se hodnotami vlhkosti a teploty snižovala.



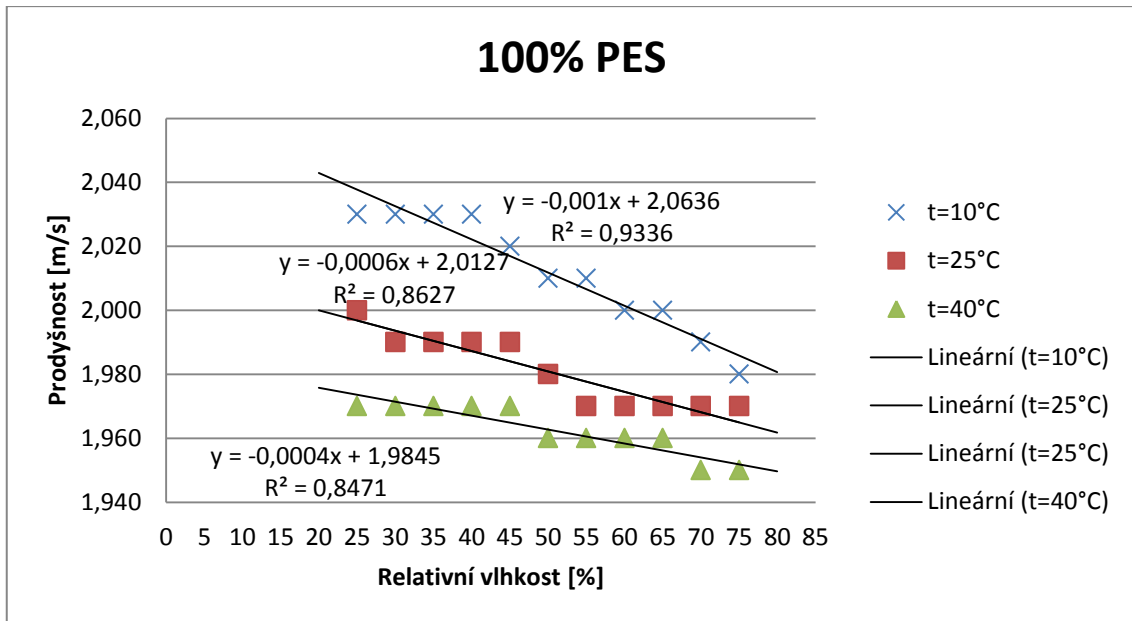
Graf 13 Prodyšnost vzorku 100% bavlny při zvyšující se relativní vlhkosti procházejícího vzduchu



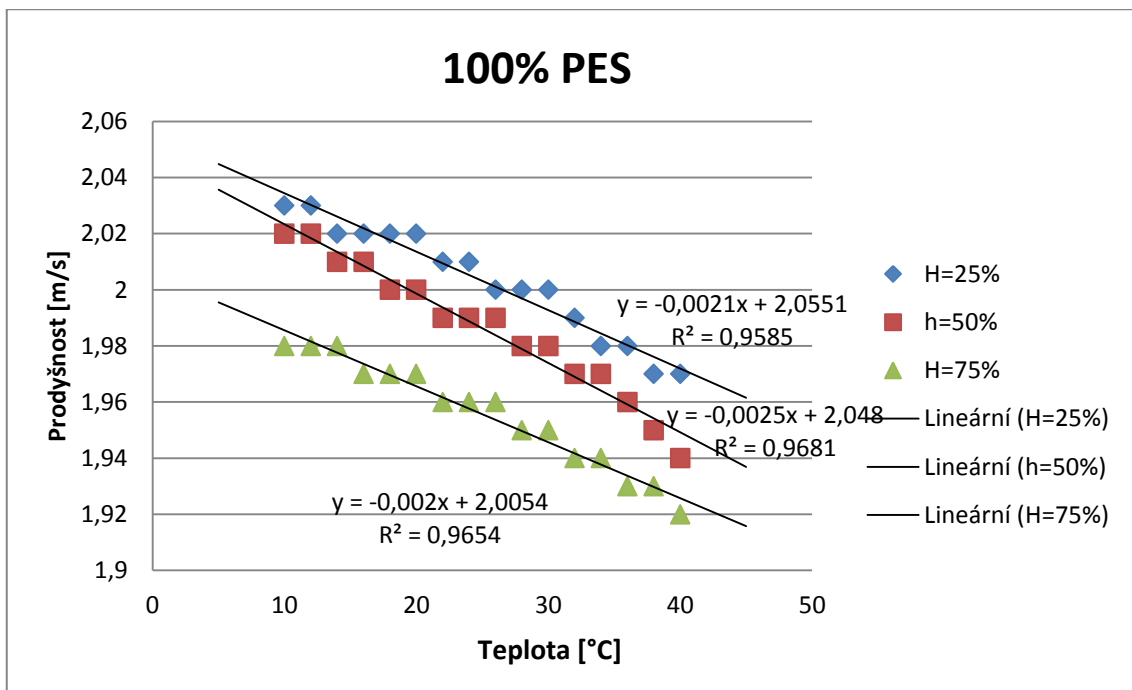
Graf 14 Prodyšnost vzorku 100% bavlny při zvyšující se teplotě procházejícího vzduchu

31.5. 100% PES

Polyester byl zvolen jako první ze dvou doplňkových vzorků, jednalo se o obouřicí zátažnou pleteninu. I přesto, že měl vzorek vyšší plošnou hmotnost, než vzorky tkanin vykazoval zdaleka nejvyšší prodyšnost ze všech testovaných vzorků vůbec. Prodyšnost stejně jako u ostatních vzorků klesala se stoupající teplotou resp. vlhkostí vzduchu. Zvyšování teploty mělo na prodyšnost větší vliv, než zvyšování relativní vlhkosti viz grafy 15 a 16.



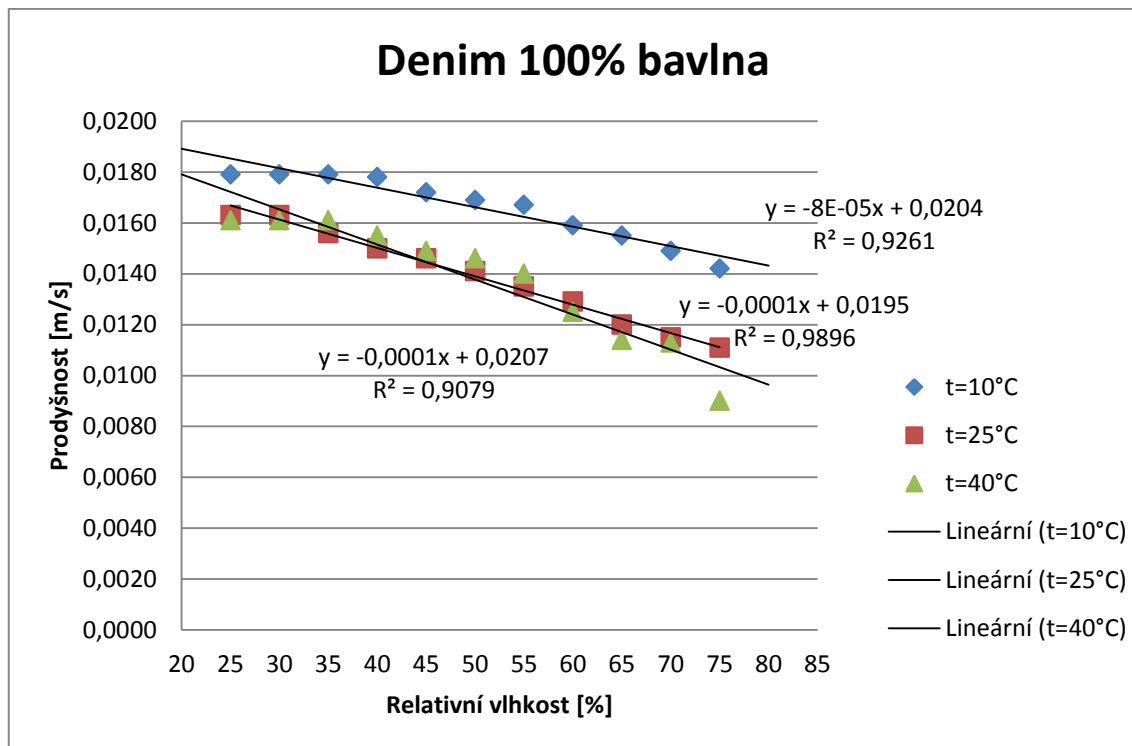
Graf 15 Prodyšnost vzorku 100% PES při zvyšující se relativní vlhkostí procházejícího vzduchu



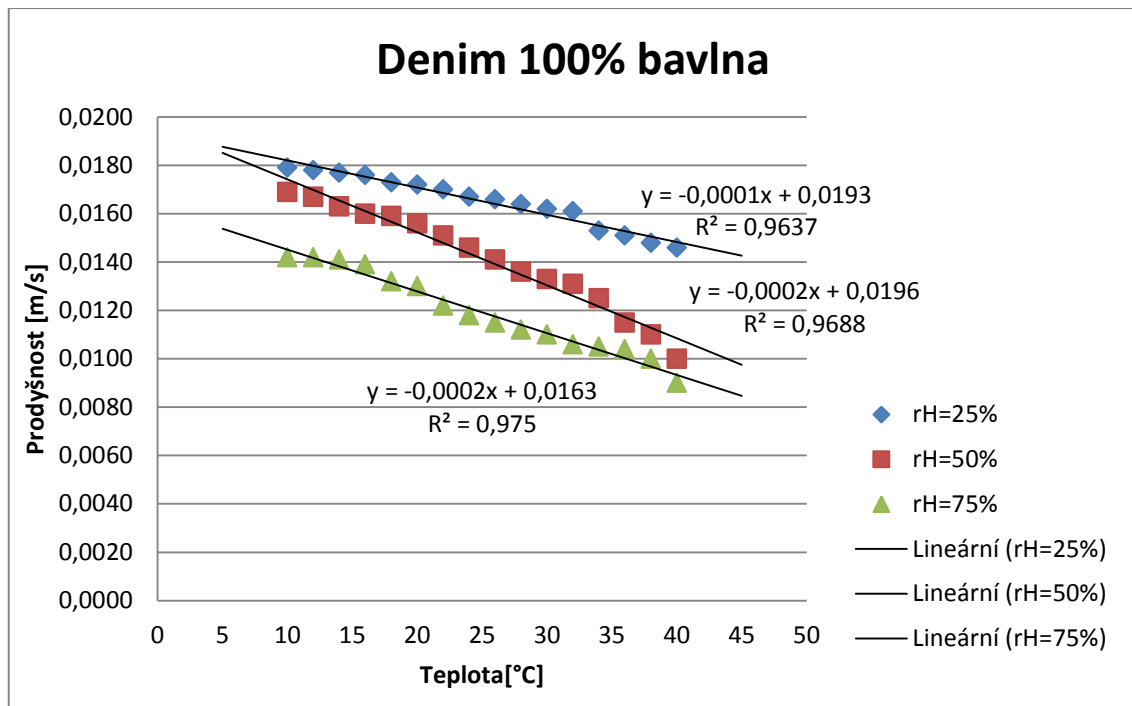
Graf 16 Prodyšnost vzorku 100% PES při zvyšující se teplotou procházejícího vzduchu

31.6. Denim

Denim byl vzorek s nejvyšší plošnou hmotností a zároveň nejnižší prodyšností. Jeho prodyšnosti byla oproti ostatním vzorkům cca 10x nižší. I u tohoto typu textilie se projevil pokles prodyšnosti se stoupající teplotou a vlhkostí procházejícího vzduchu. Hodnoty prodyšnosti pro teplotu 25 resp. 40 °C si byly při zvyšování prodyšnosti hodně podobné. Při zvyšování relativní vlhkosti byla prodyšnost při teplotě 25 resp. 40 °C velmi podobná, viz grafy 17 a 18.



Graf 17 Prodyšnost vzorku denimu při zvyšující se relativní vlhkostí procházejícího vzduchu



Graf 18 Prodyšnost vzorku denimu při zvyšující se teplotě procházejícího vzduchu

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo vyšetřit vliv vlhkosti a teploty vzduchu procházejícího textilií na její prodyšnost. Výzkumu byly podrobeny 4 vzorky v plátňové vazbě. Dva vzorky byly vyrobeny ze 100% materiálů (bavlna, polypropylen) a dva vzorky z jejich směsí (65% polypropylen / 35% bavlna, 35% polypropylen / 35% bavlna). Pro rozšíření spektra materiálů a druhů textilie byl testován ještě vzorek 100% polyesteru ve formě pleteniny a denimu ze 100% bavlny. Vzorky byly testovány v rozmezí teplot 10-25 °C a vlhkostí 25-75% při tlakovém spádu 100 Pa. Dalším cílem bylo sestavit z naměřených hodnot regresní vztahy pro vliv teploty a vlhkosti, výsledky zdůvodnit a uvést, zda je možné hodnotit prodyšnost plošných textilií i v jiných než normovaných podmínkách.

Základem unikátního experimentu bylo napájení přístroje FX 3300 klimatizovaným vzduchem z klimatizační komory VOETSCH pomocí ohebné hadice. Pro přesnost stanovení teploty a vlhkosti klimatizovaného vzduchu byla ještě před vstupem do zařízení FX 3300 do napájecí hadice instalována měřicí sonda vyhodnocovaná multimetrem. U všech testovaných vzorků se během testování prokázal významný vliv teploty i vlhkosti vzduchu na prodyšnost. Dva faktory, které při průchodu skrz textilii mohly ovlivnit její prodyšnost, byla změna struktury textilie vlivem tepelné dilatace nebo vlhkosti a vlastnosti samotného vzduchu. Změna teploty textilie vlivem procházejícího vzduchu byla ale natolik malá, že změna rozměrů vlivem tepelné dilatace by neměla vykazovat významný vliv na prodyšnost testovaných textilií. Vliv vlhkosti byl pravděpodobný u vzorků vyrobených za materiálů, které mají tendenci k bobtnání vlivem absorbované vlhkosti, který v tomto případě představovala bavlna. Vzorky ale k nabobtnání vláken nebyly v proudu dostatečně dlouhou dobu na to, aby u vláken došlo k bobtnání v takové míře, která by významně ovlivnila prodyšnost. Navíc měla vlhkost vliv na prodyšnost u syntetických vzorků, například u vzorku 100% polypropylenu, který představuje typicky hydrofobní materiál a vlivem vlhkosti nebobtná. Faktorem, který měl na prodyšnost významný vliv, nebyla změna struktury textilie vlivem teploty nebo vlhkosti ale změna vlastnosti vzduchu jako média proudícího skrz textilii. Vlivem stoupající vlhkosti a teploty vzduchu se zvyšovala jeho viskozita, která při průchodu textilií zpomalovala jeho proudění a prodyšnost textilie klesala. Měření prodyšnosti při jiných než normovaných podmínkách by bylo možné

pouze za předpokladu, že by byla vytvořena norma pro každý materiál nebo druh textilie, což se jeví jako nereálné.

Tato diplomová práce prokázala vliv jak teploty, tak i vlhkosti procházejícího vzduchu na prodyšnost textilií ze syntetického i přírodního materiálu. Jak bylo uvedeno v úvodu, kromě této práce se vlivem teploty a vlhkosti na prodyšnost textilií dosud nikdo ve světě textilu nezabýval. Určitě by bylo vhodné toto pole dále zkoumat a to nejen z hlediska oděvního komfortu. Pro další výzkum by také bylo zajímavé zabývat se možností spojení jednotlivých regresních rovnic pro teplotu a vlhkost do jedné rovnice a vytvořit tak dvojitou závislost.

Seznam použité literatury

- [1] MILITKÝ, J. *Porosity and air permeability of composite clean room textiles*. INTERNATIONAL JOURNAL OF CLOTHING SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2001, roč. 13, 3/4.
- [2] HAVLOVÁ, M., ČAPKOVÁ, L.: *Evaluation of permeability of fabrics with plain weave*, Int. Conf. STRUTEX 2010, Liberec, Czech Republic. ISBN 978-80-7372-664-5.
- [3] HAVRDOVÁ M. *Příspěvek k hodnocení prodyšnosti oděvních tkanin*. Liberec, 2004. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci.
- [4] MILITKÝ, J. *Textilní vlákna klasická a speciální* Liberec: TUL, 2002. ISBN 80-7083-644-X
- [5] HEARLE, J. W. S. *Physical properties of textile fibres*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2008, ISBN 978-84569-442-5
- [6] ČAPKOVÁ, L. *Hodnocení prodyšnosti bavlnářských tkanin s plátňovou vazbou*. Liberec, 2010. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
- [7] OGULATA R. T., MAVRUZ S.; *Investigation of Porosity and Air Permeability Values of Plain Knitted Fabrics*. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 2010, Vol. 18, No.5
- [8] DRAŠAROVÁ, J. *Projektování vlastností přízí a plošných textilií Novaspin: Hodnocení struktury a vlastností tkanin vyrobených z přízí prstencových, rotorových a experimentálních*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004.
- [9] [online]. [cit. 2013-03-09]. Dostupné z: http://www.freewebs.com/textile-technology/microscope_1.gif
- [10] JEŽEK, J. *Mechanika tekutin-skriptum*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000 150s.
- [11] HEJZLAR, R. *Mechanika tekutin*. Vyd. 4. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005, 203 s. ISBN 80-010-3350-3
- [12] [online]. [cit. 2013-03-26]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/vzduch.htm#viskozita-vzduchu>
- [13] FEYNMAN, R. *Feynmanovy přednášky z fyziky s řešenými příklady 2*. Praha, 2001, 732 s. ISBN 80-720-0405-0.
- [14] MILITKÝ, J. *Porosity and air permeability of composite clean room textiles*. INTERNATIONAL JOURNAL OF CLOTHING SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2001, roč. 13, 3/4.
- [15] KŘEMENÁKOVÁ, D. *Modelování geometrie a pevnosti bavlnářských přízí*. Liberec, 2005. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci.
- [16] PICHOVÁ, J. *Tepelný komfort úpletů ze speciálních vláken za vlhka*. Liberec, 2010. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci.
- [17] [online]. [cit. 2013-03-12]. Dostupné z: http://blog.nialbarker.com/wp-content/uploads/2010/03/laminar_turbulent_flow.gif
- [18] [online]. [cit. 2013-04-01]. Dostupné z:

- [19] http://mog.wz.cz/fyzika/1rocnik/kap405_soubory/image003.jpg
- [20] JANALÍK, J. *Obtékání a odpor těles*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-1911-2.
- [21] ISO 9237:1995. *Textiles - Determination of the permeability of fabrics to air*. 1995.
- [22] ISO 139:2005. *Textiles - Standard atmospheres for conditioning and testing*. 2005.
- [23] BEAR, J. *Dynamics of fluids in porous media*. New York: Dover, 1988c1972, xvii, 764 p. ISBN 978-0486656755.
- [24] WEBB, Edited by Clifford K. Ho and Stephen W. *Gas transport in porous media*. Dordrecht: Springer, 2006. ISBN 978-140-2039-621.
- [25] HES, L. a P. SLUKA. *Úvod do komfortu textilií*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2005, 109 s. ISBN 80-708-3926-0.
- [26] SONG, Edited by Guowen. *Improving comfort in clothing*. Oxford: Woodhead Pub. ISBN 978-184-5695-392.
- [27] [online] Dostupné z: http://es242-digitalhealth-spring2011.wikispaces.com/file/view/3029642097_33c42e073e.jpg/201079654/3029642097_33c42e073e.jpg
- [28] [online]. Dostupné z: http://www.gymhol.cz/projekt/biologie/kuze/kuze_cor_or.jpg
- [29] ZUPIN, Z., HLADNIK A. DIMITROVSKI K. Prediction of one-layer woven fabrics air permeability using porosity parameters. *Textile Research Journal*. roč. 82, č. 2, s. 117-128. ISSN 0040-5175.
- [30] OGULATA, R.T. Air permeability of woven fabrics. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*. 2006, roč. 5, č. 2.
- [31] ISO 5084:1996. *Textiles -- Determination of thickness of textiles and textile products*. 1996.
- [32] BABAARSLAN, O., KAYNAK H. K.. Air Permeability of Windproof Polyester Microfilament Fabrics at Different Pressure Drop Values. In: *The Fiber Society 2012 Spring Conference: Fiber Research for Tomorrow's Applications*. St. Gallen, 2012,
- [33] HES, L., URSÍNY, P. *Yarn texturizing*. Guimaraes: Universidade do Minho, 1994

Seznam obrázků

Obr. 1 Pórová buňka tkaniny	12
Obr. 2 Pórová buňka zátažné pleteniny	12
Obr. 3 Zvětšený snímek tkaniny (póry jsou zvýrazněny červeně)	15
Obr. 4 Příčný řez tkaninou.....	16
Obr. 5 Zvětšený snímek zátažné pleteniny s patrnými póry.....	16
Obr. 6 Zvětšená vlákna bavlny	18
Obr. 10 Změna rozměrů vlákna vlivem zbobtnání	20
Obr. 7 Laminární proudění	27
Obr. 8 Příklady součinitele odporu pro různé tvary obtékaných těles.....	29
Obr. 9 Model proudění tekutiny přes překážku	30
Obr. 10 Zařízení FX 3300.....	32
Obr. 11 Detail upínacích čelistí FX 3300	32
Obr. 12 Schéma přístroje Thermolabo.....	36
Obr. 13 Schéma měřícího zařízení přístroje Alambeta.....	37
Obr. 13.1 Teplota částí těla při různých teplotách okolí.....	41
Obr. 14 Schéma řezu lidskou kůží	43
Obr. 15 zařízení FX 3300	45
Obr. 16 Klimatizační komora Voetsch VC 0018.....	45
Obr. 17 Propojení klimatizační komory a FX 3300.....	45
Obr. 18 Sonda pro měření vlhkosti a teploty	46
Obr. 19 Sonda v vsunutá v napájecí hadici.....	46

Seznam tabulek

Tabulka 1 Parametry vzorků plošných textilií použitých pro experiment.....	48
Tabulka 2 Prodyšnost textilie v normovaných podmínkách.....	50

Seznam grafů

Graf 1 Závislost hustoty vzduchu na teplotě	23
Graf 2 Závislost viskozity vzduchu na teplotě.....	23
Graf 3 Vliv vlhkosti a teploty vzduchu na jeho hustotu	25
Graf 4 prodyšnost vzorků při normovaných podmínkách	49
Graf 5 Rozdíl teploty vzorku 100% POP po vložení do proudu vzduchu	52
Graf 6 Rozdíl teploty vzorku 100% bavlny po vložení do proudu vzduchu	52
Graf 7 Prodyšnost vzorku 100% POP při zvyšující se relativní vlhkosti procházejícího vzduchu.....	53
Graf 8 Prodyšnost vzorku 100% POP při zvyšující se teplotě procházejícího vzduchu	54
Graf 9 Prodyšnost vzorku 65% POP při zvyšující se relativní vlhkosti procházejícího vzduchu.....	55
Graf 10 Prodyšnost vzorku 65% POP při zvyšující se teplotě procházejícího vzduchu	55
Graf 11 Prodyšnost vzorku 35% POP při zvyšující se relativní vlhkosti procházejícího vzduchu.....	56
Graf 12 Prodyšnost vzorku 35% POP při zvyšující se teplotě procházejícího vzduchu	56
Graf 13 Prodyšnost vzorku 100% bavlny při zvyšující se relativní vlhkosti procházejícího vzduchu	57
Graf 14 Prodyšnost vzorku 100% bavlny při zvyšující se teplotě procházejícího vzduchu	
Graf 15 Prodyšnost vzorku 100% PES při zvyšující se relativní vlhkostí procházejícího vzduchu.....	59
Graf 16 Prodyšnost vzorku 100% PES při zvyšující se teplotě procházejícího	

vzduchu.....	59
Graf 17 Prodyšnost vzorku denimu při zvyšující se relativní vlhkosti procházejícího vzduchu.....	60
Graf 18 Prodyšnost vzorku denimu při zvyšující se teplotě procházejícího vzduchu	61